

**Сборник Методических указаний
по выбору уставок защит устройств
производства компании «РЗА СИСТЕМЗ»**

Оглавление

Рекомендации по выбору уставок дистанционных защит от всех видов КЗ и токовых защит терминала РС830-ДЗ «РЗА СИСТЕМЗ» при использовании их в качестве основной/резервной защиты от всех видов КЗ на ВЛ110-150кВ	10
Введение	11
1. Общие сведения об устройстве РС830-ДЗ	11
1.1. Функциональные возможности устройства РС830-ДЗ	12
1.1.1. Основная защита (ОЗ)	12
1.1.2. Защита от замыканий на землю (ЗНЗ) и другие защитные функции	13
1.2. Особенности применения защитных функций устройства РС830-ДЗ	15
1.2.1. Рекомендации по использованию защитных функций на дистанционном принципе	15
1.2.2. Рекомендации по использованию токовых защит	16
2. Выбор уставок дистанционной защиты от всех видов к.з. с полигональной характеристикой устройства РС830-ДЗ	16
2.1. Общие положения по выбору уставок дистанционной защиты	16
2.1.1. Характеристики зон срабатывания защиты	16
2.1.2. Рекомендуемое использование ступеней дистанционной защиты	20
2.1.3. Принцип измерения	21
2.1.4. Основные подходы и допущения при выборе уставок	22
2.2. Выбор коэффициентов компенсации по $3I_0$ для однофазных дистанционных органов	24
2.3. Выбор уставок первой ступени дистанционной защиты	24
2.3.1. Требования к первой ступени	24
2.3.2. Выбор уставки $X1$	24
2.3.3. Выбор уставки $R1$	25
2.3.4. Выбор уставок $\varphi_{мч}$, $\varphi_{ШЗ}$, $T1$	27
2.4. Выбор уставок второй ступени дистанционной защиты	28
2.4.1. Требования ко второй ступени	28
2.4.2. Выбор уставки $X2$	28
2.4.3. Выбор уставки $R2$	31
2.4.4. Выбор уставок $T2$	31
2.5. Выбор уставок третьей ступени дистанционной защиты	32
2.5.1. Требования к третьей ступени	32
2.5.2. Выбор уставки $X3$	32
2.5.3. Выбор уставок времен срабатывания третьей ступени	33
2.6. Выбор уставок четвертой ступени дистанционной защиты	33
2.6.1. Требования к четвертой ступени	33
2.6.2. Выбор уставок дистанционных измерительных органов 4-ой ступени	33
2.7. Выбор уставок дополнительной зоны одной из ступеней дистанционной защиты	34
2.7.1. Требования к дополнительной зоне	34
2.7.2. Выбор уставок дистанционных измерительных органов дополнительной зоны	35
2.8. Выбор уставок функции выреза от нарузки	37

2.9.Выбор уставки по току срабатывания при работе ЗОЦН	38
3.Выбор уставок модуля блокировки от качаний (БК)	39
3.1.Назначение и принцип выполнения блокировки при качаниях мощности.....	39
3.2.Выбор параметров срабатывания органа прямой последовательности блокировки при качаниях мощности	42
3.3.Выбор параметров срабатывания органа обратной последовательности блокировки при качаниях мощности	43
3.4.Выбор уставок по времени блокировки при качаниях мощности.....	45
4.Контроль цепей напряжения	45
5.Выбор уставок максимальной токовой отсечки устройства РС830-ДЗ	48
5.1.Назначение и функциональные возможности МТО	48
5.2.Выбор уставок максимальной токовой отсечки.....	49
6.Выбор уставок Токовой защиты нулевой последовательности от КЗ на землю	50
6.1.Назначение и функциональные возможности модуля ТЗНП	50
6.2.Ускорение при включении ВЛ на повреждение	51
6.3.Функция определения направления.....	51
6.4.Выбор уставок	52
6.4.1.Выбор уставок 1-ой ступени $IN1>$, $T1$	52
6.4.2.Выбор уставок 2-ой ступени $IN2>$ $T2$ (ступень высокого тока).....	53
6.4.3.Выбор уставок 3-ей ступени $IN3>$, $T3$	54
6.4.4.Выбор уставок 4-ой ступени $IN4>$, $T4$	56
6.4.5.Направленность отдельных ступеней	57
7.Приложение. Примеры выбора уставок	59
7.1.Выбор уставок дистанционной защиты.....	59
7.1.1.Выбор общих параметров срабатывания ступеней ДЗ.....	59
7.1.2.Выбор уставок первой ступени	60
7.1.3.Выбор уставок второй ступени	61
7.1.4.Выбор уставок третьей ступени	63
7.1.5.Выбор уставок четвертой ступени	65
7.1.6.Выбор ступени, для которой вводится дополнительная зона, и уставки дополнительной зоны	67
7.1.7.Выбор ступени, для которой вводится функция отстройки от нагрузки, и уставок функции отстройки от нагрузки	68
7.1.8.Выбор уставок по току ступеней ДЗ при их автоматическом переводе в МТЗ при неисправности цепей напряжения.....	68
7.1.9.Выбор уставок функции блокировки от качаний (БК)	70
7.1.10.Выбор уставок функции блокировки при неисправности цепей напряжения (БНН)	74
Методические указания по выбору уставок защит от коротких замыканий линий 35кВ, реализуемых при помощи устройства дистанционной защиты РС83-ВС	75
Условные обозначения	76
1.Принципы организации защит при разных видах КЗ, используемые виды и характеристики защит от КЗ устройства РС83-ВС	77
1.1.Виды КЗ и используемые ступени защит	77

1.2.Общие подходы к организации ступенчатых дистанционных защит и особенности дистанционной защиты устройства РС83-ВС	78
2.Выбор уставок ступеней дистанционной защиты	82
2.1.Первая ступень.....	82
2.1.1.Требования к первой ступени	82
2.1.2.Выбор уставок первой ступени	83
2.2.Вторая ступень	83
2.2.1.Требования ко второй ступени	83
2.2.2.Выбор уставок второй ступени.....	84
2.3.Третья ступень	86
2.3.1.Требования к третьей ступени.....	86
2.3.2.Выбор уставок третьей ступени	86
2.4.Четвертая ступень	87
2.5.Выбор уставки по току срабатывания ступеней ДЗ при их переводе в МТЗ в результате неисправности цепей напряжения.....	87
3.Определение уставок вспомогательных функций и дополнительных величин, используемых при расчетах уставок дистанционных защит.....	88
3.1.Коэффициент компенсации фазного тока током нулевой последовательности	88
3.2.Параметры функции отстройки от нагрузки	89
3.3.Определение переходных сопротивлений.....	89
3.4.Определение уставок блокировки при неисправности цепей напряжения (БНН)	89
4.Выбор уставок защиты от двойных замыканий на землю	91
4.1.Способы реализации защиты от двойных замыканий на землю для сети 35кВ с малыми токами замыкания на землю	91
4.2.Выбор уставок по направленности ступеней ТЗНП	92
4.3.Выбор уставок ступени ТЗНП для работы с первой ступенью ДЗ	92
4.3.Выбор уставок ступени ТЗНП для работы со второй ступенью ДЗ.....	93
4.4.Выбор уставок ступени ТЗНП для работы с третьей ступенью ДЗ	94
4.5.Выбор уставок ступени ТЗНП для работы с четвертой ступенью ДЗ	95
4.6.Выбор уставок дополнительной (последней) ступени ТЗНП, предназначенной для повышения чувствительности комплекса защит при двойных замыканиях на землю	95
Приложение. Примеры выбора уставок.....	97
П1. Выбор уставок дистанционной защиты.....	97
П1.1.Выбор общих параметров срабатывания ступеней ДЗ	97
П1.2.Первая ступень ДЗ	98
П1.3.Вторая ступень ДЗ	98
П1.4.Третья ступень ДЗ.....	100
П1.5.Четвертая ступень ДЗ	102
П1.6.Определение уставок блокировки при неисправности цепей напряжения (БНН).....	104
П2. Выбор уставок токовой защиты нулевой последовательности (ТЗНП)	105
П2.1.Параметрирование и выбор общих параметров срабатывания ступеней ТЗНП	105
П2.2.Выбор уставок 4 ступени ТЗНП	105
Литература	107

Методические указания по выполнению и выбору уставок защиты от замыканий на землю сетей 6-35 кВ при применении устройств серии РС83	108
Введение	109
1.Режимы замыкания на землю	109
2.Виды реализуемых защит и их уставки	111
2.1.Населективная сигнализация замыкания на землю по напряжению 3U0	111
2.2.Ненаправленная защита по току нулевой последовательности с пуском или без пуска по напряжению нулевой последовательности	112
2.3.Ненаправленная защита по сопротивлению нулевой последовательности с пуском по напряжению нулевой последовательности	113
2.4.Направленная защита по току нулевой последовательности с пуском по напряжению нулевой последовательности	114
2.5.Направленная защита по сопротивлению нулевой последовательности с пуском по напряжению нулевой последовательности	115
2.6.Применение защит нулевой последовательности с зависимыми время-токовыми характеристиками	116
2.7.Защита от замыканий на землю для компенсированных сетей по высшим гармоникам (ЗНЗвг)	116
2.7.1.Защита в голове линий, отходящих от общей секции шин.....	117
2.7.2.Защита на сетевых пунктах секционирования линий.....	119
2.7.3.Защита на сетевых пунктах секционирования линий, дополненная передачей сигналов блокировок через GOOSE сообщения	120
2.8.Защита от замыканий на землю для компенсированных сетей с блокирующими органами сопротивления и направления мощности нулевой последовательности	121
2.9.Особенности применения направленной токовой защиты нулевой последовательности в сети с резистивным заземлением нейтрали	122
3.Примеры выбора уставок	123
Пример 1. Ненаправленная ЗНЗ по току нулевой последовательности	123
Пример 2. Ненаправленная ЗНЗ по сопротивлению нулевой последовательности	124
Пример 3. ЗНЗ в компенсированных сетях по высшим гармоникам тока нулевой последовательности. ...	125
Пример 4. ЗНЗ в компенсированных сетях с блокирующими органами сопротивления и направления мощности нулевой последовательности.....	128
Выводы по результатам рассмотрения примеров 3 и 4.....	131
Литература	132
Методические указания по выбору уставок токовой защиты обратной последовательности (ТЗОП) всех типов терминалов серий РС83 и РС830 для сетей 6-110 кВ	133
Список сокращений:	134
Организация токовых защит обратной последовательности (ТЗОП) устройств серий РС83 и РС830. Особенности выбора уставок при разном назначении ТЗОП	135
1.ТЗОП как защита присоединения сети с повышенной чувствительностью к несимметричным коротким замыканиям	136
2. ТЗОП как защита двигателя от неполнофазных режимов	139

3. ТЗОП с пуском по отношению I ₂ /I ₁ как защита от обрыва провода на нагруженном участке линии.....	140
Литература	140
Методические указания по выбору уставок защит устройства РС830-В2	141
Список сокращений:	142
Состав защит по напряжению устройства РС830-В2 и особенности выбора уставок при их различном назначении	143
1.ЗМН.....	143
1.1. ЗМН как защита, предотвращающая работу оборудования при недопустимом снижении напряжения	143
1.2.ЗМН как защита, запрещающая самозапуск отдельных двигателей по условиям технологического процесса или условиям безопасности	144
1.3. ЗМН как защита, обеспечивающая самозапуск ответственных двигателей путем отключения части неответственных	144
1.4. ЗМН для пуска токовых защит с пуском минимального напряжения	144
1.5.ЗМН для пуска АВР.....	145
2.ЗПН.	146
2.1.ЗПН как защита, предотвращающая работу оборудования при недопустимом повышении напряжения	146
2.2. ЗПН для пуска восстановления нормального режима после АВР	146
3.Защита по напряжению обратной последовательности U_{2max}.....	147
3.1.Защита по напряжению обратной последовательности для пуска при несимметричных КЗ токовой защиты с пуском по напряжению	147
3.2.Защита по напряжению обратной последовательности как защита от неполнофазного режима	147
4.Защита от замыканий на землю (ЗНЗ) по напряжению нулевой последовательности	148
5.Блокировка при неисправности цепей напряжения	148
5.1. Блокировка при неисправности цепей звезды фазных напряжений БНН1	148
5.2.Блокировка при неисправности цепей разомкнутого треугольника БНН2	149
Литература	150
Методические указания по выбору уставок защит двигателей, реализуемых при помощи устройств РС830-М1	151
Условные обозначения.....	152
1.Определение исходных величин	153
1.1.Пусковой ток двигателя	153
1.2.Максимальный ток для определения небалансов	153
1.3.Погрешность трансформаторов тока	153
2.Дифференциальная защита двигателя.....	154
2.1.Реализация дифференциальной защиты	154
2.2.Дифференциальная защита с торможением (ДТ), с током срабатывания меньше номинального тока двигателя	155
2.3.Дифференциальная защита с торможением (ДТ), с током срабатывания больше номинального тока двигателя	158
2.4.Дифференциальная отсечка (ДО).....	159
2.5.Дифференциальная защита от небаланса (ДН).	159

3.Максимальная токовая защита	160
3.1.Токовая отсечка	160
3.2.Защита от перегрузки	160
4.Защита от затяжного пуска (ЗЗП) и блокировки ротора (ЗБР)	161
5.Защита от неполнофазных режимов	161
6.Защита от замыканий на землю (ЗНЗ)	162
7.Защиты по напряжению (ЗН)	163
7.1.Защита минимального напряжения (ЗМН).....	163
7.2.Защита от недопустимого повышения напряжения (ЗПН)	163
7.3.Защита по напряжению обратной последовательности	164
7.4.Защита по напряжению нулевой последовательности	164
8.Защита минимального тока (ЗМТ)	164
9.Защита от выпадения из синхронизма (ЗВС)	164
10.Защита от асинхронного хода	164
11.Защита от потери питания (ЗПП)	165
12.Защита от обратного вращения (ОБВ)	165
13.Идентификация пуска двигателя (ИПД)	166
14.Защита от перегрева (тепловая защита ТЗ) на основании тепловой модели	166
Литература	170
Методические указания по реализации ДЗШ, ДЗО с использованием устройства РС830-ДТЗ. Рекомендации по выполнению схем и программированной логики. Выбор уставок	171
1.Реализация ДЗШ, ДЗО при помощи устройства РС830-ДТЗ	172
2.Выбор уставок дифференциальной защиты устройства РС830-ДТЗ при его использовании для реализации дифзащиты шин или ошиновки (ДЗШ/ДЗО)	175
2.1.Коэффициенты выравнивания	175
2.2.Уставки дифференциальной отсечки (ДО).....	176
2.3.Уставки дифференциальной защиты с торможением (ДТ)	177
2.4.Уставки дифференциальной защиты от небаланса (ДН)	179
Литература	180
Методические указания по выбору уставок дифференциальной защиты трансформаторов, реализуемой при помощи устройств РС830-ДТЗ	181
Условные обозначения	182
Порядок определения уставок	183
1. Коэффициенты трансформации трансформаторов тока	183
2. Коэффициенты выравнивания	184
3. Блокировка от бросков тока намагничивания и перевозбуждения ступени дифференциальной защиты с торможением (ДТ)	185
4. Начальный ток срабатывания ДТ $I_{до}$	185
5.Параметры торможения ДТ	186
6.Коэффициент чувствительности ДТ	193

7. Дифференциальная отсечка (ДО).....	195
8. Время срабатывания ступеней дифференциальной защиты	196
9. Дифференциальная защита от небаланса	196
Таблица задания уставок.....	196
Примеры выбора уставок.....	198
Литература	210
Методические указания по выбору уставок дифференциальной защиты трансформаторов, реализуемой при помощи устройств РС830-ДТ2	211
Условные обозначения.....	212
Порядок определения уставок	213
1. Коэффициенты трансформации трансформаторов тока	213
2. Коэффициенты выравнивания	214
3. Блокировка от бросков тока намагничивания и перевозбуждения ступени дифференциальной защиты с торможением (ДТ)	214
4. Начальный ток срабатывания ДТ I_{d0}	215
5. Параметры торможения ДТ	215
6. Коэффициент чувствительности ДТ	220
7. Дифференциальная отсечка	222
8. Время срабатывания ступеней дифференциальной защиты	223
9. Дифференциальная защита от небаланса	224
10. Таблица задания уставок.....	224
Литература	225
Рекомендации по выбору настроек и уставок устройства управления РПН трансформатора РС83-В4.....	227
1. Выбор режима регулирования по напряжениям входов U_1, U_2	228
2. Уставка по напряжению срабатывания	228
3. Выбор режима коррекции по току и параметров коррекции.....	228
4. Уставка по ширине зоны нечувствительности	230
5. Уставка по времени формирования команд прибавить и убавить	230
6. Уставка по времени переключения привода	230
7. Уставка по времени выдачи повторной команды	230
8. Уставка по ограничению количества повторных команд в одну сторону.....	231
9. Уставка по уровню напряжения ускорения команды «Убавить»	231
10. Уставка по уровню блокировки регулирования на понижение напряжения	231
11. Уставка по току блокировки РТБ	231
Литература	231
Методические указания по выбору уставок защит от коротких замыканий фидеров контактной сети 27,5кВ, реализуемых при помощи устройства РС830-ФКС.....	232
Условные обозначения.....	233

Введение	234
1. Структура контактной сети и общие требования к ее защитам	235
2. Выбор уставок ступеней дистанционной защиты и токовой отсечки	240
2.1. Первая ступень ДЗ	240
2.1.1. Требования к первой ступени	240
2.1.2. Выбор уставок первой ступени	240
2.2. Токовая отсечка (дополнительная защита)	241
2.2.1. Требования к токовой отсечке	241
2.2.2. Выбор уставок токовой отсечки	241
2.3. Вторая ступень ДЗ	242
2.3.1. Требования ко второй ступени	242
2.3.2. Выбор уставок второй ступени	242
2.4. Третья ступень ДЗ	244
2.4.1. Требования к третьей ступени	244
2.4.2. Выбор уставок третьей ступени	244
2.5. Четвертая ступень ДЗ	246
2.5.1. Требования к четвертой ступени	246
2.5.2. Выбор уставок четвертой ступени при характеристике в виде трапеции	246
2.6. Выбор уставки по току срабатывания ступеней ДЗ при их переводе в МТЗ в результате неисправности цепей напряжения	248
3. Уставки функции блокировки при неисправности цепей напряжения БН	249
4. Выбор уставок защит по напряжению	249
4.1. Потенциальная защита (ЗМН)	249
Приложение 1. Учет параметров места повреждения	251
Приложение 2. Определение сопротивлений участков контактной сети	252
Приложение 3. Определение параметров схемы замещения	259
Литература	263

**Рекомендации по выбору уставок дистанционных защит от
всех видов КЗ и токовых защит терминала РС830-ДЗ
«РЗА СИСТЕМЗ» при использовании их в качестве
основной/резервной защиты от всех видов КЗ
на ВЛ-110 (150) кВ**

Введение

1. В настоящих рекомендациях рассмотрены вопросы выбора уставок функций РЗА, содержащихся в Устройстве РС830-ДЗ производства «РЗА СИСТЕМС», при использовании их в качестве основной/резервной защиты от всех видов КЗ на ВЛ 110-150 кВ.
2. Выбор уставок дистанционных защит от многофазных КЗ регламентируется «Руководящими указаниями по релейной защите. Выпуск 7. Дистанционная защита линий 35-330 кВ», Москва, 1966 г. и работами ЭСП (Москва): «Разработка схем и методики расчетов характеристик дистанционных защит линий 110-750 кВ объединенных энергосистем», 1981 г. ; «Разработка рекомендаций по расчету и выбору параметров срабатывания защит на микроэлектронной элементной базе ВЛ 110-750 кВ», т. 1, 2, 1985 г. Основные подходы и требования указанных материалов распространяются и на дистанционную защиту от междуфазных КЗ устройства РС830-ДЗ (далее РС830-ДЗ), но с учетом особенностей характеристик срабатывания и принципов работы.
3. Рекомендации по выбору уставок дистанционных защит от всех видов КЗ на микропроцессорной базе разработаны на основе опыта выбора уставок защит фирмы АВВ "Siemens", "GE" и "Alstom", используемых в сетях ОЭС Украины.
4. Выбор уставок токовых защит, входящих в состав устройства РС830-ДЗ, разработан на основе подходов, изложенных в «Руководящих указаниях по релейной защите. Выпуск 12. Токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю линий 110-500 кВ», Москва, 1980 г. и работе ЭСП (Москва) «Разработка рекомендаций по расчету и выбору параметров срабатывания защит на микроэлектронной элементной базе ВЛ 110-750 кВ», т. 1, 2, 1985 г. с учетом особенностей и принципов работы указанных защит в устройстве РС830-ДЗ.
5. В отечественной практике для схем релейной защиты используется принцип обеспечения дальнего/ближнего резервирования, что предполагает максимальное использование всех имеющихся ступеней защит в устройстве РС830-ДЗ.

1. Общие сведения об устройстве РС830-ДЗ

Устройство РС830-ДЗ – многофункциональное цифровое устройство на современной элементной базе, объединяющее различные функции защиты, контроля, управления и сигнализации. Предназначено для использования в схемах релейной защиты и противоаварийной автоматики линий напряжением 110 – 150 кВ.

В своем составе содержит следующие защитные функции:

- восемь ступеней основной защиты (ОЗ);
- восемь ступеней защиты от замыканий на землю (ЗНЗ);
- две ступени защиты по току обратной последовательности (ОБР);
- две ступени защиты по напряжению (ЗН);
- восемь ступеней дополнительной функции (ДФ);
- две ступени двукратного АПВ;
- две ступени ЧАПВ;

- две ступени АЧР;
- две ступени УРОВ;
- одна ступень блокировки при обрыве цепей напряжения (ЗОЦН);
- блокировка при качаниях;
- встроенный осциллограф, обеспечивающий записи осциллограмм первичных значений общей длительностью до 1 минуты, входных аналоговых сигналов, положения дискретных входов, выходных реле и логических сигналов защит.

В устройстве предусмотрено шесть групп уставок, которые могут переключаться из меню или по дискретным входам.

Уставки и параметры устройства РС830-ДЗ задаются с помощью программного обеспечения «**MONITOR- PC830-DZ**»

1.1. Функциональные возможности устройства РС830-ДЗ

1.1.1. Основная защита (ОЗ)

Каждая из восьми ступеней «Основной защиты» (**ОЗ**) может работать в соответствии с выбранным режимом: как МТЗ или как ДЗ. Перечень возможных параметров срабатывания имеет одинаковый состав для каждой из ступеней **ОЗ**.

В режиме работы «МТЗ» измерительный орган реагирует на превышение фазных токов. Для любой ступени МТЗ может выбираться разрешение направленности, разрешение автоматического ускорения, разрешение блокировки по уровню второй гармоники, блокировки по защите минимального напряжения (по логике «ИЛИ») или по напряжению обратной последовательности.

Направленность ступени **ОЗ** в режиме МТЗ реализуется органом направления мощности, выполненным по «девятиугоградской схеме». При обрыве цепей напряжения направленные ступени МТЗ автоматически переводятся в ненаправленные.

В режиме ДЗ измерительный орган **ОЗ** работает по сопротивлению. Для каждой из ступеней ДЗ есть возможность выбора типа характеристики срабатывания с возможностью блокировки в секторе нагрузки:

- круговая с центром в начале координат;
- эллиптическая, проходящая через начало координат;
- полигональная.

Для каждого типа характеристики ДЗ может контролировать:

- межфазные замеры АВ, ВС, СА (параметр «**Разрешение работы ступени**» задается как «**ДЗ фаза-фаза**»). Сопротивления вычисляются по формуле:

$$Z_{\phi_1\phi_2} = (U_{\phi_1\phi_2}) / (I_{\phi_1\phi_2}) \quad (1.1)$$

- фазные замеры А0, В0, С0 (параметр «**Разрешение работы ступени**» как «**ДЗ фаза-N**»). Сопротивления вычисляются по формуле:

$$Z_{\phi 0} = U_{\phi} / (I_{\phi} + k I_0) \quad (1.2)$$

- все замеры: как межфазные, так и фазные (параметр «**Разрешение работы ступени**» как «**ДЗ фаза-фаза-N**»). Сопротивления вычисляются по формулам (1.1), (1.2).

Зона срабатывания ступени ДЗ может ограничиваться выбором режима направленности, выреза нагрузки, блокировкой при качаниях и неисправности цепей напряжения (ЗОЦН).

При использовании блокировки от качаний ступень ДЗ всегда заблокирована. Ее работа разрешается только по условию срабатывания заданной ступени блокировки от качаний: БКБ или БКМ (быстродействующей/медленнодействующей) на заданное время.

Каждая из двух ступеней БК имеет чувствительный и грубый орган. Измерительный орган ступеней БК реагирует на приращение токов прямой и обратной последовательностей. Блокировка разрешает работу дистанционной защиты только при определении режима короткого замыкания на заданное время, если за это время дистанционная защита не отработала, то блокировка при качаниях ее заблокирует.

По факту определения неисправности цепей напряжения ступень **ОЗ** в режиме ДЗ автоматически блокируется, работа дистанционного измерительного органа переводится в режим ненаправленной токовой защиты по фазному току, с отдельной уставкой **I сраб**.

1.1.2. Защита от замыканий на землю (ЗНЗ) и другие защитные функции

Защита от замыканий на землю (**ЗНЗ**) может работать по расчетному току нулевой последовательности (по **3I0**), по измеренному напряжению нулевой последовательности (по **3U0**) или, как дистанционная защита, по сопротивлению нулевой последовательности (по **Z_{0_P}**). Выбранный режим работы определяется уставкой «**Разрешение работы ступени**». Дополнительно, для любой из ступеней, может задаваться режим работы по направлению мощности нулевой последовательности и режим блокировки по уровню напряжения нулевой последовательности.

Устройство содержит восемь ступеней **ЗНЗ**, каждая из которых имеет одинаковый перечень возможных параметров срабатывания.

В режиме работы по **3I0** измерительный орган ЗНЗ реагирует на превышение тока нулевой последовательности **3I0**, значение которого определяется как

$$3I0 = Ia + Ib + Ic \quad (1.3)$$

В режиме работы по **3U0** измерительный орган ЗНЗ реагирует на превышение напряжения нулевой последовательности.

В режиме ДЗ функция защиты от КЗ на землю работает по сопротивлению **Z_{0_P}**, которое определяется по формуле:

$$Z0_P = 3U0 / 3I0 \quad (1.4)$$

В режиме работы по сопротивлению есть возможность выбора трех типов характеристик срабатывания с возможностью выреза сектора нагрузки: круговая с центром в начале координат; эллиптическая, проходящая через начало координат; полигональная. Как и для ступеней **ОЗ** определяется режим по направлению мощности.

Работа **ЗНЗ** в режиме по **3I0** отличается от режима работы по напряжению или сопротивлению только работой измерительного органа. Остальная логика работы одинаковая.

Среди других защитных функций имеются:

Защита по току обратной последовательности (ОБР) может работать по току обратной последовательности или по отношению тока обратной к току прямой последовательности. Устройство содержит две ступени ОБР, каждая ступень имеет одинаковый набор уставок.

Защита по напряжению(ЗН) может работать как защита от понижения напряжения(ЗМН), так и защита от повышения напряжения(ЗПН). В обоих режимах работы защита может работать по логике «И» или «ИЛИ». Измерительный орган **ЗН** реагирует на межфазные напряжения. Устройство содержит две ступени **ЗН**, каждая из которых имеет одинаковый набор уставок.

В режиме работы ЗМН по логике «И» измерительный орган функции реагирует на снижение всех трех межфазных напряжений ниже уставки. В режиме работы ЗМН по логике «ИЛИ» компаратор функции реагирует на снижение хотя бы одного из трех межфазных напряжений ниже уставки. В режиме работы ЗПН по логике «И» измерительный орган функции реагирует на превышение всех трех межфазных напряжений уставки. В режиме работы ЗПН по логике «ИЛИ» компаратор функции реагирует на превышение хотя бы одного из трех межфазных напряжений уставки.

На блоке **дополнительных функций (Д.ф.)** могут быть назначены выходы защит, дискретные входы или логические выходы выходных реле. Устройство содержит восемь ступеней **Д.ф.**, у каждой ступени предусмотрено до шестнадцати входов, каждый вход может работать прямо или с инверсией. Все входы могут быть объединены по логике «И» или по логике «ИЛИ». Входы, на которые сигнал не назначен, не участвуют в алгоритме работы **Д.ф.**

По результатам работы **Д.ф.** могут быть сформированы сигналы: «Пуск Дф», «Работа Дф».

Устройство содержит две ступени **АПВ**. Две ступени предусмотрены для того, чтобы была возможность использовать одну ступень (со своими уставками) в одну сторону линии с двусторонним питанием, а вторую ступень (со своими уставками) в другую сторону линии. Каждая ступень АПВ может быть одно- или двукратной

В устройстве предусмотрено две ступени **АЧР/ЧАПВ**. Две ступени предусмотрены для того, чтобы была возможность использовать одну ступень (со своими уставками) в одну сторону линии с двусторонним питанием, а вторую ступень (со своими уставками) в другую сторону линии.

В устройстве предусмотрено две ступени **УРОВ**. Две ступени предусмотрены для того, чтобы была возможность использовать одну ступень (со своими уставками) в одну сторону линии с двусторонним питанием, а вторую ступень (со своими уставками) в другую сторону линии.

АУВ – это функция автоматики управления выключателем. Данная функция позволяет управлять выключателем, реализовывает блокировку многократных включений и позволяет организовать включение выключателя с контролем напряжения на секции шин и на вводе и с контролем синхронизма.

Определение расстояния до места повреждения происходит в момент срабатывания ОЗ исходя из следующих допущений:

- место повреждения определяется только для короткого замыкания (КЗ) на воздушных и кабельных линиях электропередач путем расчета расстояния от места установки терминала релейной защиты с функцией ОМП до точки КЗ;

- расстояние до точки КЗ определяется путем фиксации сопротивления петли КЗ в момент срабатывания пускового органа защиты от КЗ с последующим перерасчетом расстояния с учетом удельного сопротивления на каждом участке линии;
- вычисление фиксируемого сопротивления выполняется по различным соотношениям в зависимости от вида КЗ;
- вид КЗ (*АО, ВО, СО, АВ, ВС, СА*) определяется по числу фаз, обтекаемых током КЗ.

1.2. Особенности применения защитных функций устройства РС830-ДЗ

Использование конкретных защитных функций, из перечисленных в п.1.1, обусловлено:

- требованиями к защите воздушных линий 110-150 кВ согласно ПУЭ раздел 3, пп.3.2.106-3.2.116;
- опытом выбора уставок и эксплуатации микропроцессорных защит в ОЭС Украины;
- особенностями конкретного защищаемого присоединения, конфигурацией прилегающей сети, типом установленных защит на смежных присоединениях;
- требованиями к обеспечению селективности, чувствительности, дальнего резервирования, которые применяются в отечественной практике выбора уставок микропроцессорных устройств РЗА.

1.2.1. Рекомендации по использованию защитных функций на дистанционном принципе

Рекомендуется, из имеющихся в составе РС830-ДЗ защитных функций **ОЗ**, в качестве основной/резервной защиты линий 110-150 кВ использовать 5-ти ступенчатую дистанционную защиту от всех видов КЗ с полигональной характеристикой. Это обусловлено тем, что эксплуатируемые в ОЭС Украины терминалы GE, 7SA522, REL670, REL650 имеют в своем составе дистанционные защиты с таким же количеством ступеней, подобными полигональными характеристиками, что позволяет обеспечить общий подход к защитам разных производителей. Выбор полигональной характеристики дистанционной защиты вызван большей гибкостью при построении зоны срабатывания (по сравнению с круговыми характеристиками), что позволяет добиться баланса между требованиями по обеспечению селективности (согласования) и чувствительности.

Окончательное решение по количеству ступеней, а также вопрос применения ДЗ при КЗ на землю - решается для каждого конкретного случая после проведения расчетов.

Для исключения ложной работы дистанционной защиты при возникновении качаний мощности в энергосистеме рекомендуется использовать функцию блокировки при качаниях (**БК**).

Использование выреза от нагрузки в характеристиках ДЗ позволит обеспечить отстройку от нагрузки без уменьшения зоны срабатывания.

Рекомендации по применению и выбору уставок ДЗ с круговой и эллиптической характеристикой в данной работе не рассматриваются, т.к. устройство РС830-ДЗ является близким функциональным аналогом панелей защит серии ЭПЗ-1636, выбор уставок которых

регламентирован Руководящими указаниями по релейной защите Выпуск 7 «Дистанционная защита линий 35-330 кВ».

1.2.2. Рекомендации по использованию токовых защит

Для ликвидации близких к.з, сопровождающихся большими токами, рекомендуется в функции **ОЗ** одну из ступеней применять, как быстродействующую максимальную токовую отсечку, используя режим МТЗ. Токовая отсечка хотя имеет небольшую зону охвата защищаемой линии, но обладает высоким быстродействием, что важно для сохранения устойчивости системы.

Для ликвидации КЗ на землю в сетях с заземленной нейтралью в функции **ЗНЗ** рекомендуется использовать ступени в режиме по **3I₀**, как четырехступенчатую токовую защиту нулевой последовательности (ТЗНП).

Применение в функции **ОБР** токовых защит обратной последовательности, а также других функциональных блоков устройства РС830-ДЗ должно рассматриваться для каждого конкретного случая, исходя из особенностей защищаемого объекта, конкретных условий режимов работы сети, количества и типов терминалов, устанавливаемых на защищаемом присоединении.

2. Выбор уставок дистанционной защиты от всех видов к.з. с полигональной характеристикой устройства РС830-ДЗ

2.1. Общие положения по выбору уставок дистанционной защиты

2.1.1. Характеристики зон срабатывания защиты

На рис. 2.1. представлены ступени ДЗ с полигональными характеристиками. Каждая из ступеней имеет набор задаваемых параметров, которые являются общими для измерительных органов от междуфазных к.з. и от к.з. на землю.

Зона срабатывания (характеристика) «впереднаправленной» ступени ДЗ (рис.2.1,а) по оси реактивных сопротивлений ограничена уставкой **X_y**.

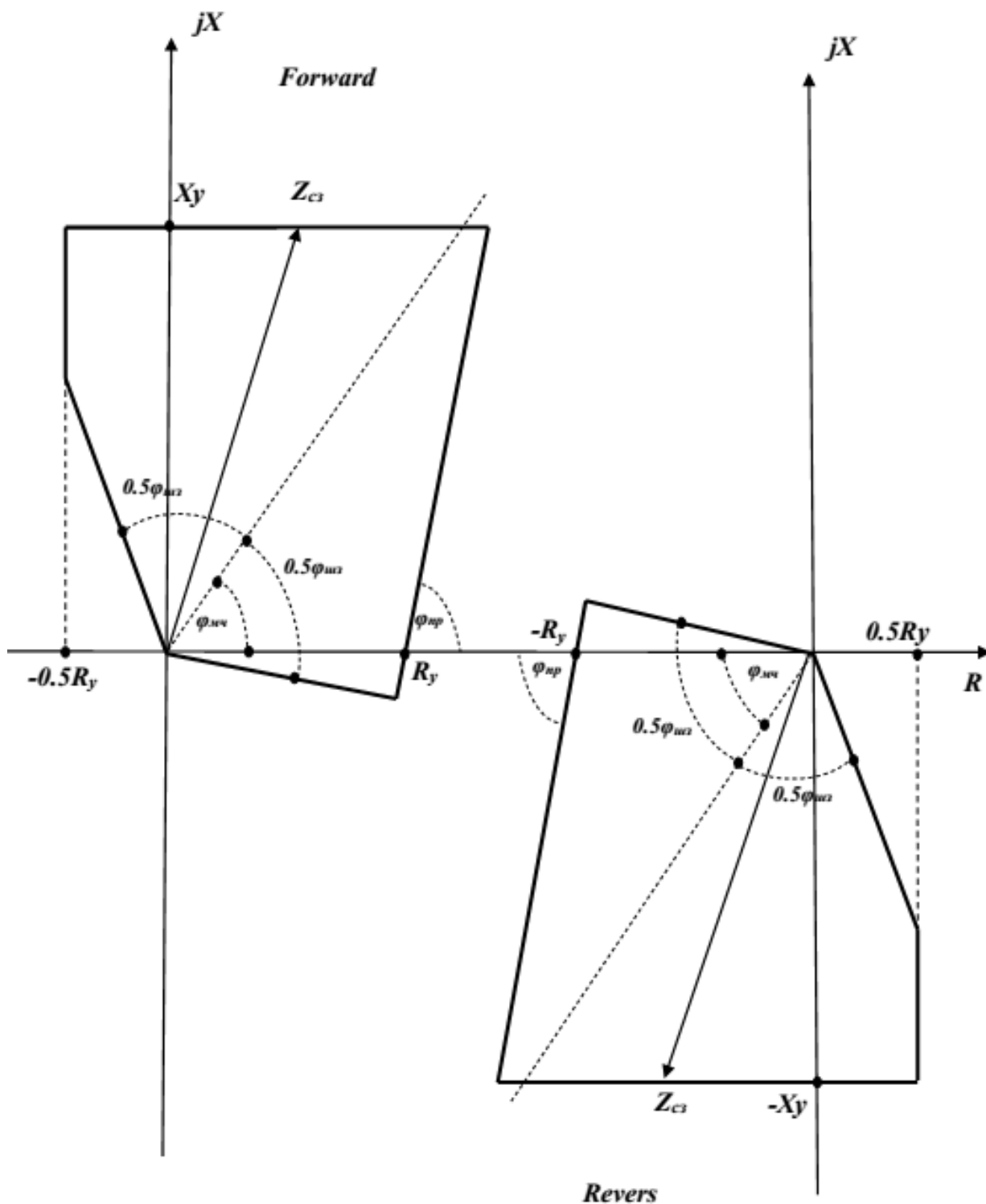
В I и III-ем квадрантах в направлении активных сопротивлений область действия защиты ограничена прямой линией, образующей с осью **R** угол $\varphi_{пр}$ - характеристический угол линии, и находящейся от начала координат на расстоянии **R_y** – уставки по активному сопротивлению.

Во II -м квадранте область действия ограничена прямой линией параллельной оси **jX** и находящейся от начала координат на расстоянии **0.5 R_y**.

Направленное действие характеристики задается прямой линией, проходящей через начало координат под углом $\varphi_{мч} = 0 \div 179^\circ$ к оси **R**, и двумя линиями, располагающимися под углом $\varphi_{шз}$ по отношению к оси $\varphi_{мч}$ во 2-м и 4-м квадрантах. Угол максимальной чувствительности для полигональной характеристики является величиной условной, предназначенной совместно с уставкой по ширине зоны срабатывания $\varphi_{шз}$ только для задания необходимого положения границ направленности характеристики.

Для «впереднаправленных» ступеней ДЗ рекомендуется задавать $\varphi_{мч} = 50^\circ$, $\varphi_{шз} = 130^\circ$, что соответствует зоне направленности большинства микропроцессорных ДЗ, используемых в сети ОЕС Украины.

Для «обратнонаправленных» ступеней, характеристика представлена на рис.2.1,б , граничные линии направленности совпадают с линиями направленности в прямом направлении, повернутой на 180 градусов.



а) полигональная характеристика впереднаправленной ступени ДЗ при $\varphi_{мч}=0 \div 179^\circ$

б) полигональная характеристика обратнонаправленной ступени ДЗ для при $\varphi_{мч}=180 \div 359^\circ$

Рис.2.1. Полигональные характеристики ДЗ

Каждая из ступеней ДЗ путем задания уставки «**Разрешение работы ступени**»:

- может быть отключена;
- работать только при м.ф.КЗ;
- работать только при КЗ на землю;
- работать при всех видах КЗ.

Возможно автоматическое ускорение любой из ступеней дистанционной защиты (по выбору) при АПВ и ручном включении.

Каждая из ступеней ДЗ имеет возможность «блокировки по нагрузке». Зона «выреза от нагрузки» определяется параметрами Z_n и ϕ_n (рис.2.2), которые являются общими для всех ступеней. Использование «блокировки по нагрузке» для конкретной ступени необходимо, когда нет возможности параметр R_y отстроить от нагрузки при соблюдении требований чувствительности.

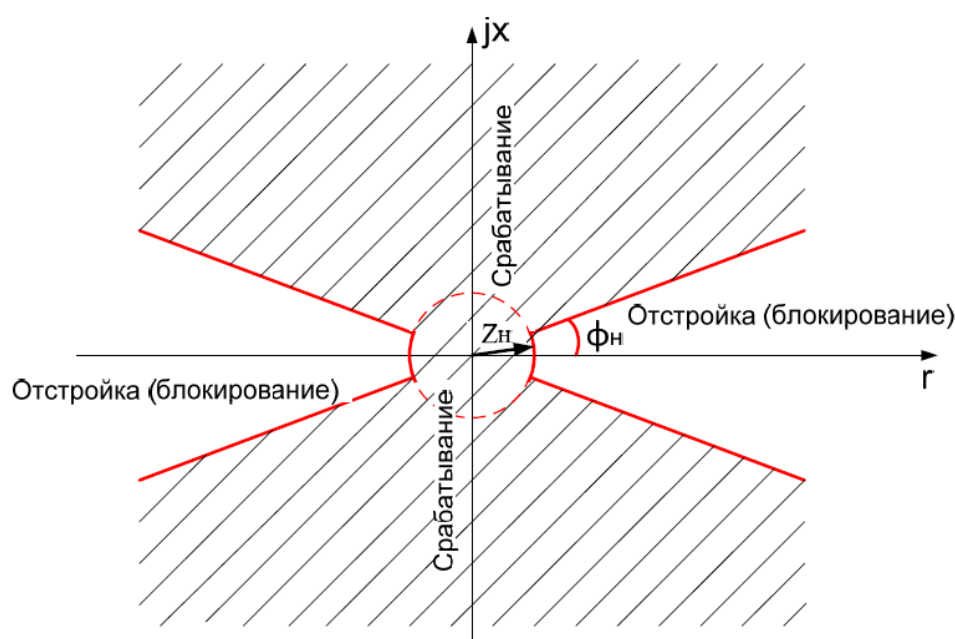


Рис 2.2. Область отстройки от нагрузки

При потере или неисправности цепей напряжения, чтобы исключить ложное действие дистанционной защиты, функция ЗОЦН («Защита от обрыва в цепях напряжения») автоматически переводит срабатывание ступени с дистанционных органов на максимально-токовые с отдельными уставками по току срабатывания $I_{сз}$, но без изменения уставок по времени. МТЗ является менее универсальной чем ДЗ и не может во всех случаях обеспечить такую же селективную работу. Следовательно, основным требованием к организации такой МТЗ является сведение к возможному минимуму случаев ее неселективной работы, поэтому уставки по току ступеней МТЗ целесообразно выбирать так, чтобы их зоны действия в реальной сети с ее распределением токов КЗ максимально совпадали с зонами действия заменяемых ступеней ДЗ.

Для исключения возможного ложного действия ДЗ при качаниях в энергосистеме в терминалах РС830-ДЗ предусмотрена функция блокировки защиты при качаниях. Для ступеней, не отстроенных от режима качаний по времени (выдержки времени которых не превышают значений 1,5-2 с), с помощью уставки «**Разрешение блокировки при качаниях**» применяется алгоритм блокирования защиты при качаниях. Если эта уставка задана как «**Откл**» - то ступень работает не зависимо с установленной выдержкой времени. В

нормальном режиме работы энергосистемы и при качаниях реле сопротивления ступеней, для которых включена блокировка при качаниях, заблокированы. Блокировка разрешает работу дистанционной защиты только в момент короткого замыкания на время достаточное для ее срабатывания. Если за это время дистанционная защита не отработала, то блокировка при качаниях ее заблокирует.

Если на защищаемой линии имеется основная защита (диффазная, продольная дифференциальная), то ДЗ выполняет функцию резервной защиты. В режимах вывода основной защиты необходимо выполнять оперативное ускорение одной из ступеней резервной защиты, имеющей достаточную чувствительность при КЗ в конце ВЛ, с целью быстрого отключения повреждения на всей длине. В задаваемых параметрах предусмотрена уставка $T_{3\text{ оу}}$ – определяющая время срабатывания ступени при выводе основной защиты.

Для каждой из ступеней ДЗ задаются параметры:

Режим работы:

- **«Откл»;**
- **«ДЗ фаза-фаза»** - работает как ДЗ от м.ф.КЗ;
- **«ДЗ фаза-N»** - работает как ДЗ от КЗ на землю;
- **«ДЗ фаза-фаза-N»** - работает как ДЗ от всех видов КЗ.

Тип характеристики:

- **«круговая»;**
- **«эллиптическая»;**
- **«полигональная».**

X_u - уставка по реактивному сопротивлению срабатывания, определяет величину зоны охвата характеристики ступени дистанционной защиты, в диапазоне **$0,1 \div 100 \text{ Ом}$, с шагом $0,01 \text{ Ом}$**

$\varphi_{\text{мч}}$ - уставка по углу максимальной чувствительности, задается характеристический угол для формирования направленной полигональной характеристики, в диапазоне **$0 \div 359^\circ$, с шагом 1°**

$\varphi_{\text{шз}}$ – уставка по углу ширины зоны, определяет положение линий направленности во 2-м и 4-м квадрантах комплексной плоскости, в диапазоне **$10 \div 180^\circ$, с шагом 1°**

$R_{\text{пр}}$ - уставка по активному сопротивлению срабатывания, определяет положение правой ветви прямоугольной характеристики вдоль оси активного сопротивления на комплексной плоскости, в диапазоне **$0,1 \div 100 \text{ Ом}$, с шагом $0,01 \text{ Ом}$**

$\varphi_{\text{пр}}$ - определяет угол наклона правой боковой стороны характеристики к оси активных сопротивлений, в диапазоне **$30 \div 90^\circ$, с шагом 1°**

T_3 - уставка по времени срабатывания ступени, в диапазоне **$0 \div 60 \text{ с}$, шагом $0,01 \text{ с}$**

Разрешение автоматического ускорения ступени - **«Вкл», «Откл»**

$T_{3\text{ ау}}$ - уставка по времени срабатывания ступени с автоматическим ускорением, в диапазоне **$0 \div 1 \text{ с}$, с шагом $0,01 \text{ с}$**

$T_{3\text{ оу}}$ – уставка по времени срабатывания ступени, если она используется для оперативного ускорения, в диапазоне **$0 \div 60 \text{ с}$, шагом $0,01 \text{ с}$**

Разрешение блокировки ступени в области выреза от нагрузки – **«Откл», «Вкл»**

Z_n - уставка по сопротивлению выреза по нагрузке, определяет область, в которой располагаются замеры сопротивлений возможных нагрузочных режимов. Уставка общая для всех ступеней ДЗ, в диапазоне **10÷500 Ом, с шагом 0,1 Ом**

φ_n - уставка по углу нагрузки. Уставка общая для всех ступеней ДЗ, в диапазоне **0 ÷ 60 °, с шагом 1 °**

Разрешение блокировки при качаниях:

- **«Откл»**-ступень работает без блокировки при качаниях;
- **«Вкл. БКБ»** - ввод в работу быстродействующих ступеней ДЗ по сигналу блокировки «БКБ»;
- **«Вкл.БКМ»** - ввод в работу медленнодействующих ступеней ДЗ по сигналу блокировки «БКМ».

I_{сз} - уставка по току срабатывания ступени при повреждениях в цепях напряжения и срабатывании ЗОЦН, в диапазоне **0,1÷125 А, с шагом 0,01 А**

K₀ – уставка коэффициента компенсации тока нулевой последовательности, в диапазоне **0 ÷ 3, с шагом 0,01**

K_в - коэффициент возврата **1,05**

Примечание: параметры задаются во вторичных величинах.

2.1.2. Рекомендуемое использование ступеней дистанционной защиты

Как было рассмотрено в п.1.2.1., рекомендуется следующее использование ступеней дистанционной защиты:

I ступень – без выдержки времени, уставки **Xy1, Ry1** выбираются по условию отстройки от шин противоположного конца ВЛ;

II ступень – с выдержкой времени, уставки **Xy2, Ry2** выбираются по условию обеспечения чувствительности к к.з. (в том числе и через **R_{пер.рас}**) в конце защищаемой ВЛ; если чувствительность к к.з. всех видов на защищаемой ВЛ обеспечивается, то данная ступень ДЗ используется также для автоматического ускорения при АПВ и ручном включении, в случае невозможности обеспечения чувствительности ко всем видам к.з. (с учетом **R_{пер.рас}**) на защищаемой ВЛ с приемлемой выдержкой времени действия, то указанные выше функции возлагаются на III ступень;

III ступень – с выдержкой времени, уставка **Xy3, Ry3** выбирается по условию обеспечения чувствительности к к.з. всех видов через **R_{пер.рас}** на защищаемой ВЛ; если указанное обеспечивается II ступенью, то на III ступень возлагаются функции дальнего резервирования;

IV ступень - с выдержкой времени, уставка **Xy4, Ry4**, ступень с выдержкой времени может использоваться для дальнего резервирования смежных присоединений;

Дополнительная зона – вводится в составе любой ступени, работает с выдержкой времени ступени, ненаправлена. Используется для обеспечения резервирования защиты шин "за спиной", а также для резервирования быстродействующих направленных ступеней защиты при КЗ в «мертвой зоне» по направленности.

2.1.3. Принцип измерения

В уравнениях контура повреждения используются комплексные значения величин напряжения, тока и изменения тока. Сопротивление на зажимах реле дистанционных органов вычисляются и проверяются по заданным предельным значениям.

Устройство постоянно по соотношению токов определяет тип КЗ (А0, В0, С0, АВ, ВС, СА, АВС). ДЗ работает по определенному контуру КЗ. Тип КЗ определяется по следующим условиям:

- КЗ на землю фазы А, если $((I_a > 0,9 \max(I_a, I_b, I_c)) \text{ И } (I_b < 0,9 \max(I_a, I_b, I_c)) \text{ И } (I_c < 0,9 \max(I_a, I_b, I_c)))$
- КЗ на землю фазы В, если $((I_b < 0,9 \max(I_a, I_b, I_c)) \text{ И } (I_b > 0,9 \max(I_a, I_b, I_c)) \text{ И } (I_c < 0,9 \max(I_a, I_b, I_c)))$
- КЗ на землю фазы С, если $((I_a < 0,9 \max(I_a, I_b, I_c)) \text{ И } (I_b < 0,9 \max(I_a, I_b, I_c)) \text{ И } (I_c > 0,9 \max(I_a, I_b, I_c)))$
- 2-фазное КЗ фаз АВ, если $((I_a > 0,9 \max(I_a, I_b, I_c)) \text{ И } (I_b > 0,9 \max(I_a, I_b, I_c)) \text{ И } (I_c < 0,9 \max(I_a, I_b, I_c)))$
- 2-фазное КЗ фаз ВС, если $((I_a < 0,9 \max(I_a, I_b, I_c)) \text{ И } (I_b > 0,9 \max(I_a, I_b, I_c)) \text{ И } (I_c > 0,9 \max(I_a, I_b, I_c)))$
- 2-фазное КЗ фаз СА, если $((I_a > 0,9 \max(I_a, I_b, I_c)) \text{ И } (I_b < 0,9 \max(I_a, I_b, I_c)) \text{ И } (I_c > 0,9 \max(I_a, I_b, I_c)))$
- 3-фазное КЗ АВС Тип КЗ = АВС, если $((I_a > 0,9 \max(I_a, I_b, I_c)) \text{ И } (I_b > 0,9 \max(I_a, I_b, I_c)) \text{ И } (I_c > 0,9 \max(I_a, I_b, I_c)))$

По измеренным величинам фазных токов, тока нулевой последовательности и напряжений в устройстве РС830-ДЗ производится расчет сопротивлений для соответствующего вида повреждения.

Расчет значений импеданса при междуфазных к.з. выполняется согласно уравнению

$$\bar{Z}_{расч} = \frac{\bar{U}_{L1} - \bar{U}_{L2}}{\bar{I}_{L1} - \bar{I}_{L2}} \quad (2.1)$$

где переменные $\bar{U}_{L1}, \bar{U}_{L2}, \bar{I}_{L1}, \bar{I}_{L2}$ представляют собой значения векторов напряжений и токов соответствующих фаз в месте установки защиты. По полученному комплексному значению $\bar{Z}_{расч}$ определяются ортогональные составляющие **R** и **X**.

Дистанционные органы от к.з. на землю выполнены с компенсацией от тока нулевой последовательности. Расчет значений сопротивлений при КЗ на землю определяется по выражению

$$\bar{Z}_{расч} = \frac{\bar{U}_{L1}}{\bar{I}_{L1} + k \cdot \bar{I}_0} \quad (2.2)$$

- где \bar{I}_{L1}, \bar{I}_0 - действующие значения фазного тока и тока нулевой последовательности (не утроенного) в месте установки защиты;
- \bar{U}_{L1} - действующее значения фазного напряжения в месте установки защиты;
- k** - коэффициент компенсации тока нулевой последовательности, используемый в терминале.

Традиционно при определении значения сопротивления при КЗ на землю используется значение утроенного тока нулевой последовательности $3\bar{I}_0$, и комплексный коэффициент компенсации, который можно рассчитать по параметрам защищаемой линии:

$$\frac{1}{3} \left(\frac{\bar{Z}_0}{\bar{Z}_1} - 1 \right) = \bar{K}_k \quad (2.3)$$

Где \bar{Z}_1, \bar{Z}_0 - вектор полного сопротивления прямой и нулевой последовательности, защищаемой линии

Т.о. коэффициент компенсации k , используемый устройством для определения замера сопротивления при КЗ на землю согласно (2.2) и задаваемый в виде уставки, будет равен:

$$k = 3|\bar{K}_k| \quad (2.4)$$

Подставляя полученное выражение в (2.2) имеем:

$$\bar{Z}_{расч} = \frac{\bar{U}_{LI}}{\bar{I}_{LI} + (3|\bar{K}_k|) \cdot \bar{I}_0} = \frac{\bar{U}_{LI}}{\bar{I}_{LI} + |\bar{K}_k| \cdot 3\bar{I}_0} \quad (2.5)$$

Следовательно, в дальнейшем, при выборе уставок для определения $Z_{расч}$ при однофазных КЗ можно использовать традиционное выражение (2.5) с модулем коэффициента компенсации \bar{K}_k , определяемым по (2.3).

Срабатывание дистанционных органов имеет место, когда измеряемые ими сопротивления $\bar{Z}_{расч}$ находятся внутри характеристики рис. 2.1 для междуфазных к.з. и для однофазных к.з. Так как характеристика представляет собой параллелограмм, то указанное обеспечивается, когда проекции вектора замера $\bar{Z}_{расч}$ на оси, ортогональные сторонам параллелограмма X_1, Y_1 меньше расстояния этих сторон до начала координат.

Т.к. в качестве уставок используются параметры X_y и R_y , условия срабатывания дистанционных органов при междуфазных к.з. и к.з. на землю определяются согласно выражений:

$$X_y \geq |Z_{расч} \cdot \sin \varphi_{расч}| \quad (2.6)$$

и

$$R_y \geq \left| Z_{расч} \cdot \cos \varphi_{расч} - \frac{Z_{расч} \cdot \sin \varphi_{расч}}{\operatorname{tg} \varphi_{пр}} \right| \quad (2.7)$$

Где $Z_{расч}$ и $\varphi_{расч}$ – модуль и угол сопротивления, измеряемого в месте установки защиты при трехфазном и однофазном к.з. соответственно. Для определения условий срабатывания замеры учитываются как при металлических КЗ, так и при к.з. через $R_{пер.рас.}$;

$X_y, R_y=R_{пр}$ – уставки дистанционного органа по реактивному и активному сопротивлению;

$\varphi_{пр}$ – угол наклона правой боковой стороны характеристики к оси активных сопротивлений, рекомендуется принимать равным углу защищаемой линии:

$$\varphi_{пр} = \varphi_L = \operatorname{arctg} \frac{X_1}{R_1} \quad (2.8)$$

где X_1 и R_1 – реактивное и активное сопротивление прямой последовательности защищаемой ВЛ

2.1.4. Основные подходы и допущения при выборе уставок

2.1.4.1 Дистанционная защита должна действовать при наличии переходных сопротивлений в месте к.з. Для определения величин расчетных $R_{пер.}$ были приняты следующие допущения:

2.1.4.1.1 При междуфазных к.з. переходное сопротивление определяется сопротивлением дуги между фазами в месте к.з., значение которого в отечественной практике рассчитывается по формуле:

$$R_0 = 1050 \frac{l}{I} \quad (2.9)$$

где l – длина дуги, м; I – ток дуги, А.

В момент возникновения к.з., т.е. для быстродействующих ступеней защит длина дуги принимается равной расстоянию между фазными проводами.

Для практических расчетов расстояние между проводами и соответствующее R_0 для ВЛ разных классов напряжений может быть взято из приведенной таблицы.

Таблица 1

Расстояние между проводами (м)	Напряжение ВЛ (кВ)	Ток дуги $I=1$ кА	Ток дуги $I=5$ кА	Ток дуги $I=10$ кА
3,5	110	3,675 Ом	0,735 Ом	0,37 Ом
4,0	150	4,2 Ом	0,84 Ом	0,42 Ом

Для ступеней, действующих с выдержкой времени необходимо учитывать увеличение дуги под влиянием электродинамических усилий ветра, по некоторым данным за 2 с в 5-6 раз.

Переходное сопротивление в месте к.з. на фазу составляет половину значения R_0 .

2.1.4.2 При однофазных к.з. переходное сопротивление определяется многими факторами: классом напряжения ВЛ, величиной тока к.з., сопротивлением возникающей дуги, допустимым сопротивлением заземления опоры, условиями заземления грозозащитных троссов, сопротивлением растеканию токов нулевой последовательности в грунте и др.

Для линий напряжением 110-150 кВ с заземлением грозозащитного тросса на каждой опоре принимается $R_{пер.} = 5$ Ом первичных.

При однофазных к.з. на шинах ПС (в зоне контура заземления ПС) $R_{пер.} = 0 \div 5$ Ом перв.

2.1.4.3 Расчеты аварийных режимов должны выполняться по схемам замещения прямой и нулевой последовательности, учитывающих активные сопротивления элементов схемы.

2.1.4.4 Уставки активного сопротивления R_y , вычисленные по (2.7) для дистанционных органов от междуфазных и однофазных к.з. соответственно, должны выбираться по условию обеспечения чувствительности с учетом нагрузочных режимов и принятого $R_{пер.рас.}$, а отстройка от нагрузки обеспечивается функцией выреза от нагрузки. При не использовании функции выреза от нагрузки, R_y не должна быть больше 80% R нагрузки. В этом случае для повышения эффективности дальнего резервирования ступенями дистанционной защиты рекомендуется для пятой ступени принимать угол наклона характеристики к оси R меньше φ_L , что способствует повышению чувствительности к к.з. с переходным сопротивлением в конце зоны резервирования.

2.1.4.5 При выборе уставок с учетом нагрузочных режимов должны учитываться максимальные аварийные перетоки мощности по линии в прямом и обратном направлении. Указанные перетоки рассчитываются службой (группой) электрических режимов и в качестве расчетных, должны приниматься реальные максимальные перетоки мощности по линии, т.е.

максимальный аварийный переток по условиям статической устойчивости с учетом регламентируемых запасов, либо по условию допустимых перегрузок элементов сети в трехфазных режимах.

2.1.4.6 Расчет уставок защиты производится в первичных величинах, задание уставок предусмотрено во вторичных величинах.

2.2. Выбор коэффициентов компенсации по ZI_0 для однофазных дистанционных органов

В п.2.1.3 была рассмотрена возможность использования в расчетах коэффициента компенсации K_k , который является согласующим для обеспечения приближения замера дистанционного органа при однофазных КЗ на землю к замерам при м.ф.КЗ до места повреждения.

Вычисление значения коэффициента компенсации K_k для расчетов по выбору уставок производится согласно выражения (2.3) по параметрам линии – сопротивлениям прямой и нулевой последовательности Z_1 и Z_0 , которые можно рассчитать как:

$$Z_1 = z_{1y\partial} \cdot l, \quad Z_0 = z_{0y\partial} \cdot l \quad (2.10)$$

Где $z_{1y\partial}, z_{0y\partial}$ – удельные сопротивления защищаемой линии соответственно прямой и нулевой последовательности, Ом/км;

l – длина защищаемой линии, км.

В устройстве при задании уставок каждой отдельной ступени ДЗ для вычисления устройством по измеренным токам и напряжениям сопротивления повреждения задается значение коэффициента компенсации k согласно выражению (2.4).

Однако, если нет других ограничений (например, по условиям чувствительности ступеней к однофазным КЗ, либо условиям отстройки), рекомендуется использовать для всех ступеней тот же коэффициент компенсации, что и для первой ступени. Указанное обуславливается тем, что следует отдавать приоритет в части обеспечения точности замеров измерительных органов применительно к КЗ на своей линии. Расчет коэффициентов компенсации по условиям выбора уставок ступеней дальнего резервирования не однозначен, ввиду различия параметров по разным присоединениям и поэтому обеспечить оптимальный коэффициент компенсации для них крайне затруднительно.

2.3. Выбор уставок первой ступени дистанционной защиты

2.3.1. Требования к первой ступени

Обеспечение надежности селективного отключения всех видов к.з. на линии без выдержки времени, в том числе через $R_{пер.}$.

2.3.2. Выбор уставки $X1$

Выбор уставки реактивного сопротивления $X1$ производится по следующим условиям:

2.3.2.1 По условию отстройки действия защиты от всех видов КЗ за пределами линии (месте установки предыдущих защит) через $R_{пер.} = 0 \div R_{пер.рас.}$:

$$X1 \leq k_{отс.} \cdot X_{рас.} \quad (2.11)$$

где $k_{отс.} = (0,8 \div 0,9)$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешности измерительных трансформаторов, дистанционных органов, параметров сети;

$X_{рас.}$ – реактивная составляющая минимального значения $Z_{расч}$ при м.ф.КЗ и КЗ на землю (с учетом коэффициентов компенсации, принятых согласно п.2.2) за пределами линии через $R_{пер}=0 \div R_{пер.рас.}$, согласно выражений (2.1), (2.2) соответственно, определяемое как

$$X_{рас.} = Z_{расч} \cdot \sin \varphi_{расч} \quad (2.12)$$

В общем случае, при металлическом к.з. $Z_{расч}$ равно сопротивлению защищаемой линии: $Z_{расч} = Z_L$ и $\varphi_{расч} = \varphi_L$.

Для первой ступени тупиковых линий, в целях повышения чувствительности, уставку **X1** целесообразно выбирать из условия отстройки от КЗ на шинах низшего(среднего) напряжения подстанции, примыкающей к противоположному концу линии.

Для защит одиночных и паралельных линий с ответвлениями должно учитываться условие отстройки от замыкания на шинах низшего(среднего) напряжения подстанции на ответвлении. При этом должны рассматриваться замыкания за трансформаторами с наименьшими реактансами и расположенными ближе к месту установки рассматриваемой защиты.

При выборе сопротивления срабатывания **X1** первой ступени дистанционной защиты двух паралельных линий, а также одиночных и паралельных линий с ответвлениями следует учитывать рекомендации, изложенные в Руководящих указаниях по релейной защите «Дистанционная защита линий 35-330кВ», глава V, п.Б,В.

2.3.2.2 По условию обеспечения выбираемой уставкой зоны охвата защищаемой ВЛ $k_{охв.}=0.7 \div 0.85$

$$X1 \geq k_{охв} \cdot X_{1рас.} \quad (2.13)$$

где $k_{охв} = (0,7 \div 0,85)$ – коэффициент, определяющий значение зоны действия I ступени защиты, с учетом погрешностей измерительных трансформаторов, дистанционных органов и параметров сети.

$X_{1рас.}$ – реактивная составляющая минимального значения $Z_{расч}$ при м.ф.КЗ и КЗ на землю (с учетом принятых коэффициентов компенсации согласно п.2.2) через $R_{пер}=0 \div R_{пер.рас.}$ в конце защищаемой ВЛ

В случае, когда отстройка по (2.11) от замера $X_{расч}$ с учетом принятого $R_{пер.} = R_{пер.рас.}$ приводит к существенному укорачиванию зоны **X1** по сравнению с отстройкой при металлических к.з, и последнее может привести к необеспечению зоны охвата защищаемой ВЛ, вычисленной по (2.13), тогда уставка **X1** принимается по (2.11) с учетом:

$$k_{отс} = 0,7 \div 0,85;$$

$X_{расч}$ – то же, что и в (2.11) при металлическом к.з.

Отстройку от к.з. через $R_{пер.рас.}$ в конце защищаемой ВЛ, в режимах где **X1** не удовлетворяет выражению (2.13), необходимо произвести по **R1**.

2.3.3. Выбор уставки R1

2.3.3.1 Уставка по активному сопротивлению первой ступени выбирается по условию обеспечения чувствительности при КЗ соответствующего вида через $R_{пер.рас.}$ в конце зоны действия уставки **X1**:

$$R1 \geq k_q \cdot (R_{рас.} - X_{рас.} \cdot \operatorname{ctg} \varphi_L) \quad (2.14)$$

Где: $k_{\varphi} \geq 1,1$ – в режиме транзита;

$k_{\varphi} \geq 1,5$ – в режиме каскадного отключения ВЛ с противоположной стороны. В случае затруднений с обеспечением $k_{\varphi} = 1,1$ в режиме транзита, допускается принимать уставку по **R1** из условий обеспечения чувствительности в каскаде $k_{\varphi} \geq 1,5$;

φ_L – угол наклона правой боковой стороны характеристики к оси активных сопротивлений, определяется по (2.8)

$R_{рас.} = Z_{рас.} \cdot \cos \varphi_{рас.}$ – максимальное значение активного сопротивления в защите при междуфазных КЗ и КЗ на землю через $R_{пер.рас.}$ в конце зоны действия первой ступени, соответствующей принятому коэффициенту охвата согласно п. 2.3.1.2;

$X_{Iрас.} = Z_{Iрас.} \cdot \sin \varphi_{рас.}$ – значение реактивного сопротивления соответствующее условиям КЗ в которых получены значения $R_{Iрас.}$.

2.3.3.2 По условию отстройки действия защиты от КЗ за пределами линии через $R_{пер.рас.}$:

а) в том случае, когда уставка по **X1**, выбранная по условию 2.3.2.1 удовлетворяет условию 2.3.2.2, отстройка по **R1** не производится;

б) в тех режимах, когда отстройка от КЗ в конце ВЛ через $R_{пер.рас.}$ по **X1** приводит к уменьшению зоны охвата - $k_{охв} < 0,7$ (а отстройка при металлических КЗ выполняется), необходимо предусмотреть отстройку по **R1**: уменьшая $R_{пер.расч}$ до $R_{пер.}^*$, обеспечить условия отстройки по **X1** и произвести отстройку по **R1** согласно выражению:

$$R1 \leq k_{отс.} \cdot [R_{расч} - X_{расч} \cdot \operatorname{ctg} \varphi_L] \quad (2.15)$$

где $k_{отс.} = (0,9-0,95)$ – коэффициент отстройки;

$R_{расч}$ – минимальное значение активной составляющей сопротивления, замеряемое при КЗ через $R_{пер.} = R_{пер.}^*$ за пределами защищаемой линии для режимов, в которых не выполнялась отстройка по **X1**;

$X_{расч}$ – значение реактивной составляющей замера соответствующее минимальному замеру $R_{расч}$, для расчетного режима.

На рис. 2.3 в качестве примера приведено графическое отображение изменения $X_{расч}$ и $R_{расч}$ при к.з. на шинах противоположной ПС в зависимости от изменения $R_{пер.}$. Зона отстройки по **X** лежит в диапазоне значений $R_{неп} = 0 \div R_{неп}^*$, а зона отстройки по **R**, в пределах значений

$$R_{неп} = R_{неп}^* \div R_{пер.расч} \cdot$$

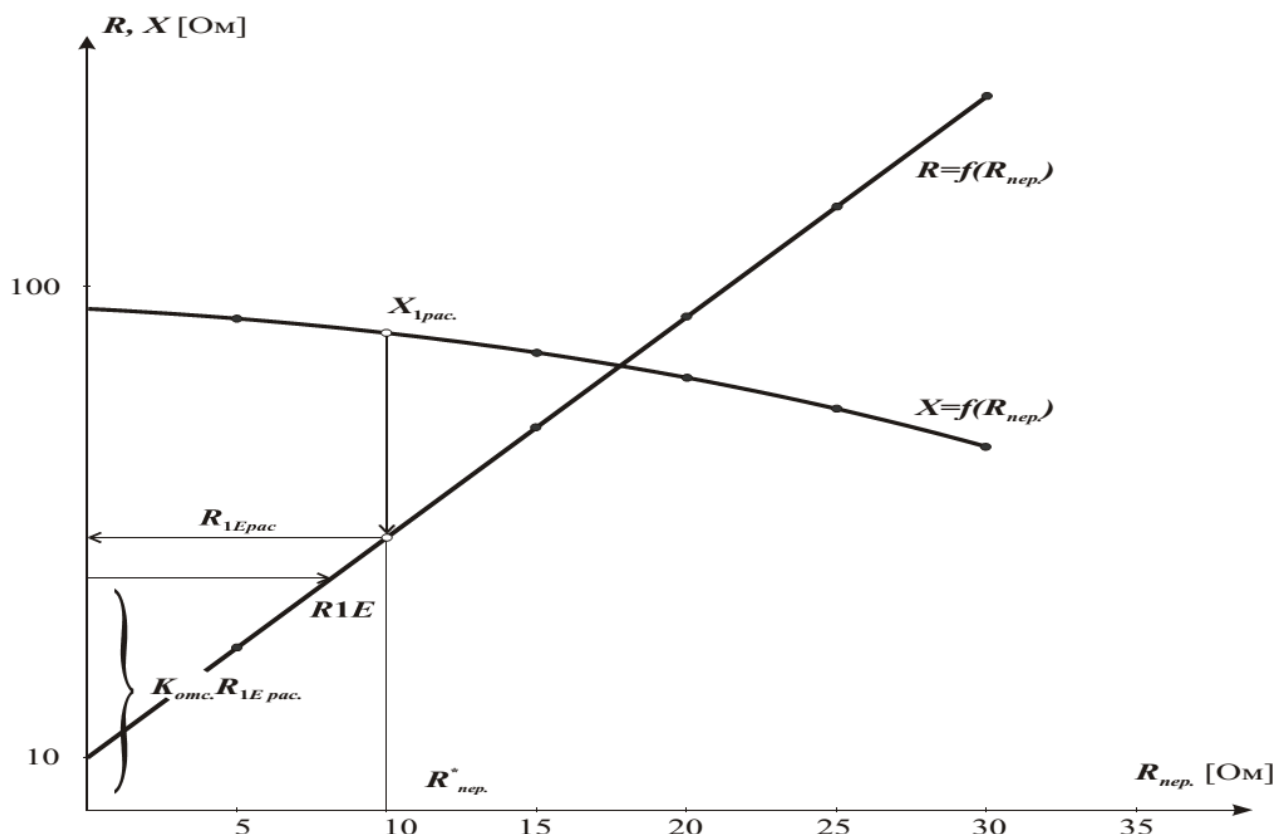


Рис. 2.3. Изменение значений X_{1p} и R_y измеряемых защитой при к.з. на шинах противоположной ПС в зависимости от значений $R_{пер.}$.

2.3.3.3 Условие отстройки от нагрузки для уставки $R1$ не проверяем, т.к. рекомендуется использовать функцию выреза от нагрузки.

2.3.4. Выбор уставок $\varphi_{мч}$, $\varphi_{шз}$, $T1$

$\varphi_{мч}$ - уставка по углу максимальной чувствительности, определяет характеристический угол для формирования направленной полигональной характеристики

$\varphi_{шз}$ – уставка по углу ширины зоны, определяет положение линий направленности полигональной характеристики во 2-м и 4-м квадрантах комплексной плоскости.

Так как первая ступень дистанционной защиты, как правило, действует без выдержки времени, то при выборе уставок, определяющих зону направленности, приоритетным должно быть требование обеспечения селективности, а также обеспечение чувствительности к КЗ через $R_{пер}$ в начале линии.

Рекомендуется, принять направленность характеристики для дистанционных органов подобно характеристикам терминалов REL670(650), 7SA-522, применяющихся в ОЭС Украины. Для этого, выбираются уставки $\varphi_{мч1}=50^\circ$, $\varphi_{шз1}=130^\circ$.

Время действия защиты в первой зоне $T1$ принимается равным нулю.

Примечание: С целью обеспечения правильной работы при близких металлических КЗ, сопровождающихся просадкой рабочих напряжений ниже уровня, при котором обеспечивается измерение углов между токами и напряжениями, для первой ступени должна вводиться работа по памяти. Значение напряжения, при котором включается работа по памяти, определяется параметрами устройства и не требует ввода уставкой.

При снижении фазных (линейных) напряжений ниже порога $0,01U_n$ ($0,02U_n$), наличии тока выше $0,02I_n$ и не срабатывании ЗОЦН ступени ДЗ на время 0,5 с, переводятся на работу по памяти. При этом, для определения фаз рабочих напряжений в момент их снижения (исчезновения) с частотой 50 Гц, моделируется продолжение на 0,5 с изменения синусоиды каждого из указанных напряжений.

2.4. Выбор уставок второй ступени дистанционной защиты

2.4.1. Требования ко второй ступени

Обеспечение надежного отключения к.з. всех видов по всей длине линии, в т.ч. при $R_{пер.рас.}$, обеспечение селективности действия при к.з. за пределами линии, а также возможное использование ступени в качестве ускоряемой автоматически в режимах опробования линии при ручном включении и АПВ.

2.4.2. Выбор уставки X2

2.4.2.1 По условию обеспечения чувствительности к КЗ всех видов, по всей длине линии при переходном сопротивлении $R_{пер.} = 0 \div R_{пер.рас.}$

$$X2 = k_{\chi} \cdot X_{1рас. м} \quad (2.16)$$

где $k_{\chi} \geq 1,25$ – коэффициент чувствительности при КЗ любого вида на шинах противоположного конца ВЛ;

$X_{1рас. м}$ – максимальное значение реактивного сопротивления, определяемого при трехфазном и однофазном КЗ в конце защищаемой линии при $R_{пер.} = 0 \div R_{пер.рас.}$ с учетом принятых коэффициентов компенсации по (2.12).

2.4.2.2 По условию отстройки от КЗ на шинах низшего(среднего) напряжения подстанции, примыкающей к противоположному концу линии при $R_{пер.} = 0 \div R_{пер.рас.}$ по (2.11), в котором: $k_{отс.} \leq 0,85$ - коэффициент отстройки;

$X_{1рас.}$ – минимальное значение реактивного сопротивления, замеряемое в месте установки рассматриваемой защиты. Определяется при трехфазном и однофазном КЗ на шинах за трансформатором при $R_{пер.} = R_{пер.рас.} = 0 \div 5$ Ом, с учетом принятых коэффициентов компенсации по (2.12).

В общем случае необходимо учитывать наименьшее сопротивление трансформаторов, которое может иметь место при регулировании напряжения.

В качестве расчетного режима следует рассматривать максимальное число работающих трансформаторов на шинах смежного напряжения, при коэффициенте токораспределения, которому соответствует наименьшее значение сопротивления в месте установки рассматриваемой защиты.

2.4.2.3 Если от шин ПС, примыкающей к противоположной стороне рассматриваемой ВЛ, отходят две параллельные линии, необходимо произвести отстройку согласно рис.2.4 а,б от м.ф. КЗ и КЗ на землю на шинах ПС В по выражению (2.11), в котором:

$k_{отс.} \leq 0,85$ - коэффициент отстройки;

$X_{1рас.}$ – минимальное значение реактивного сопротивления, замеряемое в месте установки рассматриваемой защиты в расчетном режиме.

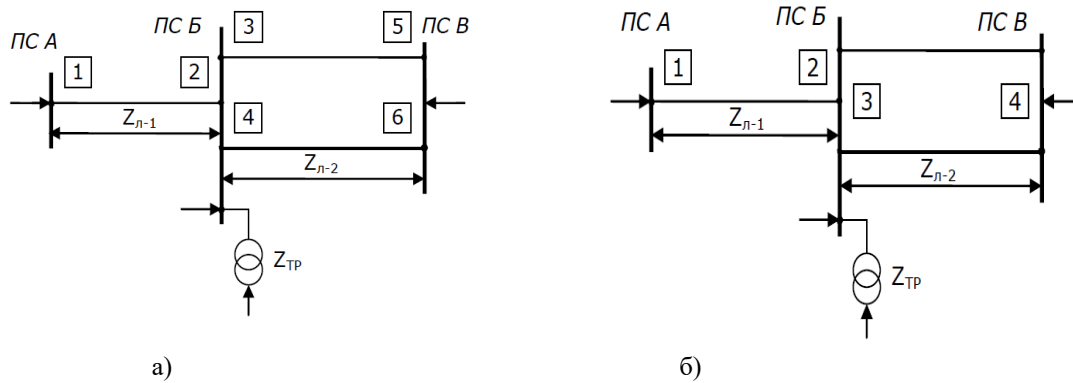


Рис.2.4 Примеры схем участков сети

2.4.2.4 По условию согласования с I(II) ступенями защит смежных присоединений.

Согласование производится, как с однотипными защитами на дистанционном принципе для всех видов КЗ, так и с резервными защитами: дистанционной от междуфазных КЗ и токовой защитой нулевой последовательности, если они установлены на линии или трансформаторе, с которыми ведется согласование. Согласование с аварийными токовыми защитами не производится, а с резервными токовыми защитами, входящими в состав терминалов дистанционных защит от всех видов КЗ выполняется только в том случае, если это не приводит к ограничению чувствительности ступени к КЗ на защищаемой ВЛ.

Согласование ведется отдельно для междуфазных и однофазных повреждений, каждого типа защиты. Если согласование при данном виде повреждения ведется с несколькими (двумя) разнотипными защитами, то определяющим для выбора уставки X_2 , будет меньшее значение.

Согласование ведется методом поиска конца зоны действия, соответствующих ступеней защит линий, с которыми ведется согласование, без учета переходного сопротивления, по выражению (2.11), где:

$k_{омс.}$ – коэффициент отстройки при согласовании, учитывающий погрешности измерительных трансформаторов, измерительных органов защиты, параметров схем замещения, $k_{омс.} = 0,8 \div 0,9$ – в зависимости от типов согласуемых защит, в случае согласования защит, имеющих однотипные характеристики.

$X_{расч.}$ – минимальное значение реактивного сопротивления, измеряемое защитой при КЗ ($R_{пер.} = 0$) в конце зоны действия той ступени защиты, с которой ведется согласование в расчетном режиме.

При согласовании защит, имеющих многоугольные характеристики с дистанционными защитами, имеющими круговые характеристики срабатывания, принимать $k_{омс.} = 0,7$. Отмечается принципиальная возможность неселективного действия защиты при междуфазных КЗ в указанном случае, для исключения которой рекомендуется согласование по R производить с «вписанной» характеристикой многоугольника защиты РС580-ДЗ в окружность предыдущей защиты (рис.2.5). При этом координаты для изображения круговой характеристики предыдущей защиты в осях нашей защиты оказываются смещенными на величину активной и реактивной составляющей сопротивления линии

между точками установки защит (R_l, X_l). Угол, при котором должно выполняться согласование, для нашей защиты определяется выражением

$$\Phi_{сз} = \arctg \frac{X_y}{R_{пр} + \frac{X_y}{\operatorname{tg} \Phi_{пр}}}$$

Сопротивление срабатывания нашей защиты в точке согласования

$$Z_{сз} = X_y / \sin \Phi_{сз}.$$

Комплекс сопротивления \dot{Z} , на которое реагирует предыдущая защита в точке согласования, будет определяться разностью комплекса сопротивления срабатывания нашей защиты $\dot{Z}_{сз}$ и комплекса сопротивления линии \dot{Z}_l . Угол $\Phi_{сз \text{ пред}}$, при котором должно быть определено сопротивление срабатывания предыдущей защиты $Z_{сз \text{ пред}}$ по ее характеристике, совпадает с аргументом (углом) комплекса сопротивления \dot{Z} , на которое реагирует предыдущая защита в точке согласования.

При согласовании с дистанционными защитами необходимо учесть (с помощью $k_{сокр.} = 0,9$) возможное сокращение их зон, вызванное погрешностями измерительных трансформаторов, измерительных органов защиты, параметров схем замещения.

При согласовании дистанционных защит, имеющих однотипные характеристики срабатывания, вероятность этого неправильного действия мала. Согласование производится с учетом $k_{отс} = 0,9$ и $k_{сокр.} = 0,9$.

Согласование с токовыми защитами нулевой последовательности должно производиться во всех случаях как при металлическом КЗ, так и при КЗ через $R_{пер.рас.}$, поскольку наличие переходных сопротивлений в различной степени влияет на работу токовых и дистанционных органов в зависимости не только от величины $R_{пер.}$, но и от места КЗ. Рекомендуется в этом случае принимать $k_{отс} = 0,8$.

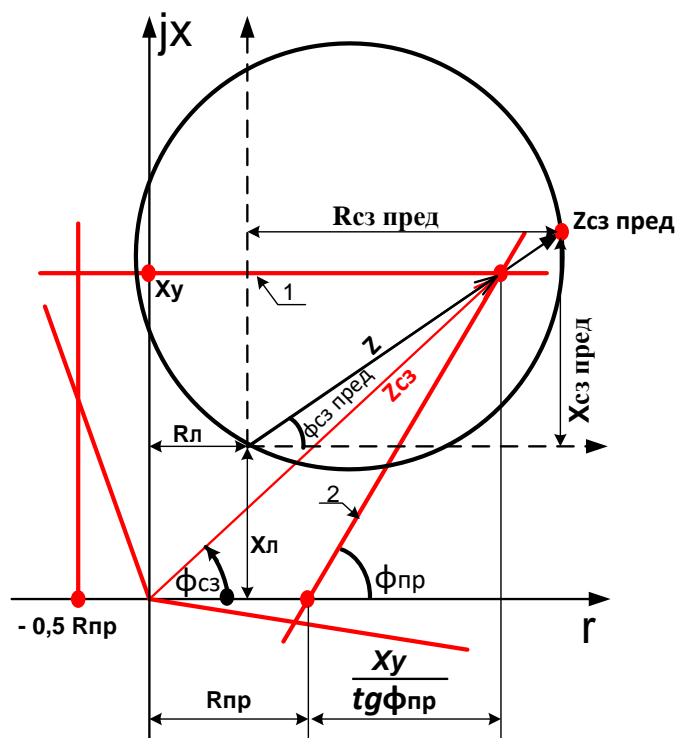


Рис.2.5 Согласование по чувствительности дистанционной защиты с полигональными характеристиками с дистанционной защитой с круговой характеристикой.

При выборе сопротивления срабатывания **X2** второй ступени дистанционной защиты двух параллельных линий, а также одиночных и параллельных линий с ответвлениями, следует учитывать рекомендации, изложенные в Руководящих указаниях по релейной защите «Дистанционная защита линий 35-330 кВ», глава V, п.Б,В.

2.4.3. Выбор уставки R2

2.4.3.1 По условию обеспечения чувствительности к КЗ соответствующего вида в конце линии через $R_{пер.} = R_{пер.рас.}$ по (2.14), где:

Коэффициент чувствительности:

$k_{ч} \geq 1,1$ – в режиме транзита;

$k_{ч} \geq 1,5$ – в режиме каскадного отключения противоположного конца линии;

$R_{1рас.}$ – максимальное значение активного сопротивления, измеряемое защитой при трехфазном и соответственно однофазном КЗ в конце линии через $R_{пер.} = R_{пер.рас.}$;

$X_{1рас.}$ – значения замеров реактивного сопротивления, соответствующие условиям КЗ, в которых получены значения замеров $R_{1рас.}$.

Расчетный режим для этого условия - минимальный режим энергосистем со стороны установки защиты, максимальный - на противоположном конце линии.

2.4.3.2 В случае использования функции выреза от нагрузки отстройка уставки **R2** от сопротивления нагрузки не производится.

2.4.4. Выбор уставок T2

$$T2 \geq t_{с.з.} + t_{УРОВ} + \Delta t \quad (2.17)$$

Где $t_{с.з.}$ – время срабатывания ступени защиты, с которой производится согласование, принимается большее из времен срабатывания;

$t_{УРОВ}$ - наибольшее время действия УРОВ на противоположной стороне линии по отходящим присоединениям, с учетом отключения смежных выключателей; для цифровых УРОВ принимать $t_{УРОВ} = 0,2 \div 0,25$ с (в зависимости от типа выключателей). Для электромеханических УРОВ рассматриваются конкретные схемы и уставки УРОВ.

Δt – степень селективности, которая должна приниматься:
при согласовании с цифровыми защитами $\Delta t = 0,1$ с;
при согласовании с защитами с электронными реле времени $\Delta t \geq 0,2$ с;
при согласовании с защитами с электромеханическими реле $\Delta t \geq 0,3$ с.

Примечание 1: С целью уменьшения времени ликвидации КЗ рекомендуется уставку **X2** второй ступени выбирать по отстройке от КЗ на смежных шинах за трансформатором согласно п. 2.4.2.2 и согласовывать с первыми ступенями защит смежных ВЛ с противоположной стороны защищаемой линии в соответствии с п. 2.4.2.4. После этого проверить чувствительность выбранной уставки **X2** режиме транзита или каскада. Для

обеспечения надежного отключения КЗ по всей длине линии (в т.ч. при $R_{пер.рас}$) необходимо использовать третью ступень.

Примечание 2: Вторую ступень, при условии, что она обеспечивает чувствительность к к.з. всех видов (в т.ч. при $R_{пер.рас}$) по всей длине линии, рекомендуется использовать в качестве автоматически ускоряемой ступени при АПВ и ручном включении.

Примечание 3: Работа по памяти для второй ступени должна вводиться только если остаточное напряжение при КЗ в месте окончания первой зоны меньше напряжения включения работы по памяти (соответственно 0,02 номинального при работе по межфазным и 0,01 при работе по фазным напряжениям). Работа по памяти для второй ступени также не вводится, если суммарное время действия ступени защиты и выключателя превышает время сохранения возможности работы по памяти, составляющее 0.5с.

2.5. Выбор уставок третьей ступени дистанционной защиты

2.5.1. Требования к третьей ступени

Отключение к.з. всех видов на своей линии с $Kч \geq 1.5$

Обеспечение селективности действия при к.з. за пределами линии.

Обеспечение дальнего резервирования действия защит смежных элементов сети (по возможности).

2.5.2. Выбор уставки ХЗ

Если дистанционные измерительные органы II ступени не обеспечивают требуемую чувствительность ко всем видам КЗ, в том числе с $R_{пер.рас}$, в пределах защищаемой линии, то указанные функции возлагаются на III ступень. Условия выбора уставок измерительных органов ступени по условиям чувствительности, согласования, а также их использования при АПВ, ручном включении определяются разделом 2.4, п.п.2.4.2, 2.4.3.

2.5.2.1 По условию согласования с защитами смежных элементов сети.

Согласование производится по тем же условиям, что и для второй ступени, но со вторыми, а в случае неудовлетворительного результата - с третьими ступенями защит смежных элементов сети.

При переходе зоны согласуемой защиты смежного элемента за пределы своей линии последующее согласование ведется в режиме каскадного отключения противоположного конца следующего смежного элемента (на котором рассматривается к.з.).

2.5.2.2 По условию обеспечения дальнего резервирования.

Обеспечение дальнего резервирования 3-ей ступенью рекомендуется рассматривать, если 2-ая ступень обеспечивает требуемую чувствительность ($Kч \geq 1.5$) при КЗ в конце линии. Необходимо также учитывать возможность реализации дальнего резервирования для конкретной схемы сети, в конкретных режимах и с требуемым временем действия.

В части уставки **ХЗ**, выбранной по п.2.5.2.1 расчет сводится к проверке чувствительности как при металлических к.з., так и к к.з. через $R_{пер.рас}$ в зоне дальнего резервирования

$$k_{ч} = \frac{XЗ}{Z_{расч} \cdot \cos \varphi_{расч}} \quad (2.18)$$

Где $K_{ч} \geq 1.2$ – требуемый коэффициент чувствительности при КЗ в зоне дальнего резервирования;

$Z_{расч}, \varphi_{расч}$ – модуль и угол измеренного сопротивления в месте установки защиты при м.ф.КЗ и КЗ на землю в зоне дальнего резервирования с учетом каскадного отключения к.з. на смежных ВЛ

В части уставок **R3** расчет сводится к вычислению требуемых значений по условиям чувствительности к к.з. через $R_{пер,рас}$ в зоне дальнего резервирования с учетом каскадного отключения к.з. на смежных ВЛ, в режимах выбора уставок по **X3** по (2.14), где $K_{ч} \geq 1.1$

2.5.2.3 По условию отстройки от максимальных нагрузочных режимов.

В случае использования функции выреза от нагрузки отстройка от нагрузки не производится.

2.5.3. Выбор уставок времен срабатывания третьей ступени

2.5.3.1 По условиям согласования с защитами смежных элементов сети:

$$t_3 \geq t_{с.з} + \Delta t \quad (2.19)$$

где $t_{с.з}$ – максимальное время срабатывания защиты, с которой производится согласование;

$\Delta t = (0,1 \div 0,4)с$ – степень селективности, в зависимости от собственного времени отключения выключателей и типа согласуемых защит, принимается согласно п.2.4.4

2.6. Выбор уставок четвертой ступени дистанционной защиты

2.6.1. Требования к четвертой ступени

Обеспечение дальнего резервирования действия защит смежных элементов сети (по возможности).

Обеспечение селективности действия при КЗ за пределами линии.

2.6.2. Выбор уставок дистанционных измерительных органов 4-ой ступени

Проводится по тем же условиям, что и для третьей ступени.

Определяющим условием при выборе уставок измерительных органов является обеспечение чувствительности к КЗ в зоне дальнего резервирования, если 3-я ступень выбрана по чувствительности в конце защищаемой ВЛ.

2.6.2.1 По условию обеспечения дальнего резервирования.

Обеспечение дальнего резервирования рекомендуется рассматривать по возможности его реализации для конкретной схемы сети, в конкретных режимах и с требуемым временем действия. Выбор уставки по **X4** производится по выражению (2.16), по **R4** – по (2.14), где

Где $K_{ч} \geq 1.2$ – требуемый коэффициент чувствительности при КЗ в зоне дальнего резервирования;

$X_{расч}, R_{расч}$ – реактивная и активная составляющие измеренного сопротивления в месте установки защиты при м.ф.КЗ и КЗ на землю в зоне дальнего резервирования с учетом каскадного отключения к.з. на смежных ВЛ

Расчеты по обеспечению дальнего резервирования выполняются без учета нагрузочного режима, в минимальном режиме системы со стороны места установки защиты, максимальном режиме системы с противоположного конца данной ВЛ; при наличии линий параллельных данной и смежной (с КЗ в зоне дальнего резервирования) – они должны быть в работе.

Должна быть проверена практическая возможность обеспечения дальнего резервирования через шины мощных станций и ПС до их полного погашения, в т.ч. возможность обеспечения дальнего резервирования элементов сети в режиме последовательных каскадов действием защит смежных элементов.

2.6.2.2 По условию согласования с действием защит смежных элементов сети.

Согласование производится по тем же условиям, что и для третьей ступени, но со следующими особенностями:

2.6.2.2.1 Согласование производится с третьими (четвертыми), а в случае неудовлетворительного результата, с последними ступенями защит смежных элементов сети по (2.11). При проверке согласования с защитами, с учетом КЗ через $R_{пер.рас}$, следует принимать во внимание возможное увеличение сопротивления дуги, а также возможную корректировку значений уставки $X4$.

2.6.2.2.2 Как правило, выбор уставок четвертой ступени из условий обеспечения дальнего резервирования приводит к необходимости ее согласования с последними ступенями защит смежных элементов сети. В сложных разветвленных сетях это приводит к цепочному увеличению времени действия защит до недопустимых величин. Поэтому если указанное приводит к большому времени срабатывания четвертой ступени, то допускается ее не согласовывать с последними ступенями защит смежных элементов сети, с оформлением карты неселективности в установленном порядке.

2.6.2.3 По условию отстройки от максимальных нагрузочных режимов.

В случае использования функции выреза от нагрузки отстройка от нагрузки не производится.

2.6.2.4 Уставка времени срабатывания четвертой ступени рассчитывается по условиям согласования с защитами смежных элементов сети по (2.19)

2.7. Выбор уставок дополнительной зоны одной из ступеней дистанционной защиты

2.7.1. Требования к дополнительной зоне

Обеспечение резервирования защиты шин "за спиной".

Обеспечение резервирования быстродействующих направленных ступеней защиты при КЗ в «мертвой зоне» по направленности.

Для выполнения вышеказанных требований рекомендуется использовать ненаправленную дополнительную зону с круговой характеристикой. Это обеспечит надежную работу ступени с дополнительной зоной независимо от величины рабочего напряжения, которое при КЗ в этой зоне может приближаться к нулю и не позволять правильно работать направленным ступеням ДЗ.

Дополнительная зона вводится для одной из ступеней ДЗ. Критерием для выбора ступени, для которой вводится дополнительная зона, является ее уставка по времени. Время действия ступени с дополнительной зоной должно быть отстроено от времен действия указанных резервируемых ступеней. Если указанные защиты (защита шин, первые ступени защит всех присоединений секции шин) имеют нулевые выдержки времени, что обычно имеет место, то дополнительная зона вводится для второй ступени ДЗ. Если любая из указанных ступеней защит имеет не нулевую выдержку времени, то в качестве ступени с дополнительной зоной следует выбрать такую, время действия которой отстроено от максимального из времен действия ступеней, с которыми выполняется согласование.

2.7.2. Выбор уставок дистанционных измерительных органов дополнительной зоны

2.7.2.1 По условию согласования по чувствительности с уставками первой зоны защит «За спиной».

С учетом того, что характеристика дополнительной зоны ненаправлена, выбираемая уставка Z_{∂} должна согласовываться как по реактивному так и по активному сопротивлению с 1-ой ступенью дистанционной защиты «за спиной». Согласование с максимальными токовыми отсечками не производим.

В зависимости от типов защит присоединений «за спиной» выбор уставки Z_{∂} осуществляется согласно выражений:

- если 1-ая ст.защиты «за спиной» - дистанционная с полигональной характеристикой (рис.2.6), то

$$Z_{\partial} \leq k_{омс} \frac{k_{сокр} \cdot X1}{k_T} \quad \text{и} \quad Z_{\partial} \leq k_{омс} \frac{k_{сокр} \cdot R1}{k_T} \quad (2.20)$$

где: $X1, R1$ – уставки соответственно по реактивному и активному сопротивлению 1-ой ст, с которой согласуемся;

$k_{омс}=0.85$ – коэффициент отстройки;

$k_{сокр}=0.9$ – коэффициент, учитывающий возможное сокращение зоны защиты, с которой ведется согласование, вызванное погрешностями измерительных трансформаторов, измерительных органов защиты, параметров схем замещения;

k_T - коэффициент токораспределения, равен отношению тока, протекающего в месте установки защиты, к току в месте установки защиты, с которой производится согласование, в расчетном режиме при расчетном виде КЗ.

- если 1-ая ст.защиты «за спиной» - дистанционная с круговой характеристикой (рис.2.7), или с характеристикой другого вида, то

$$Z_{\partial} \leq k_{омс} \frac{k_{сокр} \cdot X'}{k_T} \quad \text{и} \quad Z_{\partial} \leq k_{омс} \frac{k_{сокр} \cdot R'}{k_T} \quad (2.21)$$

Где X', R' - значения соответственно реактивного и активного сопротивлений в точках пересечения осей (R) и (jX) с характеристикой первой зоны защиты «за спиной»;

$k_{омс}, k_{сокр}, k_T$ – то же, что в (2.20).

- если 1-ая ст.защиты «за спиной» -максимально-токовая от КЗ на землю (или от м.ф.КЗ)

$$Z\partial \leq k_{отс} \cdot Z_{расч} \quad (2.22)$$

Где $k_{отс}=0.8$ - коэффициент отстройки;

$Z_{расч}$ - минимальное значение полного сопротивления, измеряемое защитой, при КЗ на землю через $R_{пер}=0 \div R_{пер.рас}$ в конце зоны действия 1-ой ступени защиты, с которой ведется согласование в расчетном режиме.

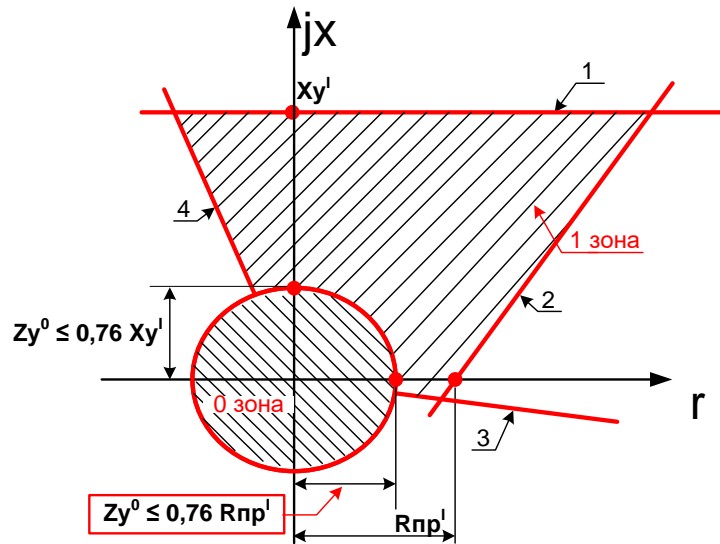


Рис.2.6 Согласование по чувствительности дополнительной зоны ст. ДЗ с круговой ненаправленной характеристикой с 1-ой ст. дистанционной защиты с полигональной характеристикой «за спиной»

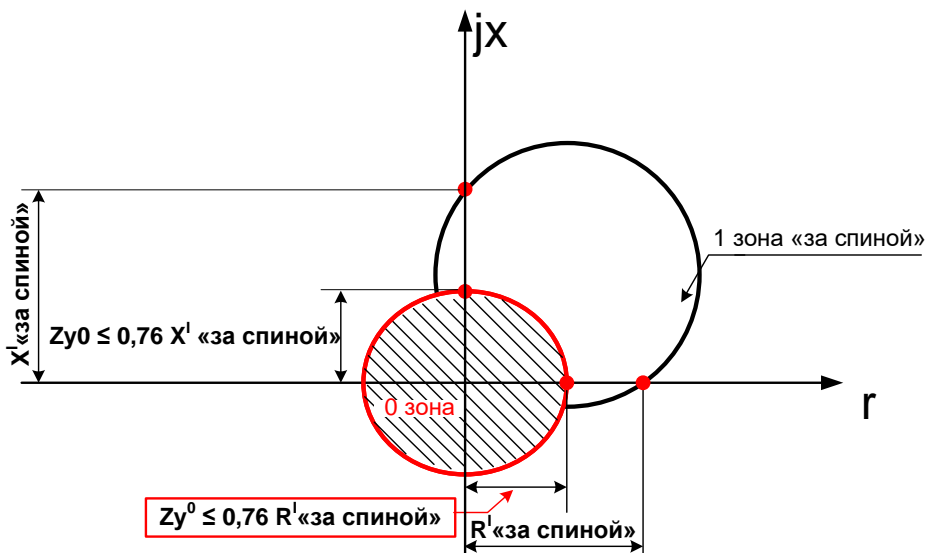


Рис.2.7 Согласование по чувствительности дополнительной зоны ст.ДЗ с круговой ненаправленной характеристикой с 1-ой ст. дистанционной защиты с круговой характеристикой «за спиной»

2.7.2.2 По условию согласования по чувствительности с уставками первой дистанционной ступени «своей» защиты .

Поскольку первая ступень «своей» защиты имеет полигональную характеристику, согласование с ней выполняется аналогично рис.2.6, согласно выражений:

$$Z_0 \leq k_{отс} (k_{сокр} \cdot X1) \quad \text{и} \quad Z_0 \leq k_{отс} (k_{сокр} \cdot R1) \quad (2.23)$$

Где : $k_{отс}, k_{сокр}$ – то же, что в (2.20)

$X1, R1$ – уставки соответственно по реактивному и активному сопротивлению 1-ой ст, с которой согласуемся

2.7.2.3 По условию согласования по чувствительности с уставками первой ступени «своей» максимально-токовой защиты от КЗ на землю . Производится по (2.22)

2.7.2.4 Время срабатывания при работе в дополнительной зоне совпадает с уставкой по времени ступени, для которой она введена

Условие обеспечения чувствительности при работе в дополнительной зоне при КЗ в начале защищаемой линии, а также при КЗ на шинах «за спиной», как правило, выполняется.

2.8.Выбор уставок функции выреза от нагрузки

Функция отстройки от нагрузки, образует „вырез“ в характеристике ступени дистанционной защиты, который определяется параметрами Z_H и φ_H (рис. 2.8) - общими для всех ступеней.

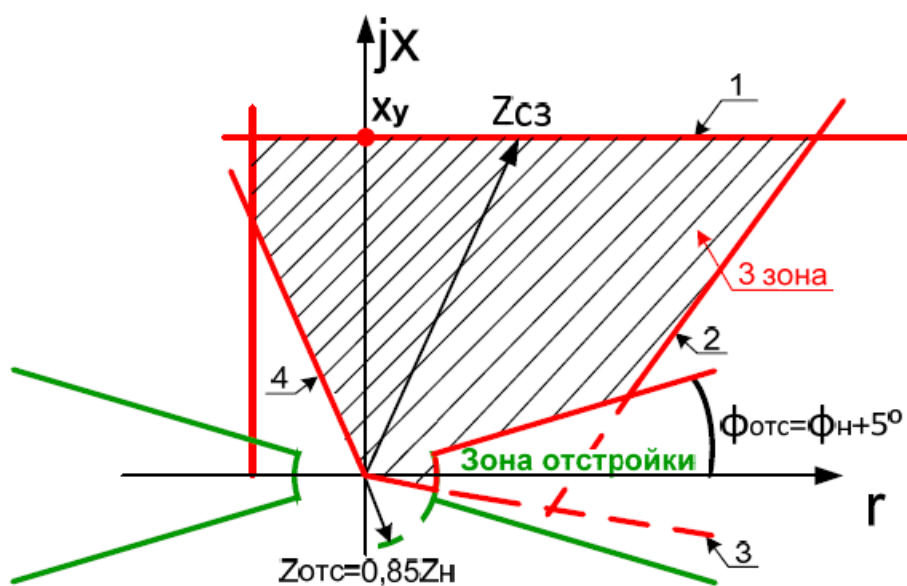


Рис.2.8 Характеристика ступени ДЗ при включенной функции выреза от нагрузки.

Уставка по сопротивлению выреза нагрузки, определяет область, в которой располагаются замеры сопротивлений возможных нагрузочных режимов. При попадании замера сопротивления в эту область блокируется действие ступени ДЗ, для которой функция выреза от нагрузки включена. Уставку можно определить по:

$$Z_H = k_{отс} \frac{\bar{U}_{\min}}{\sqrt{3} \cdot \bar{I}_{\max}} \quad (2.24)$$

где \bar{U}_{min} – действующее значение минимального рабочего напряжения междуфазного в кВ

\bar{I}_{nmax} – действующее значение максимального нагрузочного тока линии в кА;

$\varphi_{нагр}$ – угол полного сопротивления нагрузки, в режиме определения \bar{I}_{nmax}

$k_{отс}=0.85$ – коэффициент отстройки

Уставка по углу нагрузки равна:

$$\varphi_n = \varphi_{нагр.max} + 5^\circ \quad (2.25)$$

где $\varphi_{нагр}$ – максимальновозможный угол полного сопротивления нагрузки по защищаемой ВЛ

Указанная функция может быть активизирована для конкретной ступени путем задания уставки «**Разрешение блокировки ступени в области выреза от нагрузки**». Рекомендуется использовать вырез нагрузки для тех ступеней ДЗ, которые не отстроены по уставке активного сопротивления от сопротивления нагрузки, т.е.

$$R1(2,3,4) \geq Z_n \cdot \cos \varphi_n \quad (2.26)$$

где $R1(2,3,4)$ – уставка по активному сопротивлению соответствующей ступени.

2.9. Выбор уставки по току срабатывания при работе ЗОЦН

Работа дистанционной защиты при потере или неисправности цепей напряжения невозможна.

В устройстве РС830-ДЗ выявление неисправности цепей напряжения осуществляется специальной защитой от обрывов цепей напряжения - **ЗОЦН**, которая автоматически переводит дистанционные ступени в максимально-токовые без изменения уставок по времени и с отдельными уставками по фазному току.

Для совпадения зон срабатывания ступеней ДЗ и МТЗ уставку по току следует выбирать при металлических КЗ в конце зоны чувствительности соответствующей ступени дистанционной защиты. Расчетным режимом является режим выбора уставки по реактивному сопротивлению рассматриваемой ступени ДЗ. Если ступень ДЗ используется при всех видах КЗ, то уставка по току при потере цепей напряжения определяется как:

$$I_{сз1(2,3,4)} = \max\{ I_{\varphi_{кз}}^{(3)} ; I_{\varphi_{кз}}^{(1)} \} \quad (2.27)$$

Где $I_{\varphi_{кз}}^{(3)}$ - фазный ток при 3-ф металлическом КЗ в конце зоны чувствительности 1(2,3,4) ступени ДЗ. 2-фазные КЗ не рассматриваются: т.к. это может привести к неселективной работе (хотя возможно снижение чувствительности ступени при работе в режиме МТЗ по сравнению с режимом ДЗ).

$I_{\varphi_{кз}}^{(1)}$ - фазный ток при 1-ф металлическом КЗ на землю в конце зоны чувствительности 1(2,3,4) ступени ДЗ

3. Выбор уставок модуля блокировки от качаний (БК)

3.1. Назначение и принцип выполнения блокировки при качаниях мощности

Как отмечалось ранее, для каждой из ступеней функции **ОЗ** в режиме **ДЗ** определяется «разрешение блокировки при качаниях»: *Откл*; *Вкл БКБ*; *Вкл БКм*. Если блокировка разрешена, то ступень будет заблокирована до момента пока защита не определит режим КЗ (по приращению токов прямой и обратной последовательностей).

БК имеет четыре компаратора для определения режима КЗ:

- Чувствительный орган по приращению тока прямой последовательности:

$$dI_{1\text{чувств}} \leq |I_{1(n)} - I_{1(n-1)}| \quad (3.1)$$

где $I_{1(n)}$ и $I_{1(n-1)}$ – текущее и предшествующее значение тока прямой последовательности.

- Чувствительный орган по приращению тока обратной последовательности:

$$dI_{2\text{чувств}} \leq |I_{2(n)} - I_{2(n-1)}| \quad (3.2)$$

где $I_{2(n)}$ и $I_{2(n-1)}$ – текущее и предшествующее значение тока обратной последовательности.

- Грубый орган по приращению тока прямой последовательности:

$$dI_{1\text{груб}} \leq |I_{1(n)} - I_{1(n-1)}| \quad (3.3)$$

где $I_{1(n)}$ и $I_{1(n-1)}$ – текущее и предшествующее значение тока прямой последовательности.

- Грубый орган по приращению тока обратной последовательности:

$$dI_{2\text{груб}} \leq |I_{2(n)} - I_{2(n-1)}| \quad (3.4)$$

где $I_{2(n)}$ и $I_{2(n-1)}$ – текущее и предшествующее значение тока обратной последовательности.

БК имеет две ступени:

- Первая ступень **БКм** - предназначена для работы медленно действующих ступеней, время срабатываний которых больше ожидаемого времени качания. Для сети 110÷150 кВ можно принять $t_{\text{кач}} = 1,5 \div 2,0$ с. По факту срабатывания любого из четырех компараторов вводятся ступени **ОЗ** (ступени ДЗ, для которых выбрано «*Вкл БКм*») на время, которое задается уставкой ***Tвв_груб***.
- Вторая ступень **БКБ** - предназначена для работы быстродействующих ступеней. По факту срабатывания одного из чувствительных компараторов вводятся ступени **ОЗ** (ступени ДЗ, для которых выбрано «*Вкл БКБ*») на время, которое задается уставкой ***Tвв_чув*** с последующим выводом блокировки на время, которое задается уставкой ***Tввода_груб***. Вторая ступень имеет возможность повторного пуска ступени **ОЗ** на время, которое задается уставкой ***Tввода_груб*** по одному из грубых пусковых органов при условии, что пуск по грубым пусковым органам будет не ранее чем через 25 мс после пуска чувствительного.

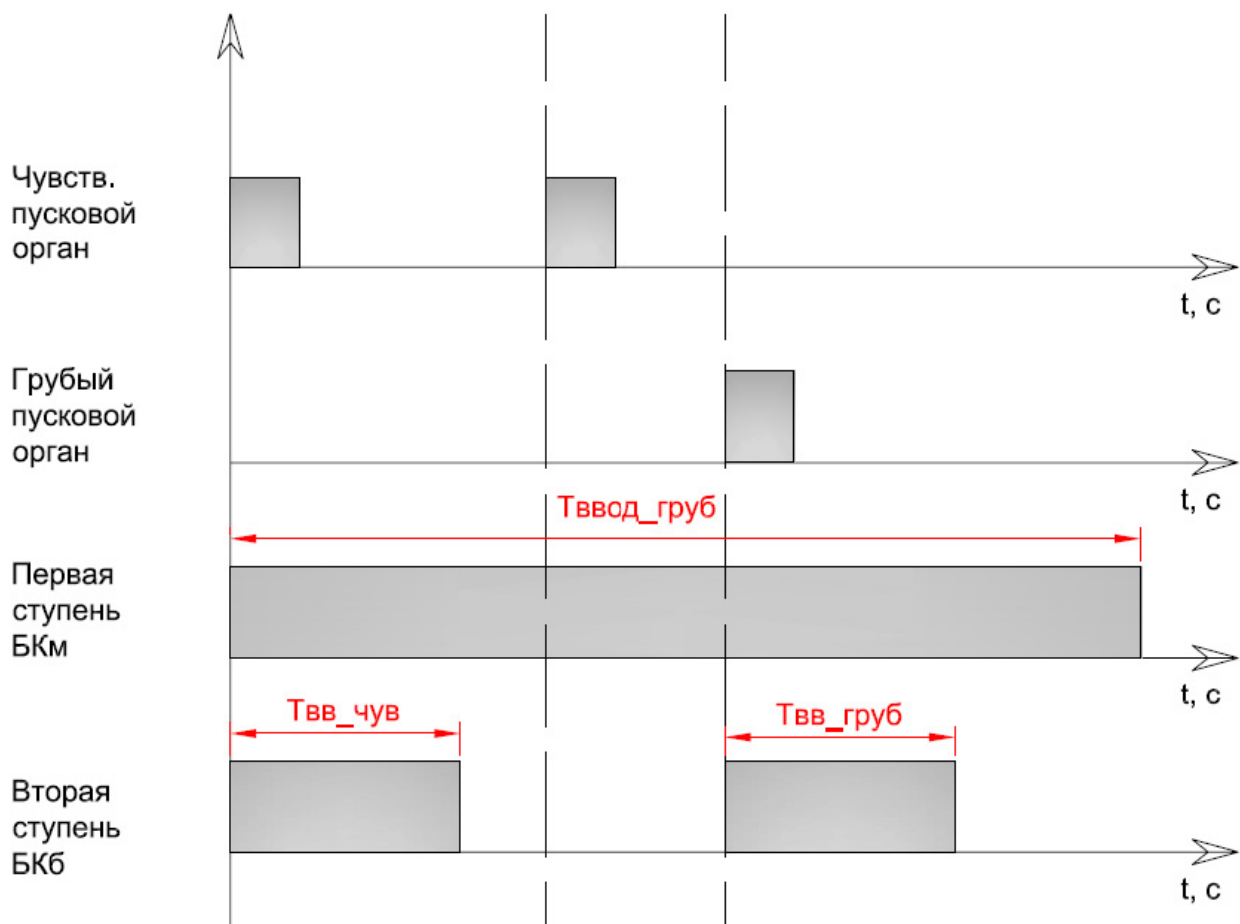


Рис 3.1 Временная диаграмма работы блокировки при качаниях

Блокировка при качаниях может быть приведена в исходное состояние при отключении выключателя по ускоренному сбросу. Если ускоренный сброс разрешен, то блокировка при качаниях сбрасывается по факту появления переднего фронта на сигнале РПО. Это является признаком отключения выключателя.

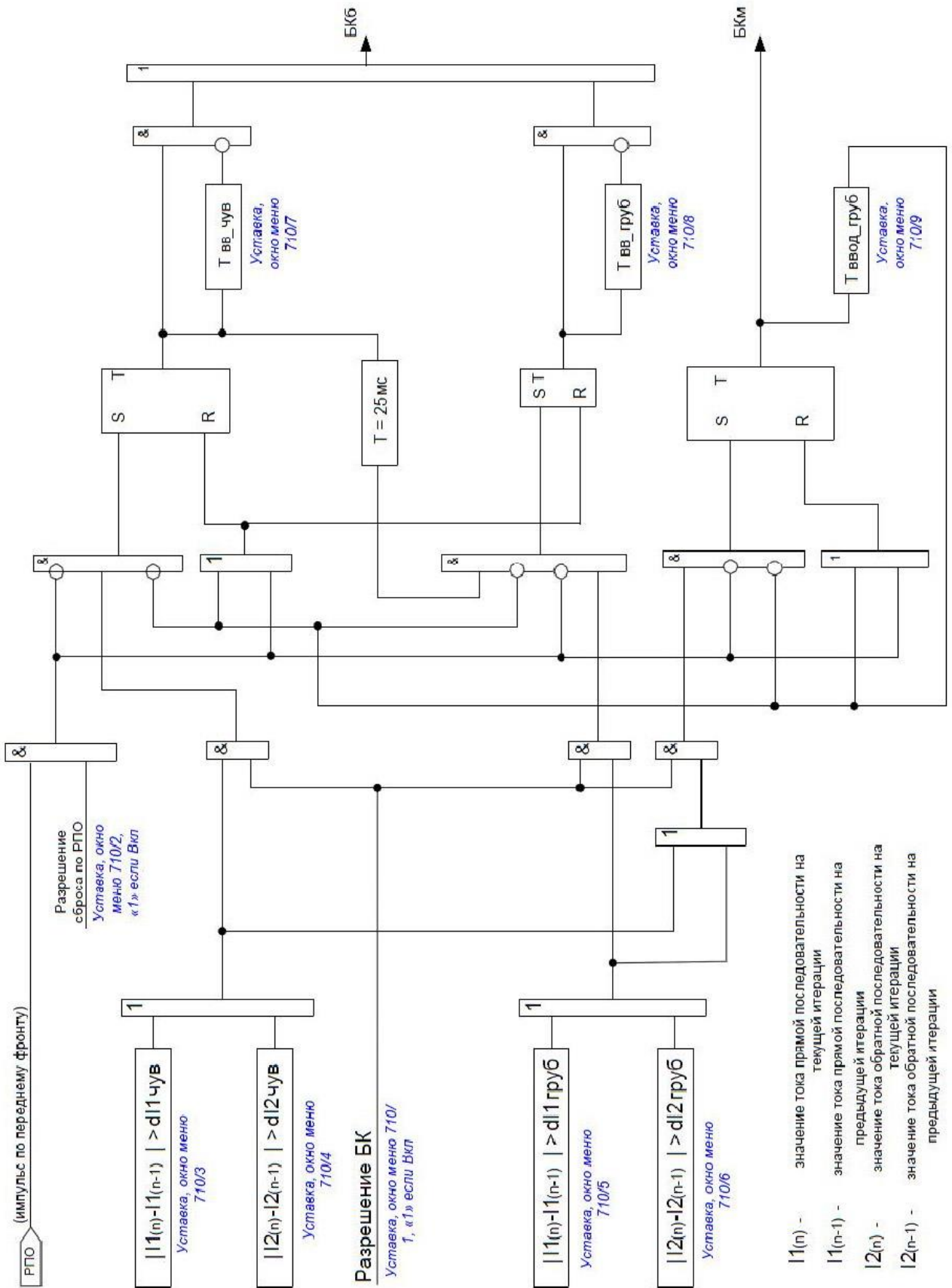


Рис 3.1 Схема алгоритма блокировки при качаниях

Задаваемые параметры функции БК:

Разрешение работы БК - Откл., Вкл;

Разрешение ускоренного сброса - *Откл., Вкл*;

dI1чув - уставка по приращению чувствительного органа тока прямой последовательности, от 0,08 до 3 А, с шагом 0,01 А;

dI2чув - уставка по приращению чувствительного органа тока обратной последовательности, от 0,04 до 1,5 А, с шагом 0,01 А;

dI1груб – уставка по приращению грубого органа тока прямой последовательности, от 0,12 до 5 А, с шагом 0,01 А;

dI2груб - уставка по приращению грубого органа тока обратной последовательности, от 0,06 до 2,5 А, с шагом 0,01 А;

Tвв_чув - уставка по времени ввода быстродействующих ступеней при первом срабатывании БК от 0,2 до 1 с, с шагом 0,01 с;

Tвв_груб - уставка по времени ввода быстродействующих ступеней при повторном срабатывании БК от 0,2 до 1 с, с шагом 0,01 с;

Tввод_груб - уставка по времени ввода медленнодействующих и по времени вывода быстродействующих ступеней БК от 2 до 12 с, с шагом 0,01 с

Примечание: параметры задаются во вторичных величинах.

3.2. Выбор параметров срабатывания органа прямой последовательности блокировки при качаниях мощности

3.2.1. Выбор тока срабатывания чувствительного пускового органа прямой последовательности по условию отстройки от токов небаланса:

$$dI_{1\text{чув}} = K_{отс} (K_{нб.осн} \cdot I_{1\text{кач}} + K_{нб.доп.1} \cdot I_{2\text{кач}} + I_{нб.доп}) \quad (3.5)$$

где: $K_{отс} = 1,2$ – коэффициент надежности ;

$K_{нб.осн}$ – коэффициент небаланса по основному сигналу фильтра аварийной составляющей тока прямой последовательности, принимается в соответствии с таблицей 3.1 в зависимости от частоты скольжения;

$I_{1\text{кач}}$ – максимальное значение тока прямой последовательности в режиме качаний;

$K_{нб.доп.1} = 0,02$ – коэффициент небаланса по дополнительному (создаваемому I_2) сигналу фильтра аварийной составляющей тока прямой последовательности;

$I_{2\text{кач}}$ – ток обратной последовательности в режиме качаний обусловленный любым видом несимметрии, например, несимметрии нагрузки;

$I_{нб.доп} = 0,01 \cdot I_{ном}$ – дополнительная составляющая небаланса фильтров тока прямой последовательности. Где $I_{ном}$ – максимальный ток нагрузки, для упрощения, можно принять первичный ток ТТ.

Таблица 3.1 – Зависимость коэффициента небаланса от частоты скольжения

Частота скольжения f_s , Гц	1-5	6	7	8	9	10
Коэффициент небаланса, $K_{нб.осн}$	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,11

3.2.2. Выбор тока срабатывания чувствительного пускового органа прямой последовательности по условию обеспечения чувствительности при КЗ с $R_{\Gamma}=0 \div R_{\Gamma \text{ расч}}$ в конце зоны действия ступеней ДЗ, выполняющих функцию дальнего резервирования:

$$dI_{1\text{чув}} \leq \frac{I_1^{(3)}}{K_{\text{ч}}} \quad (3.6)$$

где: $I_1^{(3)}$ – ток прямой последовательности при трехфазном КЗ в конце зоны действия ДЗ ступеней дальнего резервирования с $R_{\Gamma}=0 \div R_{\Gamma \text{ расч}}$;

$K_{\text{ч}} = 1,2$. - коэффициент чувствительности, обеспечивающий надежную работу чувствительного пускового органа прямой последовательности.

3.2.3. Выбор тока срабатывания грубого пускового органа прямой последовательности по условию согласования с чувствительным органом:

$$dI_{1\text{груб}} = K_{\text{н}} \cdot dI_{1\text{чув}} \quad (3.7)$$

где $K_{\text{н}} \geq 2$ – коэффициент надежности.

3.2.4. Выбор тока срабатывания грубого пускового органа прямой последовательности по условию обеспечения чувствительности при КЗ с $R_{\Gamma}=0 \div R_{\Gamma \text{ расч}}$ в конце защищаемой линии:

$$dI_{1\text{груб}} \leq \frac{I_1^{(3)}}{K_{\text{ч}}} \quad (3.8)$$

где: $I_1^{(3)}$ – ток прямой последовательности при трехфазном КЗ в конце защищаемой линии с $R_{\Gamma}=0 \div R_{\Gamma \text{ расч}}$;

$K_{\text{ч}} = 1,5$. - коэффициент чувствительности, обеспечивающий надежную работу грубого пускового органа прямой последовательности.

Примечание: Если значения уставок, выбранные по условиям (п.3.2.1) для $dI_{1\text{чув}}$ и п.3.2.3 для $dI_{1\text{груб}}$ окажутся существенно превышающими по условиям (п.3.2.2) для $dI_{1\text{чув}}$ и п.3.2.4 для $dI_{1\text{груб}}$, то рекомендуется искусственно загрузить уставки органов прямой последовательности, доведя их до значений, близких к требованиям по чувствительности.

3.3. Выбор параметров срабатывания органа обратной последовательности блокировки при качаниях мощности

3.3.1. Выбор тока срабатывания чувствительного пускового органа обратной последовательности по условию отстрой ки от токов небаланса:

$$dI_{2\text{чув}} = K_{\text{отс}} (K_{\text{нб.осн}} \cdot I_{2\text{кач}} + K_{\text{нб.доп.2}} \cdot I_{1\text{кач}} + I_{\text{нб.доп}}) \quad (3.9)$$

где: $K_{\text{отс}} = 1,2$ – коэффициент надежности ;

$K_{нб.осн}$ – коэффициент небаланса по основному сигналу фильтра аварийной составляющей тока обратной последовательности, принимается в соответствии с таблицей 3.1 в зависимости от частоты скольжения;

$I_{2кач}$ – максимальное значение тока обратной последовательности в режиме качаний обусловленный любым видом несимметрии, например, несимметрии нагрузки;

$K_{нб.доп.2}=0,01$ – коэффициент небаланса по дополнительному (создаваемому I_1) сигналу фильтра аварийной составляющей тока прямой последовательности;

$I_{1кач}$ – ток прямой последовательности в режиме качаний;

$I_{нб.доп.} = 0,01 \cdot I_{ном}$ – дополнительная составляющая тока небаланса фильтров тока обратной последовательности. Где $I_{ном}$ – максимальный ток нагрузки, для упрощения, можно принять первичный ток ТТ.

3.3.2. Выбор тока срабатывания чувствительного пускового органа обратной последовательности по условию обеспечения чувствительности при КЗ с $R_{п}=0 \div R_{п\text{ расч}}$ в конце зоны действия ступеней ДЗ, выполняющих функцию дальнего резервирования:

$$dI_{2чув} \leq \frac{I_2^{(2)}}{K_{\chi}} \quad (3.10)$$

где: $I_2^{(2)}$ – ток обратной последовательности при двухфазном КЗ в конце зоны действия ДЗ ступеней дальнего резервирования с $R_{п}=0 \div R_{п\text{ расч}}$;

$K_{\chi} = 1,2$. - коэффициент чувствительности, обеспечивающий надежную работу чувствительного пускового органа обратной последовательности.

3.3.3. Выбор тока срабатывания грубого пускового органа обратной последовательности по условию согласования с чувствительным органом:

$$dI_{2груб} = K_{н} \cdot dI_{2чув} \quad (3.11)$$

где $K_{н} \geq 2$ – коэффициент надежности.

3.3.4. Выбор тока срабатывания грубого пускового органа обратной последовательности по условию обеспечения чувствительности при двухфазном КЗ в конце защищаемой линии с $R_{п}=0 \div R_{п\text{ расч}}$:

$$dI_{2груб} \leq \frac{I_2^{(2)}}{K_{\chi}} \quad (3.12)$$

где: $I_2^{(2)}$ – ток обратной последовательности при двухфазном КЗ с $R_{п}=0 \div R_{п\text{ расч}}$ в конце защищаемой линии

$K_{\chi} = 1,5$. - коэффициент чувствительности, обеспечивающий надежную работу грубого пускового органа прямой последовательности.

Примечание: Если значения уставок, выбранные по условиям (п.3.3.1) для $dI_{2чув}$ и п.3.3.3 для $dI_{2груб}$ окажутся существенно превышающими по условиям (п.3.3.2) для $dI_{2чув}$ и п.3.3.4 для

$dI_{2зруб}$, то рекомендуется искусственно загрузить уставки органов обратной последовательности, доведя их до значений, близких к требованиям по чувствительности.

3.4. Выбор уставок по времени блокировки при качаниях мощности

3.4.1. $T_{вв\ чуб} (БКБ)$ - уставка по времени ввода быстродействующих ступеней при первом срабатывании БК должна приниматься превышающей время действия блокируемых быстродействующих ступеней с запасом более чем собственное время отключения выключателя.

Если ступени, для которых в опции «Блокировка при качаниях» назначено «Вкл БКБ» отсутствуют, то для правильной работы алгоритма блокировки медленнодействующих ступеней рекомендуется принимать $T_{вв\ чуб} (БКБ) = 0,4\ с$.

3.4.2. $T_{вв\ зруб} (БКБ)$ - уставка по времени ввода быстродействующих ступеней при повторном срабатывании БК, может выбираться так же как при первом срабатывании, но с учетом возможного изменения времени действия ступени при повторном срабатывании.

3.4.3. $T_{ввод\ зруб} (БКМ)$ уставка по времени ввода медленнодействующих и по времени вывода быстродействующих ступеней БК должна приниматься превышающей время действия блокируемых медленнодействующих ступеней. Кроме того, если предполагается повторность действия в цикле АПВ и не введен ускоренный сброс алгоритма блокировки при отключении выключателя, то уставка $T_{ввод\ зруб} (БКМ)$ должна быть отстроена от полного времени цикла «Отключение – $T_{АПВ}$ – Включение – $T_{РЗ}$ – Включение» при АПВ. При этом может приниматься $T_{ввод\ зруб} (БКМ) = 5 \div 8\ с$.

4. Контроль цепей напряжения

Контроль исправности цепей напряжения в устройстве РС830-ДЗ выполняется функцией защиты от обрывов цепей напряжения (ЗОЦН).

ЗОЦН может работать по четырем алгоритмам, а именно:

- контроль цепей напряжения по схеме треугольник-звезда;
- контроль по составляющим прямой последовательности;
- контроль по составляющим обратной последовательности;
- контроль с внешним пуском по назначенному дискретному входу.

Контроль по схеме треугольник-звезда выполнен по классическому алгоритму этого способа (является основным для сетей 110-220 кВ): обрыв цепей напряжения контролируется по сумме напряжений от основной вторичной обмотки ТН и дополнительной вторичной обмотки ТН.

При разрешении работы ЗОЦН сразу включается алгоритм по сумме напряжений. Алгоритмы по симметричным составляющим являются дополнительными и могут вводиться и выводиться независимо друг от друга.

4.1 При работе по сумме напряжений защита реагирует на превышение уставки $U_{нб_зоцн}$ напряжением небаланса, появление которого является признаком неисправности.

$U_{нб}$ вычисляется как векторная разность между расчетным (из напряжений фаз) и измеренным на выходе разомкнутого треугольника напряжением нулевой последовательности $3U_0$.

рассчитанным по формуле:

$$\dot{U}_{нб} = 2 \cdot \dot{U}_a + \dot{U}_b + \dot{U}_c - \dot{U}_{ad} - 3\dot{U}'_0 \quad (4.1)$$

где U_a, U_b, U_c – это фазные напряжения от основной вторичной обмотки ТН;

\dot{U}'_{ad} – это напряжение фазы А, с дополнительной вторичной обмотки с учетом коэффициентов трансформации;

$3\dot{U}'_0$ – это напряжение нулевой последовательности, с дополнительной вторичной обмотки с учетом коэффициентов трансформации

С целью повышения эффективности контроля при разных видах повреждения напряжение фазы А вычисляется как разность удвоенного напряжения этой фазы с основной обмотки и напряжения этой фазы обмотки разомкнутого треугольника, приведенного к номинальному напряжению основной обмотки.

Уставку по напряжению небаланса рекомендуется принимать **10 В**.

4.2 Контроль по составляющим прямой последовательности предназначен для выявления повреждения цепей напряжения с полным исчезновением напряжения в трех фазах (например, отключение автомата или обрыв контрольного кабеля).

При работе по симметричным составляющим прямой последовательности, устройство контролирует соотношения напряжения и тока прямой последовательности.

Если напряжение прямой последовательности ниже 1 В и при этом ток прямой последовательности больше уставки по току нижней границы и меньше уставки по току верхней границы, то ЗОЦН сработает по прямой последовательности.

При этом отстройка от режима отключения линии или секции шин осуществляется путем контроля наличия тока прямой последовательности и его попадания в диапазон между уставкой по нижней границе I_{1min} и уставкой по верхней границе I_{1max} .

Порог срабатывания по снижению напряжения прямой последовательности жестко задан в устройстве **-1 В** и не требует выбора уставки.

Уставка по току нижней границы I_{1min} - уровень тока для обнаружения обесточенного состояния ВЛ, должна быть отстроена от наведенных токов на отключенной линии:

$$I_{1min} \geq k_{отс} \cdot I_{нв} \quad (4.2)$$

где $k_{отс} = 1,2$ – коэффициент отстройки;

$I_{нв}$ – суммарный наведенный ток на отключенной линии.

Рекомендуется данную уставку принять минимальной – $I_{1min} = 10\% I_{ном}$.

Уставка по току верхней границы I_{1max} должна с запасом превышать ток нагрузки I_n :

$$I_{1max} = k_з \cdot I_n \quad (4.3)$$

где: $k_з$ – коэффициент запаса, $k_з = 1,1-1,2$.

При этом для исключения работы блокировки при трехфазном КЗ ток I_{1max} должен быть меньше тока трехфазного КЗ в начале линии в минимальном режиме.

4.3 Контроль по составляющим обратной последовательности основан на появлении напряжения обратной последовательности при отсутствии тока обратной последовательности.

Уставка по напряжению обратной последовательности должна быть отстроена от небаланса фильтра напряжений обратной последовательности и естественной несимметрии напряжений. Обычно для этого с запасом достаточно принять уставку по $U_2 = 0,05-0,1 \cdot U_{ном}$. Уставка по току обратной последовательности I_2 должна быть отстроена от несимметрии токов нагрузки:

$$I_2 = k_3 \cdot I_{2нб}, \quad (4.4)$$

где: k_3 – коэффициент запаса, $k_3 = 1,5-3$;

$I_{2нб}$ – ток обратной последовательности, обусловленный несимметрией нагрузки.

Определяется согласно выражения:

$$I_{2нб} = I_n \cdot (k_{од} \cdot f_i + k_{i2}) \quad (4.5)$$

где: I_n – максимальный фазный ток в нагрузки расчетном режиме;

$f_i = 0,03$ – токовая погрешность трансформатора тока;

$k_{i2} = 0,02$ – расчетное относительное значение первичного тока небаланса обратной последовательности;

$k_{од} = 0,5$ – коэффициент однотипности измерительных трансформаторов.

Значения коэффициентов даны для отечественных измерительных трансформаторов при отсутствии источников, обуславливающих повышенную несимметрию (тяговая нагрузка и др.). Если расчетные условия отличаются от указанных, то расчетные значения коэффициентов должны быть скорректированы с учетом конкретных условий.

При этом для исключения работы блокировки при несимметричных КЗ уставка по току обратной последовательности должна быть меньше минимального тока обратной последовательности при любом несимметричном КЗ.

4.4 Для выявления отключения автомата ТН в устройстве предусмотрен алгоритм ЗОЦН с внешним пуском по одному из дискретных входов.

Контроль с внешним пуском по назначенному дискретному входу предполагает сопоставление факта просадки любого из контролируемых междуфазных напряжений ниже $0,7U_n$ и наличия сигнала внешнего пуска ЗОЦН на назначенном для этой цели дискретном входе. Сигнал внешнего пуска формируется отдельной внешней схемой, обычно состоящей из нескольких реле напряжения, которые контролируют отсутствие просадки напряжений на выходе другого (не того к которому подключены цепи напряжения устройства) ТН. В результате сигнал работы ЗОЦН формируется при наличии просадки напряжений ТН, к которому подключено устройство, и отсутствии просадки напряжений от другого ТН. На этот же дискретный вход можно подключать блок-контакт автомата своего ТН, замыкающийся и формирующий сигнал внешнего пуска при отключении автомата. Ввод указанной функции контроля неисправности цепей напряжения в уставках устройства должен выполняться если выполнены соответствующие схемотехнические решения для ее реализации.

Функция защиты от обрывов цепей напряжения (ЗОЦН) имеет уставки со следующими пределами выполнения:

Разрешение работы ЗОЦН - **Откл., Вкл.**

Разрешение работы ЗОЦН по DI - **Откл.**

$U_{нб_зоцн}$ - уставка по напряжению небаланса, в диапазоне $5 \div 25$ В с шагом 0,1 В

Разрешение работы ЗОЦН по составляющим прямой последовательности - **Откл., Вкл.**

I_{1min} - уставка нижней границы тока прямой последовательности, в диапазоне $0,1 \div 5$ А, с шагом 0,1 А

I_{1max} - уставка верхней границы тока прямой последовательности, в диапазоне $5 \div 120$ А, с шагом 0,1 А

Разрешение работы ЗОЦН по составляющим обратной последовательности - **Откл., Вкл.**

I_2 - уставка по току обратной последовательности - в диапазоне $0,1 \div 20$ А, с шагом 0,1 А

U_2 - уставка по напряжению обратной последовательности - в диапазоне $0,1 \div 100$ В, с шагом 0,1 В

Примечание: параметры задаются во вторичных величинах.

5. Выбор уставок максимальной токовой отсечки устройства РС830-ДЗ

5.1. Назначение и функциональные возможности МТО

Быстродействующая максимальная токовая отсечка предназначена для ликвидации близких к.з. на ЛЭП, для которых малое время устранения повреждения важно для сохранения устойчивости системы.

Токовая отсечка используется как **дополнительная защита**, она работает независимо от других защитных функций устройства и функций контроля, в т.ч. независимо от дистанционной защиты. Защищает только часть линии.

Для реализации функции МТО в устройстве РС830-ДЗ, рекомендуется в функции **ОЗ** одну из ступеней использовать в режиме МТЗ, без выдержки времени, измерительные органы которой включены на фазные токи.

Ступень выполняется ненаправленной, для этого уставка **«Разрешение направленности»** задается как **«Откл.»**. В этом случае уставки органа определения направления: угол максимальной чувствительности $\varphi_{мч}$ и угол ширины зоны $\varphi_{шз}$ – не имеют значения.

Если устройство установлено на линии, к которой подключен один или несколько трансформаторов, то при включении ВЛ в защите возникает ток, обусловленный броском тока намагничивания. Вследствие этого возможно излишнее срабатывание быстродействующих ступеней, параметр срабатывания которых лежит в пределах тока включения. Бросок тока включения идентифицируется по высокому содержанию второй гармоники (двойная номинальная частота) в измеренном токе, которая при токе короткого замыкания, как правило, полностью отсутствует.

Чтобы предотвратить срабатывание МТО при включении, используется блокировка по 2-ой гармонике, которая блокирует срабатывание защиты на время определения наличия броска тока при включении. Для этого в задании уставок токовой отсечки в программе «**MONITOR-PC830-DZ**» параметр **«Блокировка по 2-ой гармонике»** должен быть включен. Следует

отметить, что использование внутреннего алгоритма блокировки по 2-ой гармонике при включении линии вносит некоторое замедление в работу защиты.

Функция максимальной токовой отсечки имеет уставки со следующими пределами выполнения:

Разрешение работы ступени - **Откл, МТЗ, ДЗ фаза-фаза, ДЗ фаза-N, ДЗ фаза-фаза-N**

Рекомендуется задавать «**МТЗ**»

I_{ph} - уставка по току срабатывания, в диапазоне 0,1 ÷ 125 А, с шагом 0,01 А

Разрешение направленности – **Откл, вкл.** Рекомендуется задавать «**Откл**»

$\varphi_{мч}$ - уставка по углу максимальной чувствительности, в диапазоне от 0 ÷ 359 °, с шагом 1 °

$\varphi_{шз}$ - уставка по углу ширины зоны, в диапазоне от 10 ÷ 180 °, с шагом 1 °

$T_{сз}$ - уставка по времени срабатывания, в диапазоне от 0 ÷ 60 с, с шагом 0,01 с

Разрешение автоматического ускорения - **Вкл./Откл.** Рекомендуется задавать «**Откл**»

$T_{сз ау}$ - уставка по времени срабатывания ОЗ с автоматическим ускорением, в диапазоне от 0 ÷ 60 с, с шагом 0,01 с

$T_{сз оу}$ - уставка по времени срабатывания ОЗ с оперативным ускорением, в диапазоне от 0 ÷ 60 с, с шагом 0,01 с

Разрешение блокировки по напряжению - **Откл., Вкл. ЗМН, Вкл. ОБР** . Рекомендуется задавать «**Откл.**».

$U_{бл}$ - уставка по напряжению блокировки ОЗ, в диапазоне от 5 ÷ 100 В, с шагом 1 В

Примечание: Все значения параметров задаются во вторичных величинах.

5.2. Выбор уставок максимальной токовой отсечки

Выбор уставки токового органа, включенного на фазный ток, I_{ph} производится по следующим условиям .

5.2.1 Обеспечение чувствительности при междуфазном и однофазном КЗ в начале ВЛ :

$$I_{ph} \leq I_{к расч} / k_{ч} \quad (5.1)$$

где $I_{к расч}$ – ток, проходящий через защиту при м.ф. и однофазном КЗ на землю в начале ВЛ в наиболее благоприятном по условию чувствительности режиме;

$k_{ч} \geq 1,2$ – коэффициент чувствительности.

5.2.2 Отстройка от максимального тока $I_{к.макс.}$ при трехфазном и однофазном КЗ на шинах подстанций с обеих сторон защищаемой линии :

$$I_{ph} \geq k_{отс} \cdot I_{к.макс.} \quad (5.2)$$

где $k_{отс}=1,2-1,3$.

5.2.3 Отстройка от максимального тока нагрузки ($I_{н.макс.}$) :

$$I_{ph} \geq (k_{отс} / k_{в}) \cdot I_{н.макс.} \quad (5.3)$$

где $k_{отс}=1,1-1,2$; $k_{в}=0,95$.

5.2.4 Отстройка от максимального тока при качаниях ($I_{кач.макс.}$), с учетом несинхронного включения:

$$I_{ph} \geq k_{отс} \cdot I_{кач.макс.} \quad (5.4)$$

где $k_{отс}=1,1-1,2$.

При расчете токовой отсечки линии электропередачи, по которой питается несколько трансформаторов, необходимо в соответствии с условием (5.2) обеспечить несрабатывание отсечки при КЗ за каждым из трансформаторов на ответвлениях от линии (если они имеются) и дополнительно проверить надёжность несрабатывания отсечки при суммарном значении бросков тока намагничивания всех трансформаторов, подключённых как к защищаемой линии, так и к предыдущим линиям, если они одновременно включаются под напряжение.

5.2.5 Условие отстройки отсечки от бросков тока намагничивания трансформаторов имеет вид:

$$I_{ph} \geq k_n \cdot \sum I_{ном.тр} \quad (5.5)$$

Где $\sum I_{ном.тр}$ - сумма номинальных токов всех трансформаторов, которые могут одновременно включаться под напряжение по защищаемой линии;

k_n - коэффициент надёжности, значение которого зависит от времени срабатывания токовой отсечки. Для цифровых защит, собственное время срабатывания которых может составлять всего лишь один период (20 мс), следует принимать наибольшее значение $k_n > 5$

Если ток срабатывания отсечки, вычисленный по (5.5), не обеспечивает чувствительность согласно (5.1), то следует использовать блокировку по 2-ой гармонике, а условие (5.5) не учитывать в качестве расчетного.

Ток срабатывания принимается равным большему из полученных значений. Если выбранная уставка не удовлетворяет требованию чувствительности согласно п.5.2.1, то использование токовой отсечки нецелесообразно.

6. Выбор уставок Токовой защиты нулевой последовательности от КЗ на землю

6.1. Назначение и функциональные возможности модуля ТЗНП

Для организации защит от замыканий на землю в сетях с большими токами замыкания на землю (110 кВ и выше) используются направленные токовые защиты нулевой последовательности.

В устройстве РС830-ДЗ функция ТЗНП реализуется путем использования 4-х ступеней защиты от замыканий на землю (**ЗНЗ**), задав их работу по току нулевой последовательности. Эти четыре ступени независимы друг от друга и могут комбинироваться в любой последовательности.

Любая ступень с помощью параметров: **«Разрешение направленности»**, $\varphi_{мч}$ - уставки по углу максимальной чувствительности, $\varphi_{шз}$ - уставки по углу ширины зоны, может быть установлена ненаправленной или направленной — "вперед" или "назад". При включении защищаемой линии на КЗ может быть введено незамедлительное отключение (ускорение) от любой ступени — одной или нескольких.

Функция **ЗНЗ**, при выборе **«работа по 3Io»** имеет уставки со следующими пределами выполнения:

I_{сраб} - уставка по току срабатывания, в диапазоне 0,1 ÷ 125 А, с шагом 0,01 А

Разрешение направленности – **Откл, вкл.**

φ_{мч} - уставка по углу максимальной чувствительности, в диапазоне от 0 ÷ 359 °, с шагом 1 °

φ_{шз} - уставка по углу ширины зоны, в диапазоне от 10 ÷ 180 °, с шагом 1 °

Тсз - уставка по времени срабатывания, в диапазоне от 0 ÷ 60 с, с шагом 0,01 с

Разрешение автоматического ускорения - **Вкл./Откл.** Рекомендуется задавать **«Откл»**

Тсз_{ау} - уставка по времени срабатывания ОЗ с автоматическим ускорением, в диапазоне от 0 ÷ 60 с, с шагом 0,01 с

Тсз_{оу} - уставка по времени срабатывания ОЗ с оперативным ускорением, в диапазоне от 0 ÷ 60 с, с шагом 0,01 с

Разрешение блокировки по 3Uo - **Откл., Вкл.**

3Uo- уставка по напряжению нулевой последовательности, в диапазоне от 2 ÷ 100 В, с шагом 1 В

Примечание: Все значения параметров задаются во вторичных величинах.

6.2. Ускорение при включении ВЛ на повреждение

Токовая ступенчатая защита от КЗ на землю может использоваться для выполнения быстрого трехфазного отключения КЗ на землю при АПВ и ручном включении.

Ускорение конкретной ступени ТЗНП действует на отключение при включении линии на повреждение, если параметр **«Разрешение автоматического ускорения»** задан как **«Вкл»** и измеренный ток **3Io** превысил заданную уставку по току срабатывания этой ступени.

Ускоряемая ступень должна охватывать всю защищаемую ВЛ с необходимым коэффициентом чувствительности (в отечественной практике используют III ступень ТЗНП). Отключение происходит с выдержкой времени **Тсз_{ау}**, которая позволяет избежать ложного срабатывания вследствие протекания больших переходных токов при включении. По условию отстройки от разновременности включения фаз выключателя рекомендуется устанавливать указанную задержку больше реально возможного **t_{в,разн}**, в зависимости от типа выключателя.

6.3. Функция определения направления

Для обеспечения селективной работы защиты, повышения чувствительности отдельных ступеней они могут выполняться направленными с использованием органа направления мощности.

При к.з. на ВЛ, ток **3Io** на зажимах реле отстает по фазе от напряжения **3Uo** на угол, который для сетей с глухозаземленной нейтралью находится в диапазоне от 40° до 90°. Угол максимальной чувствительности задается параметром **φ_{мч}**: с целью получения оптимальной чувствительности рекомендуется задавать **65°**.

Для задания направления ступени «вперед» необходимо уставку угла ширины зоны принять **φ_{шз}=180°**

Для направленных ступеней во всех режимах введен гистерезис по углу на концах зоны срабатывания с уставкой в диапазоне от 0 до 10 градусов (с шагом 1 градус). Задаваемая уставка по гистерезису говорит о том, что для выхода из зоны срабатывания нужно угол

повернуть на заданное уставкой по гистерезису значение градусов больше как с одной, так и с другой стороны в сторону зоны несрабатывания: рис.5.1

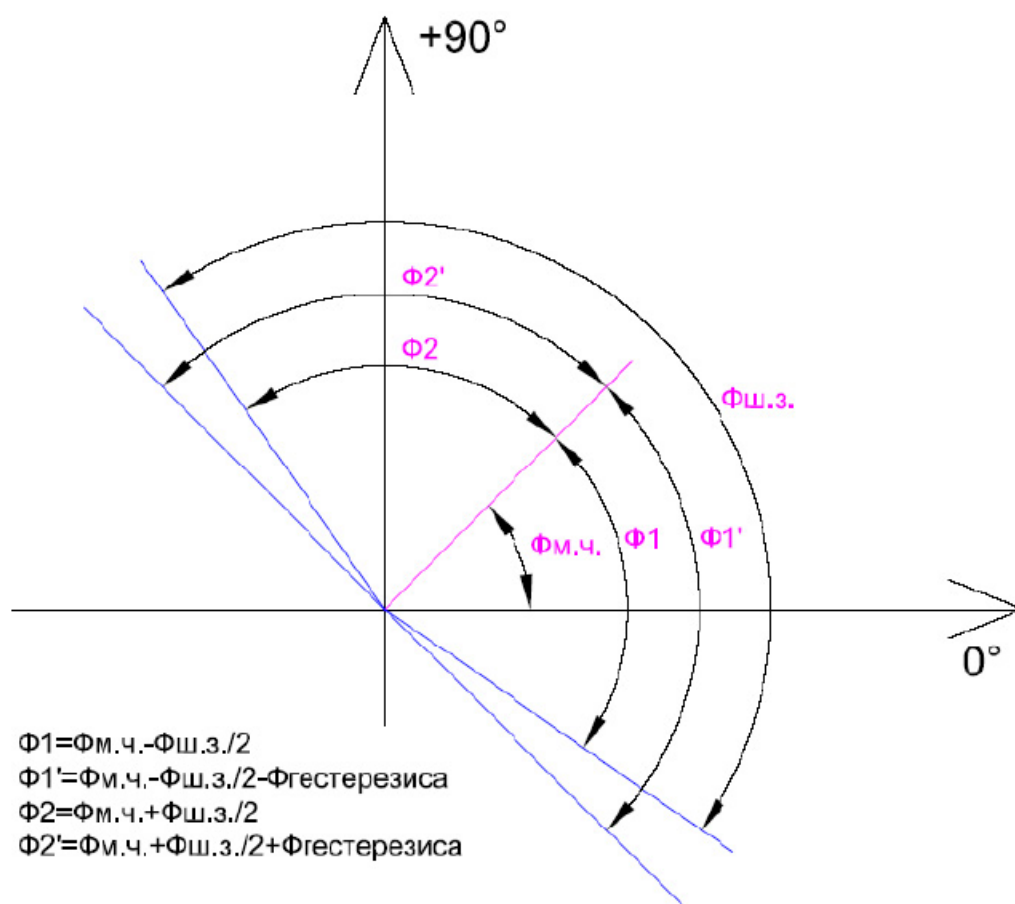


Рис.5.1 Диаграмма направленности ТЗНП

6.4. Выбор уставок

Выбор уставок должен соответствовать условиям и принципам, изложенным в «Руководящих указаниях по релейной защите. ТЗНП ВЛ110-500 кВ. Расчеты. Выпуск 12», с учетом особенностей выполнения токовой защиты от КЗ на землю в REL670

Согласование токовой защиты с ТЗНП и дистанционными защитами от всех видов КЗ смежных ВЛ целесообразно производить при металлических КЗ в конце зоны действия соответствующей ступени.

6.4.1. Выбор уставок 1-ой ступени $I_{N1} >$, T_1

Выбор уставки по току $I_{N1} >$ производится по следующим условиям:

6.4.1.1 Отстройка от максимального значения тока $3I_0_{\text{макс}}$, проходящего в месте установки защиты при однофазном и двухфазном металлическом КЗ на землю на шинах подстанций с обеих сторон защищаемой линии (используется большее из двух значений $3I_0_{\text{макс}}$)

$$I_{N1} > \geq k_{\text{отс.}} \cdot 3I_0_{\text{макс}} \quad (6.1)$$

где $k_{\text{отс.}} = 1,2-1,4$ - коэффициент отстройки.

Для линий с взаимной индукцией следует производить отстройку от тока $3I_0$,

протекающего в месте установки защиты, при КЗ вдоль линий, имеющих взаимоиндукцию с защищаемой по (6.1).

6.4.1.2 Отстройка от тока $3I_{0\text{неп}}$, проходящего в месте установки защиты в кратковременном неполнофазном режиме, возникающем при одновременном включении 1 и 2-х фаз выключателя:

$$IN1 > \geq k_{\text{отс.}} 3I_{0\text{неп}} \quad (6.2)$$

где $k_{\text{отс.}} = 1,2$.

Данное условие не рассматривается, если ступень $IN1 >$ действует с выдержкой времени больше времени разновременности включения фаз выключателя, $t_{\text{разн}}$ зависит от типов выключателя и его привода. При выключателях с трехфазным приводом защита практически отстроена от рассматриваемого неполнофазного режима собственным временем срабатывания без дополнительного замедления.

6.4.1.3 Для первой ступени защиты, установленной на линиях с ответвлениями, необходимо произвести отстройку от броска тока намагничивания трансформаторов, присоединенных к ответвлениям от защищаемой линии и имеющих глухозаземленные нейтрали, в условиях каскадного включения линии. Расчет по этому условию производится согласно Приложения V Руководящих указаний по релейной защите «Токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю линий 110-500 кВ» Выпуск 12.

6.4.1.4 Для паралельных линий с двусторонним питанием при выборе тока срабатывания необходимо учесть расчетные условия, изложенные в разделе В Руководящих указаний по релейной защите «Токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю линий 110-500 кВ» Выпуск 12.

6.4.1.5 Проверка чувствительности ступени $IN1 >$ производится по выражению:

$$k_{\text{ч}} = 3I_{0\text{расч.}} / IN1 > \quad (6.3)$$

где $3I_{0\text{расч.}}$ - ток, проходящий через защиту при однофазном и двухфазном КЗ на землю в начале ВЛ в наиболее благоприятном по условию чувствительности режиме;

$k_{\text{ч}} \geq 1,2$ – коэффициент чувствительности (согласно ПУЭ, п. III-2-26), но исходя из опыта эксплуатации, допускается $k_{\text{ч}} = 1,1$.

Если при выборе уставки $IN1 >$ определяющим явилось условие отстройки от КЗ на шинах ПС в месте установки защиты («за спиной»), а $k_{\text{ч}}$ определяемый по (6.3) не обеспечивается, рекомендуется выполнить первую ступень направленной.

6.4.1.5. Для ВЛ без ОАПВ, если выбранная уставка $IN1 >$ удовлетворяет условию п. 6.4.1.2, $T1$ принимать равным 0с.

6.4.2. Выбор уставок 2-ой ступени $IN2 >$ $T2$ (ступень высокого тока)

Выбор уставки по току $IN2 >$ производится по следующим условиям:

6.4.2.1 Отстройка от $3I_0$, проходящего через защиту при КЗ на землю за предыдущим автотрансформатором на стороне его смежного напряжения (примыкающей к сети с глухозаземленной нейтралью) согласно выражению

$$IN2 > \geq k_{отс} \cdot 3I_{0 макс.} \quad (6.4)$$

где $k_{отс} = 1,2-1,4$.

6.4.2.2 Согласование с первыми ступенями токовых и дистанционных защит от КЗ на землю смежных участков. Расчетной точкой КЗ является конец зоны первой ступени предыдущего элемента

$$IN2 > \geq k_{отс} \cdot I_{к.макс.} \quad (6.5)$$

где $k_{отс} = 1,1$;

$I_{к.макс}$ - максимальный ток в месте установки защиты при 1-фазном металлическом КЗ на землю в конце зоны действия первых ступеней защит смежных ВЛ с обеих сторон от защищаемой.

6.4.2.4 Проверка чувствительности ступени $IN2 >$ производится по выражению (6.3), в котором:

$3I_{0 мин}$ – минимальный ток, проходящий через защиту при однофазном и двухфазном КЗ на землю в конце защищаемой ВЛ;

$k_{ч} = 1,3$ – в транзите;

$k_{ч} = 1,5$ – при наличии на противоположной подстанции отдельной защиты шин в режиме каскадного отключения.

Если выбранная уставка не обеспечивает требования чувствительности, эта функция возлагается на 3-ю ступень ТЗНП.

6.4.2.5 Для паралельных линий с двусторонним питанием при выборе тока срабатывания второй ступени необходимо учесть расчетные условия, изложенные в разделе В Руководящих указаний по релейной защите «Токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю линий 110-500 кВ» Выпуск 12.

6.4.2.6 Выдержка времени $T2$ II ступени выбирается с учетом времени действия УРОВ элементов, с которыми производится согласование:

$$T2 = t_{сз} + t_{УРОВ} + t_{ОВ} + \Delta t \quad (6.6)$$

где $t_{сз}$ – время срабатывания защит, с которыми производится согласование;

$t_{УРОВ}$ – время действия УРОВ смежных присоединений;

$t_{ОВ}$ – собственное время отключения выключателей;

Δt – степень селективности, которую рекомендуется принимать:

– при согласовании с цифровыми защитами $\Delta t = 0,1с$;

– при согласовании с защитами с электронными реле времени $\Delta t = 0,2с$;

– при согласовании с защитами с электромеханическими реле времени $\Delta t = 0,3с$.

Примечание. В качестве расчетного принимается наибольшее суммарное значение $t_{сз} + t_{УРОВ} + t_{ОВ} + \Delta t$.

Допускается не учитывать $t_{УРОВ}$, если действие УРОВ смежного присоединения приводит к отключению защищаемой линии.

6.4.3. Выбор уставок 3-ей ступени $IN3 >$, ТЗ

Рассматриваются условия выбора уставок 3-ей ступени при выполнении ее

ускоряемой при АПВ и ручном включении.

Выбор уставки по току I_{N3} производится по следующим условиям:

6.4.3.1 Обеспечение достаточной чувствительности при КЗ на землю в конце защищаемой линии

$$I_{N3} > \leq 3 I_{0 \text{ мин}} / k_{\text{ч}} \quad (6.7)$$

где $3I_{0 \text{ мин}}$ – минимальный ток, проходящий через защиту при однофазном и двухфазном КЗ на землю в конце защищаемой ВЛ через переходное сопротивление $R_{\text{пер.}=0} \div R_{\text{пер.расч.}}$ в минимальном режиме,

$k_{\text{ч}}$ – то же, что в п.6.4.2.4.

$R_{\text{пер.расч}}$ – принимается согласно п.2.1.4.2.

6.4.3.2 Согласование с защитами предыдущих линий: со II или III степенями ТЗНП (последнее в случае, если при согласовании со II степенью ТЗНП не обеспечивается требование чувствительности) и II или III степенью ДЗ от КЗ на землю по (6.5).

6.4.3.3 Согласование с I степенью защиты от КЗ на землю предыдущего автотрансформатора, установленной на стороне смежного напряжения (примыкающей к сети с глухозаземленной нейтралью) по (6.5)

6.4.3.4 Отстройка от тока небаланса $3I_0$ при внешних междуфазных КЗ (как правило, трехфазных), если рассматриваемая степень имеет выдержку времени равную или меньшую, чем защита от междуфазных КЗ на стороне смежного напряжения трансформатора (АТ) с обеих сторон от защищаемой ВЛ, а также для линий с ответвлениями при м.ф.КЗ на стороне смежного напряжения трансформаторов, присоединенных к ответвлениям данной ВЛ:

$$I_{N3} > \geq k_{\text{отс}} \cdot 3I_{0 \text{ нб}} \quad (6.8)$$

где $3I_{0 \text{ нб}}$ – ток небаланса в нулевом проводе ТТ при внешнем трехфазном КЗ;

$k_{\text{отс}} = 1,25$ – коэффициент отстройки;

Ток небаланса может быть приближенно определен по выражению:

$$3I_{0 \text{ нб}} = k_{\text{нб}} \cdot I_{\text{рас}} \quad (6.9)$$

где $I_{\text{рас}}$ – максимальное значение фазного тока в месте установки защиты при внешнем трехфазном КЗ;

$k_{\text{нб}}$ – коэффициент небаланса, принимается в зависимости от кратности $I_{\text{рас}}$:

- при кратностях до **(2-3) · $I_{\text{ном.}}$** , $k_{\text{нб}} = 0,05$;
- при кратностях до **(0,7-0,8) · $I_{\text{к10.}}$** , ($I_{\text{к10}}$ – предельная кратность первичного тока ТТ при 10% погрешности) $k_{\text{нб}} = 0,05 \div 0,1$;
- при кратностях, больших **(0,7-0,8) · $I_{\text{к10.}}$** , расчет производится по выражению (ПVII-1) приложения VII Руководящих указаний по релейной защите, вып. 12, 1980 г., где $I_{0 \text{ нб}} = 0$;

6.4.3.5 Для паралельных линий с двусторонним питанием при выборе тока срабатывания третьей ступени необходимо учесть расчетные условия, изложенные в разделе В Руководящих указаний по релейной защите «Токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю линий 110-500 кВ» Выпуск 12.

Т.к. 3-ю ступень рекомендуется использовать в качестве ускоряемой, то ток срабатывания $IN3>$ дополнительно к указанному в п.п.6.4.3.1-6.4.3.5 должен быть отстроен:

6.4.3.6 От тока $3I_{0нел}$, проходящего в месте установки защиты в кратковременном неполнофазном режиме, возникающем при неодновременном включении фаз выключателя по п. 6.4.1.2.; данное условие не рассматривается, если ускоряемая ступень защиты отстроена по времени от указанного режима

6.4.3.7 От тока небаланса в нулевом проводе трансформаторов тока при несинхронном включении, если оно возможно на защищаемой линии. Выбирается по (6.8), (6.9), где:

$3I_{0нб}$ - ток небаланса в нулевом проводе трансформаторов тока при несинхронном включении;

$I_{рас}$ - значение фазного тока, проходящего в месте установки защиты при несинхронном включении.

Условия 6.4.3.6 и 6.4.3.7 не должны учитываться для защиты, установленной на конце, включаемом первым, если разброс по времени включения выключателей обоих концов больше времени, на которое вводится защита по цепи ускорения, и для защиты, установленной на конце, включаемом вторым, если цепь ускорения на этом конце не введена в действие (например, когда она выполнена с контролем отсутствия напряжения на линии).

6.4.3.8 Для линий с взаимной индукцией следует производить отстройку от тока $3I_0$, протекающего в месте установки защиты, при КЗ вдоль линий, имеющих взаимную индукцию с защищаемой.

6.4.3.9 Уставка по времени $T3$ выбирается по условию согласования с защитами смежных элементов, при этом выдержка времени УРОВ не учитывается, если ступень защиты, предыдущая по отношению к той, с которой производится согласование, защищает свою линию с коэффициентом чувствительности более 1.3. Допускается выдержку времени УРОВ не учитывать при наличии на предыдущем участке быстродействующей защиты, в этом случае

$$T3 = t_{сз} + \Delta t, \quad (6.10)$$

где $t_{сз}$, $t_{ВВ}$, Δt – то же, что в п.6.4.2.6

6.6.4. Выбор уставок 4-ой ступени $IN4>$, $T4$

Выбор уставки по току $IN4>$ производится по следующим условиям:

6.6.4.1 Обеспечение дальнего резервирования по (6.7),

где $3I_{0 мин}$ - минимальный ток, проходящий в месте установки защиты при КЗ на землю в конце зоны резервирования в режиме каскадного отключения. В качестве расчетного принимается реально возможный

режим, при котором имеет место минимальное значение тока;

$$k_{ч} = 1.2.$$

6.4.4.2 Обеспечение чувствительности при КЗ на землю с большими $R_{пер}$ в конце защищаемой ВЛ по (6.7),

где $3I_{0\text{ мин}}$ - минимальный ток, проходящий через защиту при КЗ на землю в конце своей ВЛ через $R_{пер} = 80-100 \text{ Ом}$. В качестве расчетного принимается реально возможный режим, при котором имеет место минимальное значение тока;

$k_{ч}$ - то же, что в п. 6.4.2.4.

6.4.4.3 Отстройка от суммарного тока небаланса в нулевом проводе ТТ, протекающего в максимальном нагрузочном режиме, по выражению

$$IN4 \geq (k_{отс} / k_{\epsilon}) \cdot 3I_{0нб} \quad (6.11)$$

где $3I_{0нб}$ - первичный ток небаланса в нулевом проводе ТТ в рассматриваемом режиме, определяется по (6.9), где $I_{рас}$ - расчетный ток нагрузочного режима;

$k_{отс} = 1,25$ - аналогично (6.8);

$k_{\epsilon} = 0,95$ - коэффициент возврата.

6.4.4.4 Отстройка от тока небаланса $3I_0$ при внешних междуфазных КЗ (как правило, трехфазных), если рассматриваемая ступень имеет выдержку времени равную или меньшую, чем защита от междуфазных КЗ на стороне смежного напряжения трансформатора (АТ) с обеих сторон от защищаемой ВЛ, а также для линий с ответвлениями при м.ф.КЗ на стороне смежного напряжения трансформаторов, присоединенных к ответвлениям данной ВЛ:

выбирается аналогично п. 6.4.3.4

6.4.4.5 Согласование с III(IV) ступенями ТЗНП и соответствующими ступенями ДЗ от КЗ на землю смежных линий по (6.5).

6.4.4.6 Согласование со II(III) ступенью защиты от замыканий на землю установленной на стороне смежного напряжения (примыкающей к сети с глухозаземленной нейтралью)
, по (6.5).

В особых случаях, когда величина тока уставки ограничена величиной тока небаланса в максимальном нагрузочном режиме согласно п. 6.4.4.3, допускается обеспечение чувствительности в зоне дальнего резервирования после поочередного действия защит смежных элементов. В данном случае необходимо убедиться в чувствительности защит смежных элементов.

6.4.5. Направленность отдельных ступеней

Вопрос о выполнении каждой ступени токовой защиты от замыканий на землю направленной или ненаправленной следует решать с учетом обеспечения требований чувствительности и селективности защиты. Для повышения надежности срабатывания

защиты целесообразно, чтобы одна из ступеней, которая надежно охватывает линию, была выполнена ненаправленной. Если ступень выполняется ненаправленной, то режимы согласования и отстройки необходимо выполнять с соответствующими защитами на смежных присоединениях с обеих сторон линии. Также необходимо произвести сравнение выдержек времени и токов срабатывания защит, установленных на противоположных концах рассматриваемой линии.

6.4.5.1 Выбор уставок токовой защиты от КЗ на землю для линий с ответвлениями, а также параллельных линий, имеющих взаимоиндукцию, осуществляется согласно “Руководящим указаниям по релейной защите. ТЗНП ВЛ 110-500 кВ. Расчеты. Выпуск 12.”

7. Приложение. Примеры выбора уставок

7.1. Выбор уставок дистанционной защиты

Рассчитать уставки ступеней дистанционной защиты 1 в голове линии 110кВ, выполненной по схеме в соответствии с рис. П1.

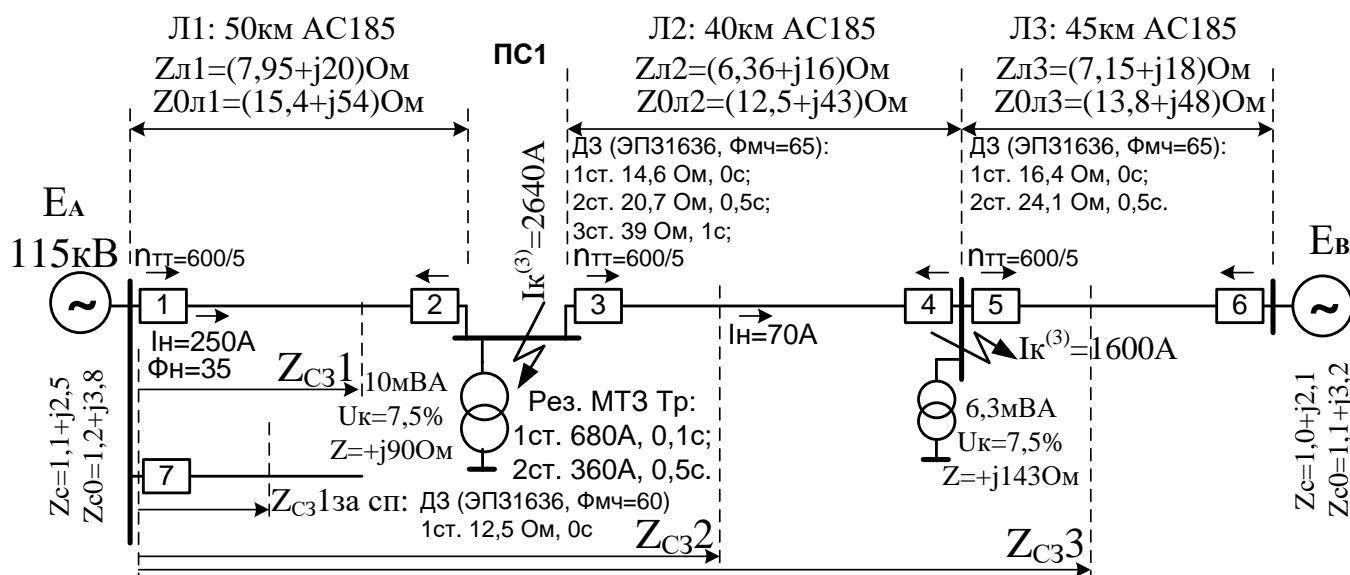


Рис. П1

7.1.1. Выбор общих параметров срабатывания ступеней ДЗ

Параметры направленности ступеней ДЗ. В соответствии с рекомендациями методических указаний для всех ступеней ДЗ принимаем значение угла максимальной чувствительности $\phi_{мч}=50^\circ$, значение ширины зоны $\phi_{зоны}=130^\circ$.

Угол наклона правой част характеристики фпр принимают в соответствии с выражением 2.8 по соотношению активной и реактивной составляющих сопротивления линии $\phi_{пр} = \arctg X/R = \arctg 20/7,95 = 68^\circ$.

При этом в общем случае, если разные участки линии выполнены разными проводниками, то угол $\phi_{пр}$ для первой и второй ступени должен определяться параметрами первого участка линии, а для третьей ступени – суммарными параметрами первого и второго участков.

Коэффициент компенсации фазного тока током нулевой последовательности с учетом приоритета точной работы измерительных органов при КЗ на своей линии определяем по соотношению составляющих сопротивления прямой и нулевой последовательности своей линии (первого участка). В соответствии с (2.3) и (2.4):

$$K = (Z_0 - Z_1) / Z_1 = (15,4 + j54 - 7,95 - j20) / (7,95 + j20) = 34,8e^{j78} / 21,5e^{j68} = 1,62e^{j10} = 1,6 + j0,28.$$

Выбор контуров, по которым назначена работа ступеней ДЗ.

Устройство РС830-ДЗ позволяет для каждой ступени ДЗ назначить ее работу по петле «Фаза-фаза», «Фаза-N» или «Фаза-фаза-N». Раздельное назначение ступеней на работу при междуфазных КЗ («Фаза-фаза») и однофазных КЗ («Фаза-N») целесообразно, если в указанных режимах получаются сильно отличающиеся значения уставок. Однако используемый в устройстве механизм компенсации фазного тока током нулевой

последовательности при близких соотношениях составляющих сопротивлений прямой и нулевой последовательности участков линии на порогах срабатывания ступеней ДЗ, делает необходимые уставки каждой ступени при однофазных и междуфазных КЗ очень близкими или вообще равными. Поэтому в данном примере, где все участки защищаемой линии имеют одинаковое соотношение сопротивлений прямой и нулевой последовательности, для всех ступеней принимаем назначение на работу по контурам «Фаза -фаза-N». Кроме прочего это позволяет не применять отдельные ступени ТЗНП для защиты от однофазных КЗ, как это делалось в старых панелях ЭПЗ-1636, а полностью использовать свойство дистанционной защиты иметь одинаковую чувствительность при всех видах КЗ (трехфазных, двухфазных и однофазных).

Сопротивление дуги

$$R_d = 1050 \frac{l}{I}$$

Длина дуги l с учетом ее вытягивания ветром за время действия ступени защиты для разных ступеней принимается:

- для первой ступени (без выдержки времени) – равной расстоянию между фазами;
- для второй ступени – равной 3-5 расстояний между фазами;
- для третьей ступени – равной 7-10 расстояний между фазами.

При этом меньшие значения длины дуги применяются для районов с меньшей скоростью ветра и при меньших выдержках времени ступеней. Расстояние между фазами на линии 110кВ принято 3,5м.

Для первой ступени $R_d = 1050 \times 3,5 / 2640 = 1,4$ Ом.

Для второй ступени $R_d = 1050 \times 3,5 \times 4 / 2640 = 5,6$ Ом.

Для третьей ступени $R_d = 1050 \times 3,5 \times 8 / 1600 = 18,4$ Ом.

При определении сопротивления дуги ток короткого замыкания принят для точки вблизи конца зоны действия ступени (первая и вторая ступень – конец первого участка линии, третья ступень – конец второго участка линии).

7.1.2. Выбор уставок первой ступени

7.1.2.1. Сопротивление срабатывания X_1

По условию отстройки от КЗ в месте установки предыдущих защит с коэффициентом отстройки $k_{отс.} = (0,8 \div 0,9)$ в соответствии с выражением 2.11

$$X_1 \leq k_{отс.} \cdot X_{рас} = k_{отс.} \cdot X_{л1} = 0,85 \times 20 = 17 \text{ Ом.}$$

По условию обеспечения выбираемой уставкой зоны охвата защищаемой ВЛ с коэффициентом охвата $k_{охв.} = 0,7 \div 0,85$ в соответствии с выражением 2.13

$$X_1 \geq k_{охв.} \cdot X_{рас.} = 0,7 \times 20 = 14 \text{ Ом.}$$

При этом сопротивление до места установки предыдущих защит $X_{рас}$ в этом случае совпадает с сопротивлением до конца защищаемой линии $X_{рас.}$:

$$X_{рас} = X_{рас.} = X_{л1} = 20 \text{ Ом.}$$

Примем $X_1 = 16$ Ом.

7.1.2.2. Сопротивление срабатывания $R_{пр1}$

По условию обеспечения чувствительности при КЗ через $R_{пер.рас}$ в конце зоны действия уставки $X1$ с учетом, что указанное переходное сопротивление определяется половиной сопротивлением дуги R_d , а также понимая что сложение комплексов сопротивления линии в точке срабатывания ступени $X1$ и переходного сопротивления дуги R_d автоматически обеспечивается видом полигональной характеристики (рис. П2)

$$R_{пр1} = 0,5k_{\nu} R_d = 0,5 \times 1,2 \times 1,4 = 0,84 \text{ Ом.}$$

$(k_{\nu} \geq 1,1)$

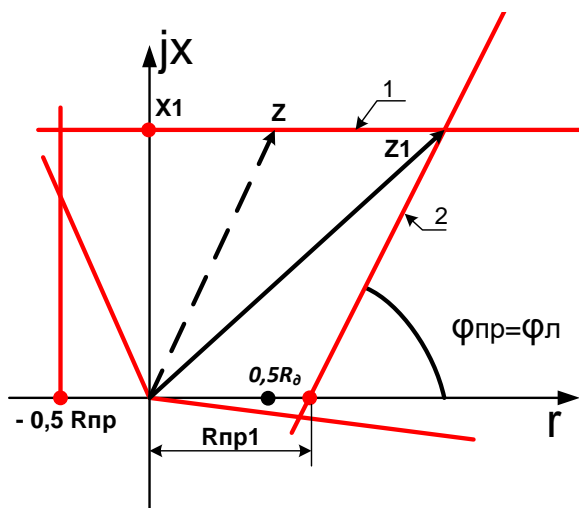


Рис.П2

При этом случае металлического КЗ соответствует сопротивление срабатывания Z , а случаю КЗ через переходное сопротивление дуги с необходимым запасом по чувствительности $(k_{\nu} \geq 1,1)$ соответствует сопротивление срабатывания $Z1$, получаемое при уставках $X1$ и $R_{пр1}$.

7.1.2.3. Уставка по времени первой ступени $T1$ принимается равной нулю $T1 = 0$.

7.1.3. Выбор уставок второй ступени

7.1.3.1. Сопротивление срабатывания $X2$

По условию обеспечения чувствительности к КЗ всех видов, по всей длине линии с коэффициентом чувствительности $k_{\nu} \geq 1,25$ в соответствии с выражением 2.16

$$X2 = k_{\nu} \cdot X_{1рас. м} \geq 1,25 \times 20 = 25 \text{ Ом.}$$

По условию отстройки от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения подстанции, примыкающей к противоположному концу линии в соответствии с условием 2.4.2.2 по выражению 2.11 с коэффициентом отстройки $k_{отс.} \leq 0,85$

$$X2 \leq k_{отс.} \cdot X_{рас} = 0,85 \times (20 + 90) = 93,5 \text{ Ом.}$$

Предварительно примем уставку $X2 = 25$ Ом.

7.1.3.2. Сопротивление срабатывания $R2$

По условию обеспечения чувствительности к КЗ в конце линии через $R_{пер расч.}$ с учетом, что указанное переходное сопротивление определяется сопротивлением дуги R_d , которое для второй ступени составляет 5,6 Ом

$$R_{пр2} = 0,5k_{\nu} R_d = 0,5 \times 1,2 \times 5,6 = 3,36 \text{ Ом.}$$

$(k_{\nu} \geq 1,1)$

Предварительно примем уставку $R_{пр2} = 3,36$ Ом.

7.1.3.3. Проверка согласования по чувствительности с 1 степенью дистанционной защиты предыдущего участка линии в соответствии с пунктом 2.4.2.4 выполняется в точке, соответствующей концу зоны действия этой предыдущей защиты без учета переходного сопротивления по выражению (2.11). При этом коэффициент отстройки принят $k_{отс.} = 0,8$.

Реактивная составляющая сопротивления срабатывания предыдущей защиты

$$X_{пред1} = Z_{пред1} \cos(\varphi - \varphi_{мч}) = 15,8 \cos(90^\circ - 65^\circ) = 14,3 \text{ Ом.}$$

С учетом реактивной составляющей сопротивления линии между согласуемыми защитами $X_{л1} = 20$ Ом и коэффициента сокращения зоны действия предыдущей дистанционной защиты $k_{сокр.} = 0,9$ расчетное сопротивление для выполнения условия согласования составит

$$X_{рас} = k_{сокр.} X_{пред1} + X_{л1} = 14,3 \times 0,9 + 20 = 32,9$$

Условие согласования

$$X_2 \leq k_{отс.} X_{рас.}$$

$$25 \leq 0,8 \times 32,9 = 26,3.$$

Условие выполняется.

При согласовании защит, имеющих полигональные характеристики, с предыдущими дистанционными защитами, имеющими круговые характеристики срабатывания, отмечается принципиальная возможность неселективного действия защиты в наихудших условиях в точке пересечения верхней и правой границы полигональной характеристики (рис.2.5). Это связано с повышенной чувствительностью полигональной характеристики к КЗ через переходные сопротивления и отсутствии такой повышенной чувствительности круговой характеристики. Проверим согласование и возможность неселективного действия защиты в указанных условиях.

Угол для этой точки полигональной характеристики нашей защиты

$$\varphi_{сз} = \arctg \frac{X_y}{R_{пп} + \frac{X_y}{\operatorname{tg} \varphi_{пп}}}$$

При принятых уставках второй ступени нашей защиты

$$\varphi_{сз} = \arctg 25 / (3,36 + 25 / \operatorname{tg} 68^\circ) = 62^\circ$$

Сопротивление срабатывания второй ступени в точке согласования

$$Z_{сз2} = X_2 / \sin \varphi_{сз} = 25 / \sin 62^\circ = 28,3 \text{ Ом;}$$

или, в комплексной форме

$$\dot{Z}_{сз2} = 28,3 \cos 62^\circ + j25 = 13,3 + j25.$$

С учетом параметров первого участка линии между нашей защитой и предыдущей ЭПЗ1636 ($\dot{Z}_{л1} = 7,95 + j20$), последняя в точке согласования будет реагировать на величину сопротивления

$$\dot{Z} = 13,3 + j25 - (7,95 + j20) = 5,35 + j5 = 7,32 e^{j43^\circ}$$

Сопротивление срабатывания первой ступени предыдущей ЭПЗ1636 при значении угла 43° составит

$$Z_{сз пред1} = Z_{у пр1} \cos(\varphi - \varphi_{мч}) = 15,8 \cos(43^\circ - 65^\circ) = 14,6 \text{ Ом.}$$

С учетом величины сопротивления, на которое реагирует предыдущая защита в точке согласования ($Z=7,32 \text{ Ом}$), при значении коэффициента сокращения зоны действия предыдущей дистанционной защиты $k_{сокр.} = 0,9$ условие согласования выполняется с коэффициентом отстройки

$$k_{отс.} = Z / k_{сокр.} Z_{сз\ пред1} = 7,32 / 0,9 \times 14,6 = 0,56.$$

Так как значение коэффициента отстройки меньше необходимого в соответствии с пунктом 2.4.2.4 настоящей Методики, условие согласования выполняется.

7.1.3.4. По условиям согласования с током срабатывания первой ступени предыдущей МТЗ трансформатора (680 А) сопротивление срабатывания должно быть отстроено от минимального расчетного сопротивления до точки с током КЗ, соответствующим указанному току срабатывания. Минимальное сопротивление имеет место при трехфазном КЗ. Полное сопротивление от источника E_A до указанной точки составит $Z = E_A / \sqrt{3} I_{кз}^{(3)} = 115 \times 10^3 / \sqrt{3} \times 680 = 98 \text{ Ом}$.

Реактивная составляющая этого сопротивления при его активной составляющей

$$R = 1,1 + 15,4 = 16,5 \text{ Ом}$$

$$X = \sqrt{98^2 - 16,5^2} = 96,6 \text{ Ом}.$$

Расчетное сопротивление (реактивная составляющая) от места установки защиты до точки согласования за вычетом сопротивления питающей системы (E_A), равного 2,5 Ом

$$X_{рас.} = 96,6 - 2,5 = 94,1 \text{ Ом}.$$

Условие согласования

$$X_2 \leq k_{отс.} \cdot X_{рас.}$$

$$25 \leq 0,8 \times 94,1$$

$$25 < 75,3$$

Условие выполняется.

7.1.3.5. Окончательно принимаются уставки второй ступени

$X_2 = 25 \text{ Ом}$, $R_{пр2} = 3,36 \text{ Ом}$. При этом коэффициент чувствительности при КЗ в конце своей линии $k_{ч} = 25 / 20 = 1,25$.

7.1.3.5. В соответствии с рекомендациями пункта 2.4.4 (выражение 2.17) уставка по времени второй ступени может быть принята

$$T_2 = 0,5 \text{ с}.$$

7.1.4. Выбор уставок третьей ступени

7.1.4.1. Выбор уставки X_3 по условию согласования по чувствительности со 2 ступенью дистанционной защиты предыдущего участка линии выполняется в точке, соответствующей концу зоны действия этой предыдущей защиты без учета переходного сопротивления по выражению (2.11). При этом коэффициент отстройки принят $k_{отс.} = 0,8$.

Реактивная составляющая сопротивления срабатывания предыдущей защиты

$$X_{пред2} = Z_{пред2} \cos(\varphi - \varphi_{мч}) = 22,4 \cos(90^\circ - 65^\circ) = 20,3 \text{ Ом}.$$

С учетом реактивной составляющей сопротивления линии между согласуемыми защитами $X_{л1} = 20 \text{ Ом}$ и коэффициента сокращения зоны действия предыдущей дистанционной защиты $k_{сокр.} = 0,9$ расчетное сопротивление для выполнения условия согласования составит

$$X_{рас} = k_{сокр.} X_{пред2} + X_{л1} = 20,3 \times 0,9 + 20 = 38,3$$

Уставка по условию согласования

$$X_3 \leq k_{отс} \cdot X_{рас.}$$

$$X_3 \leq 0,8 \times 38,3 = 31 \text{ Ом.}$$

7.1.4.2. Так как коэффициент чувствительности при КЗ в конце своей линии $k_u=1,5$ второй ступенью не обеспечивается, то на третью ступень возлагается задача обеспечения этого значения коэффициента чувствительности, а функция дальнего резервирования должна быть возложена не на третью, а на четвертую ступень.

7.1.4.3. Выбор уставки X_3 по условию отключения КЗ всех видов на своей линии с $K_u \geq 1,5$

$$X_3 \geq 1,5 \times I_1 = 1,5 \times 20 = 30 \text{ Ом.}$$

7.1.4.3. Уставка $R_{пр3}$ третьей ступени выбирается по тому же условию, что и для второй ступени, но для переходного сопротивления, соответствующего сопротивлению дуги, характерному для третьей ступени $R_d = 18,4 \text{ Ом}$

$$R_{пр3} = 0,5 k_u R_d = 0,5 \times 1,1 \times 18,4 = 10,1 \text{ Ом.}$$

$$(k_u \geq 1,1)$$

7.1.4.4. Предварительно принимаем $X_3 = 30 \text{ Ом}$, $R_{пр3} = 10,1 \text{ Ом}$.

7.1.4.5. Проверим условие согласования третьей ступени защиты в наихудших условиях в точке пересечения верхней и правой границы полигональной характеристики (рис.2.5).

Угол для этой точки полигональной характеристики нашей защиты

$$\phi_{сз} = \arctg \frac{X_u}{R_{пр} + \frac{X_u}{\text{tg } \phi_{пр}}}$$

При принятых уставках третьей ступени нашей защиты

$$\phi_{сз} = \arctg 30 / (10,1 + 30 / \text{tg} 68^\circ) = 53,5^\circ$$

Сопротивление срабатывания третьей ступени в точке согласования

$$Z_{сз3} = X_3 / \sin \phi_{сз} = 30 / \sin 53,5^\circ = 37,3 \text{ Ом;}$$

или, в комплексной форме

$$\dot{Z}_{сз3} = 37,3 \cos 53,5^\circ + j 30 = 22,2 + j 30.$$

С учетом параметров первого участка линии между нашей защитой и предыдущей ЭПЗ1636 ($\dot{Z}_1 = 7,95 + j 20$), последняя в точке согласования будет реагировать на величину сопротивления

$$\dot{Z} = 22,2 + j 30 - (7,95 + j 20) = 14,25 + j 10 = 17,4 e^{j 35^\circ}$$

Сопротивление срабатывания второй ступени предыдущей ЭПЗ1636 при значении угла 35° составит

$$Z_{сз пред2} = Z_{у пр2} \cos (\phi - \phi_{мч}) = 20,7 \cos (35^\circ - 65^\circ) = 17,9 \text{ Ом.}$$

С учетом величины сопротивления, на которое реагирует предыдущая защита в точке согласования ($Z = 17,4 \text{ Ом}$), при значении коэффициента сокращения зоны действия предыдущей дистанционной защиты $k_{сокр.} = 0,9$ и значении сопротивления срабатывания предыдущей защиты в точке согласования $Z_{сз пред2} = 17,9 \text{ Ом}$ коэффициент отстройки

$$k_{отс.} = Z / k_{сокр} Z_{сз пред2} = 17,4 / 0,9 \times 17,9 = 1,08.$$

Так как значение коэффициента отстройки больше необходимого в соответствии с пунктом 2.4.2.4 настоящей Методики, условие согласования не выполняется.

Для обеспечения условия согласования во всем диапазоне параметров срабатывания полигональной характеристики и предотвращения принципиальной возможности

неселективной работы в конце зоны действия ступени, следует рекомендовать замену предыдущей защиты с круговой характеристикой, на новую – с более совершенной полигональной характеристикой. Применение для предыдущей защиты полигональной характеристики обеспечивает лучшие условия согласования при работе через переходное сопротивление вблизи точки пересечения верхней и правой границы характеристики. Кроме того, применение однотипных характеристик для предыдущей и последующей защит дополнительно облегчает условия согласования. Если такая замена не возможна, то следует выполнить согласование по чувствительности не со второй, а с третьей ступенью предыдущей защиты. Однако это приведет к увеличению уставки по времени нашей третьей ступени, так как и эту уставку придется согласовывать не со второй, а с третьей ступенью предыдущей защиты. Проверим условие согласования с третьей ступенью предыдущей защиты.

Сопротивление срабатывания третьей ступени предыдущей ЭПЗ1636 при значении угла 35° составит

$$Z_{сз\ пред3} = Z_{у\ пр3} \cos(\varphi - \varphi_{мч}) = 39 \cos(35^\circ - 65^\circ) = 33,8 \text{ Ом.}$$

С учетом величины сопротивления, на которое реагирует предыдущая защита в точке согласования (17,4 Ом), при значении коэффициента сокращения зоны действия предыдущей дистанционной защиты $k_{сокр.} = 0,9$ и значении сопротивления срабатывания предыдущей защиты в точке согласования $Z_{сз\ пред3} = 33,8$ Ом условие согласования выполняется с коэффициентом отстройки

$$k_{отс.} = Z / k_{сокр} Z_{сз\ пред3} = 17,4 / 0,9 \times 33,8 = 0,57.$$

Так как значение коэффициента отстройки меньше необходимого в соответствии с пунктом 2.4.2.4 настоящей Методики, условие согласования выполняется.

7.1.4.6. Уставку по времени по условию отстройки от времени действия третьей ступени смежного присоединения, с которой выполнялось согласование по чувствительности, согласно 2-19 выполним со ступенью селективности $\Delta t = 0,3с$:

$$T_3 = 1,0 + 0,3 = 1,3с$$

7.1.4.7. Окончательно принимаются уставки третьей ступени

$X_3 = 30$ Ом, $R_{пр3} = 10,1$ Ом, $T_3 = 1,3с$. При этом коэффициент чувствительности при КЗ в конце своей линии $k_{\varphi} = 30/20 = 1,5$.

7.1.5. Выбор уставок четвертой ступени

7.1.5.1. Выбор уставки X_4 по условию согласования по чувствительности с 3 ступенью дистанционной защиты предыдущего участка линии выполняется в точке, соответствующей концу зоны действия этой предыдущей защиты без учета переходного сопротивления по выражению (2.11). При этом коэффициент отстройки принят $k_{отс.} = 0,8$.

Реактивная составляющая сопротивления срабатывания предыдущей защиты

$$X_{пред3} = Z_{пред3} \cos(\varphi - \varphi_{мч}) = 39 \cos(90^\circ - 65^\circ) = 35,3 \text{ Ом.}$$

С учетом реактивной составляющей сопротивления линии между согласуемыми защитами $X_{л1} = 20$ Ом и коэффициента сокращения зоны действия предыдущей дистанционной защиты $k_{сокр.} = 0,9$ расчетное сопротивление для выполнения условия согласования составит

$$X_{рас} = k_{сокр.} X_{пред3} + X_{л1} = 35,3 \times 0,9 + 20 = 51,8$$

Уставка по условию согласования

$$X4 \leq k_{отс} \cdot X_{рас.}$$

$$X4 \leq 0,8 \times 51,8 = 41,4 \text{ Ом.}$$

7.1.5.2. Выбор уставки $X4$ по условию обеспечения дальнего резервирования по пункту 2.6.2.1 с $k_4=1,2$ при КЗ в зоне дальнего резервирования

$$X4 \geq 1,2(X_{л1} + X_{л2}) = 1,2(20 + 16) = 43,2 \text{ Ом.}$$

В соответствии с пунктом 2.6.2.2 Методики окончательно принимаем $X4=43,2$ Ом и оформляем карту неселективности, с указанием, что согласование с предыдущей 3 ступенью ДЗ линии Л2 в конце зоны дальнего резервирования осуществляется с недостаточным запасом по коэффициенту отстройки $k_{отс} = X4 / X_{рас} = 43,2 / 51,8 = 0,83$ вместо необходимого 0,8. Последнее при худшем сочетании условий с невысокой вероятностью может привести к неселективной работе в конце зоны дальнего резервирования, длиной $(50+40) \times (0,83 - 0,8) / 0,8 = 3,37$ км.

7.1.5.3. Уставка $R_{пр4}$ по условиям работы через переходное сопротивление дуги может быть принята, совпадающей с уставкой $R_{пр3}$, так как времена действия и вытягивание дуги для этих ступеней близки, а сопротивление дуги для третьей ступени принято с запасом. Но для разнесения правых границ зон действия третьей и четвертой ступеней примем значение для четвертой ступени на 10% больше:

$$R_{пр4} = 1,1 \times 10,1 = 11,1 \text{ Ом.}$$

7.1.5.4. Проверим условие согласования четвертой ступени защиты в наихудших условиях в точке пересечения верхней и правой границы полигональной характеристики (рис.2.5).

Угол для этой точки полигональной характеристики нашей защиты

$$\phi_{сз} = \arctg \frac{X_y}{R_{пр} + \frac{X_y}{\text{tg } \phi_{пр}}}$$

При принятых уставках четвертой ступени нашей защиты

$$\phi_{сз} = \arctg 43,2 / (11,1 + 43,2 / \text{tg} 68^\circ) = 56,6^\circ$$

Сопротивление срабатывания четвертой ступени в точке согласования

$$Z_{сз4} = X4 / \sin \phi_{сз} = 43,2 / \sin 56,6^\circ = 51,8 \text{ Ом;}$$

или, в комплексной форме

$$\dot{Z}_{сз4} = 51,8 \cos 56,6^\circ + j43,2 = 28,5 + j43,2.$$

С учетом параметров первого участка линии между нашей защитой и предыдущей ЭПЗ1636 ($\dot{Z}_{л1} = 7,95 + j20$), последняя в точке согласования будет реагировать на величину сопротивления

$$\dot{Z} = 28,5 + j43,2 - (7,95 + j20) = 20,55 + j23,2 = 31e^{j48^\circ}$$

Сопротивление срабатывания третьей ступени предыдущей ЭПЗ1636 при значении угла 48° составит

$$Z_{сз пред3} = Z_{у пр3} \cos (\varphi - \varphi_{мч}) = 39 \cos(48^\circ - 65^\circ) = 37,3 \text{ Ом.}$$

С учетом величины сопротивления, на которое реагирует предыдущая защита в точке согласования ($Z=31$ Ом), при значении коэффициента сокращения зоны действия предыдущей дистанционной защиты $k_{сокр.} = 0,9$ и значении сопротивления срабатывания предыдущей защиты в точке согласования $Z_{сз\ пред3}=37,3$ Ом условие согласования выполняется с коэффициентом отстройки

$$k_{отс.} = Z / k_{сокр.} Z_{сз\ пред1} = 31 / 0,9 \times 37,3 = 0,92.$$

Полученное значение коэффициента отстройки в соответствии с пунктом 2.4.2.4 Методики больше допустимого, что может привести к неселективной работе в конце зоны срабатывания при значительных переходных сопротивлениях, хотя вероятность такого сочетания исходных условий не велика.

Для обеспечения условия согласования и предотвращения принципиальной возможности неселективной работы во всем диапазоне параметров срабатывания полигональной характеристики следует рекомендовать замену предыдущей защиты с круговой характеристикой на новую – с полигональной характеристикой. Если такая замена не возможна, то придется мириться с тем, что последующая защита с более совершенной полигональной характеристикой в отдельных случаях при работе через повышенное переходное сопротивление достает дальше, чем менее совершенная предыдущая защита с круговой характеристикой. При этом в соответствии с пунктом 2.6.2.2 Методики в установленном порядке должна быть оформлена карта неселективности.

7.1.5.5. Уставка Т4 по условию отстройки от времени действия собственной третьей ступени со ступенью селективности $\Delta t = 0,3$ с:

$$T4 = 1,3 + 0,3 = 1,6 \text{с.}$$

7.1.5.6. Окончательно значения уставок приняты

$$X4 = 43,2 \text{ Ом, } R_{пр4} = 11,1 \text{ Ом, } T4 = 1,6 \text{с.}$$

7.1.6. Выбор ступени, для которой вводится дополнительная зона, и уставки дополнительной зоны

Дополнительная зона вводится для одной из ступеней ДЗ и предназначена для резервирования защиты шин "за спиной" и быстродействующих направленных ступеней защиты при КЗ в «мертвой зоне» по направленности. Критерием для выбора ступени, для которой вводится дополнительная зона, является ее уставка по времени. Время действия ступени с дополнительной зоной должно быть отстроено от времен действия указанных резервируемых ступеней. Если указанные защиты (защита шин, первые ступени защит всех присоединений секции шин) имеют нулевые выдержки времени, что обычно имеет место, то дополнительная зона вводится для второй ступени ДЗ. Если любая из указанных ступеней защит имеет не нулевую выдержку времени, то в качестве ступени с дополнительной зоной следует выбрать такую, время действия которой отстроено от максимального из времен действия ступеней, с которыми выполняется согласование.

В нашем случае в качестве защиты, с которой выполняется согласование дополнительной зоны защиты 1, следует рассматривать первую ступень защиты 7 (рис. П1). Эта ступень имеет нулевую выдержку времени, поэтому в качестве ступени с дополнительной зоной принимается вторая ступень нашей защиты.

7.1.6.1. Сопротивление срабатывания в дополнительной зоне второй ступени Z_{д2} по условию согласования по чувствительности с уставками первой зоны защиты 7 «За спиной» в соответствии с рис.2.7 и выражениями 2.21:

$$R' = Z_{y7} \cos \varphi_{мч} = 12,5 \cos 60^\circ = 6,25 \text{ Ом}; \quad X' = Z_{y7} \sin \varphi_{мч} = 12,5 \sin 60^\circ = 10,8 \text{ Ом};$$

$$Z_{д2} \leq k_{отс} k_{сокр} R' / k_T = 0,85 \times 0,9 \times 6,25 / 1 = 4,8 \text{ Ом}.$$

7.1.6.2. Сопротивление срабатывания в дополнительной зоне Z_{д2} по условию согласования по чувствительности с уставками первой зоны своей защиты в соответствии с рис.2.6 и выражениями 2.23:

$$Z_{д2} \leq k_{отс} k_{сокр} R_1 = 0,85 \times 0,9 \times 0,84 = 0,64 \text{ Ом};$$

$$Z_{д2} \leq k_{отс} k_{сокр} X_1 = 0,85 \times 0,9 \times 16 = 12,2 \text{ Ом}.$$

7.1.6.3. Принимаем худшее значение

$$Z_{д2} = 0,64 \text{ Ом}.$$

7.1.7. Выбор ступени, для которой вводится функция отстройки от нагрузки, и уставок функции отстройки от нагрузки

Уставка функции Z_н в соответствии с выражением 2.24

$$Z_n = k_{отс} U_{мин} / \sqrt{3} I_n \text{ макс} = 0,85 \times 100 \text{ 000} / \sqrt{3} \times 250 = 196 \text{ Ом}.$$

Уставка функции Ф_н = 35° + 5°

В соответствии с рекомендациями Методики и выражением 2.26 функция отстройки от нагрузки для всех ступеней не вводится

7.1.8. Выбор уставок по току ступеней ДЗ при их автоматическом переводе в МТЗ при неисправности цепей напряжения

В соответствии с пунктом 2.9 ток срабатывания МТЗ, в которую переводится ступень ДЗ при неисправности цепей напряжения, выбирается так, чтобы зона действия МТЗ после перевода максимально приближалась к зоне действия соответствующей ступени ДЗ. При этом расчетным режимом является режим выбора уставки по реактивному сопротивлению рассматриваемой ступени ДЗ.

7.1.8.1. Для первой зоны ДЗ, которая заканчивается на первом участке линии, реактивная составляющая сопротивления первого участка линии от его начала до конца первой зоны Х_{л1ср} определится разностью сопротивлений срабатывания в первой зоне Х₁ и сопротивления до начала первого участка (сопротивления питающей системы Х_{сА} от источника А)

$$X_{л1ср} = X_1 - X_{сА} = 16 - 2,5 = 13,5 \text{ Ом}.$$

Активная составляющая первого участка линии до этой точки R_{л1ср} получается путем деления активного сопротивления первого участка линии R_{л1} пропорционально соотношению реактивного сопротивления линии Х_{л1} и Х_{л1ср}

$$R_{л1ср} = R_{л1} X_{л1ср} / X_{л1} = 7,95 \times 13,5 / 20 = 5,37 \text{ Ом}.$$

Суммарное значение активного сопротивления петли КЗ до этой точки с учетом активного сопротивления системы R_с

$$R_{кз1} = R_c + R_{л1ср} = 1,1 + 5,37 = 6,47 \text{ Ом}.$$

Значение полного сопротивления петли КЗ до этой точки

$$Z_{кз1} = \sqrt{X_1^2 + R_{кз1}^2} = \sqrt{16^2 + 6,47^2} = 17,26 \text{ Ом}.$$

Ток срабатывания первой ступени I1, совпадающий с током трехфазного КЗ в конце первой зоны ДЗ, составит

$$I_1 = E_A / \sqrt{3} \times Z_{кз1} = 115000 / \sqrt{3} \times 17,26 = 3847 \text{ А.}$$

7.1.8.2. Для второй зоны ДЗ, которая заканчивается на втором участке линии, реактивная составляющая сопротивления второго участка линии от его начала до конца второй зоны Хл2ср определится разностью сопротивлений срабатывания во второй зоне Х2, сопротивления питающей системы ХСА и сопротивления первого участка линии Хл1

$$X_{л2ср} = X_2 - X_{СА} - X_{л1} = 25 - 2,5 - 20 = 2,5 \text{ Ом.}$$

Активная составляющая второго участка линии до этой точки Rл2ср получается путем деления активного сопротивления второго участка линии Rл2 пропорционально соотношению реактивного сопротивления линии Хл2 и Хл2ср

$$R_{л2ср} = R_{л2} \times X_{л2ср} / X_{л2} = 6,36 \times 2,5 / 16 = 1,0 \text{ Ом.}$$

Суммарное значение активного сопротивления петли КЗ до этой точки с учетом активного сопротивления системы Rc и первого участка линии Rл1

$$R_{кз2} = R_c + R_{л1} + R_{л2ср} = 1,1 + 7,95 + 1,0 = 10,05 \text{ Ом.}$$

Значение полного сопротивления петли КЗ до этой точки

$$Z_{кз2} = \sqrt{X_{кз2}^2 + R_{кз2}^2} = \sqrt{25^2 + 10,05^2} = 26,9 \text{ Ом.}$$

Ток срабатывания второй ступени I2, совпадающий с током трехфазного КЗ в конце второй зоны ДЗ, составит

$$I_2 = E_A / \sqrt{3} \times Z_{кз2} = 115000 / \sqrt{3} \times 26,9 = 2468 \text{ А.}$$

7.1.8.3. Для третьей зоны ДЗ, которая заканчивается на втором участке линии, реактивная составляющая сопротивления второго участка линии от его начала до конца третьей зоны Хл3ср определится разностью сопротивлений срабатывания в третьей зоне Х3, сопротивления питающей системы ХСА и сопротивления первого участка линии Хл1

$$X_{л3ср} = X_3 - X_{СА} - X_{л1} = 30 - 2,5 - 20 = 7,5 \text{ Ом.}$$

Активная составляющая второго участка линии до этой точки Rл3ср получается путем деления активного сопротивления второго участка линии Rл2 пропорционально соотношению реактивного сопротивления линии Хл2 и Хл3ср

$$R_{л3ср} = R_{л2} \times X_{л3ср} / X_{л2} = 6,36 \times 7,5 / 16 = 3,0 \text{ Ом.}$$

Суммарное значение активного сопротивления петли КЗ до этой точки с учетом активного сопротивления системы Rc и первого участка линии Rл1

$$R_{кз3} = R_c + R_{л1} + R_{л3ср} = 1,1 + 7,95 + 3,0 = 12,05 \text{ Ом.}$$

Значение полного сопротивления петли КЗ до этой точки

$$Z_{кз3} = \sqrt{X_{кз3}^2 + R_{кз3}^2} = \sqrt{30^2 + 12,05^2} = 32,3 \text{ Ом.}$$

Ток срабатывания третьей ступени I3, совпадающий с током трехфазного КЗ в конце третьей зоны ДЗ, составит

$$I_3 = E_A / \sqrt{3} \times Z_{кз3} = 115000 / \sqrt{3} \times 32,3 = 2056 \text{ А.}$$

7.1.8.4. Для четвертой зоны ДЗ, которая заканчивается на третьем участке линии, реактивная составляющая сопротивления третьего участка линии от его начала до конца четвертой зоны Хл4ср определится разностью сопротивлений срабатывания в четвертой зоне Х4, сопротивления питающей системы ХСА, сопротивления первого участка линии Хл1 и сопротивления второго участка линии Хл2

$$X_{л4ср} = X_4 - X_{СА} - X_{л1} - X_{л2} = 43,2 - 2,5 - 20 - 16 = 4,7 \text{ Ом.}$$

Активная составляющая третьего участка линии до этой точки $R_{л4ср}$ получается путем деления активного сопротивления третьего участка линии $R_{л3}$ пропорционально соотношению реактивного сопротивления линии $X_{л3}$ и $X_{л4ср}$

$$R_{л4ср} = R_{л3} X_{л4ср} / X_{л3} = 7,15 \times 4,7 / 18 = 1,87 \text{ Ом.}$$

Суммарное значение активного сопротивления петли КЗ до этой точки с учетом активного сопротивления системы R_c , сопротивления первого участка линии $R_{л1}$ и сопротивления второго участка линии $R_{л2}$

$$R_{кз4} = R_c + R_{л1} + R_{л2} + R_{л4ср} = 1,1 + 7,95 + 6,36 + 1,87 = 17,28 \text{ Ом.}$$

Значение полного сопротивления петли КЗ до этой точки

$$Z_{кз4} = \sqrt{X_{л4}^2 + R_{кз4}^2} = \sqrt{43,2^2 + 17,28^2} = 46,5 \text{ Ом.}$$

Ток срабатывания четвертой ступени I_4 , совпадающий с током трехфазного КЗ в конце четвертой зоны ДЗ, составит

$$I_4 = E_A / \sqrt{3} \times Z_{кз4} = 115000 / \sqrt{3} \times 46,5 = 1428 \text{ А.}$$

7.1.9. Выбор уставок функции блокировки от качаний (БК)

7.1.9.1. Ток срабатывания чувствительного пускового органа прямой последовательности выберем по условию обеспечения чувствительности при трехфазном КЗ с током $I_1^{(3)}$ в конце зоны действия ступени ДЗ, выполняющей функцию дальнего резервирования. В соответствии с выражением (3.6)

$$dI_{1чув} \leq \frac{I_1^{(3)}}{K_{\chi}}$$

С учетом того, что функция дальнего резервирования возложена на 4ст ДЗ и ток трехфазного КЗ в конце зоны ее действия $I_4 = 1428 \text{ А}$, при необходимом значении коэффициента чувствительности $K_{\chi} = 1,2$ и значении коэффициента трансформации $n_{ТТ} = 600/5 = 120$ получим вторичное значение уставки

$$dI_{1чув} \leq 1428 / 1,2 \times 120 = 9,9 \text{ А.}$$

Принимаем максимально возможное значение уставки $dI_{1чув} = 3 \text{ А}$.

7.1.9.2. Ток срабатывания грубого пускового органа прямой последовательности по условию согласования с чувствительным органом в соответствии с выражением 3.7 при необходимом значении коэффициента надежности $K_n = 2$:

$$dI_{1груб} = K_n \cdot dI_{1чув};$$

$$dI_{1груб} = 2 \times 3 = 6 \text{ А.}$$

Принимаем максимально возможное значение уставки $dI_{1груб} = 5 \text{ А}$.

7.1.9.3. Проверка тока срабатывания грубого пускового органа прямой последовательности в соответствии с пунктом 3.2.4 по условиям обеспечения чувствительности в конце защищаемой линии с коэффициентом $K_{\chi} = 1,5$ с учетом того, что защита всего первого участка линии обеспечивается третьей ступенью ДЗ, осуществляется при токе трехфазного КЗ в конце зоны третьей ступени $I_3 = 2056 \text{ А}$ (первичное значение).

$$dI_{1груб} \leq 2056 / 1,5 \times 120 = 11,4;$$

$$5 < 11,4.$$

Условие выполняется.

7.1.9.4. Ток срабатывания чувствительного пускового органа обратной последовательности выбираем по условию обеспечения чувствительности при двухфазном КЗ с током обратной последовательности $I_2^{(2)}$ в конце зоны действия ступени ДЗ, выполняющей функцию дальнего резервирования. В соответствии с выражением (3.10)

$$dI_{2\text{чув}} \leq \frac{I_2^{(2)}}{K_\psi}$$

С учетом того, что функция дальнего резервирования возложена на 4ст ДЗ и ток трехфазного КЗ в конце зоны ее действия $I_4=1428\text{A}$, полный ток двухфазного КЗ составит $I_{\text{кз}}^{(2)}=1428 \times \sqrt{3}/2=1237\text{ A}$, а его составляющая обратной последовательности составит $I_2^{(2)}=I_{\text{кз}}^{(2)}/\sqrt{3}=714\text{ A}$. При необходимом значении коэффициента чувствительности $K_\psi=1,2$ и значении коэффициента трансформации $n_{\text{ТТ}}=600/5=120$ получим вторичное значение уставки

$$dI_{2\text{чув}} \leq 714/1,2 \times 120 = 4,96\text{A}.$$

Принимаем максимально возможное значение уставки $dI_{2\text{чув}}=1,5\text{A}$.

7.1.9.5. Ток срабатывания грубого пускового органа обратной последовательности по условию согласования с чувствительным органом ($K_H \geq 2$) в соответствии с выражением (3.11):

$$dI_{2\text{груб}} = K_H \cdot dI_{2\text{чув}} = 2 \times 1,5 = 3\text{ A}.$$

Принимаем максимальное возможное значение $dI_{2\text{груб}}=2,5\text{ A}$.

7.1.9.6. Проверка тока срабатывания грубого пускового органа обратной последовательности в соответствии с пунктом 3.3.4 по условиям обеспечения чувствительности в конце защищаемой линии с коэффициентом $K_\psi=1,5$ с учетом того, что защита всего первого участка линии обеспечивается третьей ступенью ДЗ, осуществляется при токе трехфазного КЗ в конце зоны третьей ступени $I_3=2056\text{ A}$ (первичное значение). Это соответствует току двухфазного КЗ $I_{\text{кз}}^{(2)}=2056 \times \sqrt{3}/2=1781\text{ A}$, а его составляющая обратной последовательности составит $I_2^{(2)}=I_{\text{кз}}^{(2)}/\sqrt{3}=1028\text{ A}$.

$$dI_{2\text{груб}} \leq 1028/1,5 \times 120 = 5,7;$$
$$2,5 < 5,7.$$

Условие выполняется.

7.1.9.7. Ток срабатывания чувствительного пускового органа нулевой последовательности выбираем по условию обеспечения чувствительности при однофазном КЗ с током нулевой последовательности $3I_0^{(1)}$ в конце зоны действия ступени ДЗ, выполняющей функцию дальнего резервирования

$$dI_{0\text{чув}} \leq \frac{3I_0^{(1)}}{K_\psi}$$

Ток $3I_0^{(1)}$ при однофазном КЗ совпадает с полным током КЗ $I_{КЗ}^{(1)}$, определяется фазным напряжением схемы замещения прямой последовательности E_Φ и сопротивлениями прямой, обратной и нулевой последовательности \dot{Z}_1 , \dot{Z}_2 и \dot{Z}_0

$$3I_0^{(1)} = I_{КЗ}^{(1)} = 3E_\Phi / (\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_0).$$

Сопротивление прямой последовательности петли КЗ до конца четвертой зоны ДЗ, обеспечивающей дальнейшее резервирование, в соответствии с пунктом 7.1.8.4 будет иметь активную составляющую $R_{кз4} = 17,28$ Ом и реактивную составляющую $X_4 = 43,2$ Ом, т.е. $\dot{Z}_1 = 17,28 + j43,2$ Ом. Учитывая, что сопротивление питающей системы в этой величине незначительно, и пренебрегая различием между величиной сопротивления прямой и обратной последовательности системы можно принять $\dot{Z}_2 = \dot{Z}_1 = 17,28 + j43,2$ Ом.

Сопротивление нулевой последовательности до конца второго участка линии составит

$$\dot{Z}_{c0} + \dot{Z}_{0л1} + \dot{Z}_{0л2} = 1,2 + j3,8 + 15,4 + j54 + 12,5 + j43 = 29,1 + j100,8.$$

Сопротивление нулевой последовательности третьего участка линии $\dot{Z}_{0л4ср}$ от его начала до конца четвертой зоны ДЗ получается путем пропорционального деления сопротивления нулевой последовательности третьего участка $\dot{Z}_{0л3}$ в соотношении сопротивления третьего участка до конца четвертой зоны $X_{л4ср}$ и сопротивления третьего участка линии $X_{л3}$:

$$\dot{Z}_{0л4ср} = (13,8 + j48) \cdot 4,7 / 18 = 3,6 + j12,5 \text{ Ом.}$$

Комплекс полного сопротивления нулевой последовательности схемы замещения

$$\dot{Z}_0 = \dot{Z}_{c0} + \dot{Z}_{0л1} + \dot{Z}_{0л2} + \dot{Z}_{0л4ср} = 29,1 + j100,8 + 3,6 + j12,5 = 32,7 + j113,3$$

Комплекс полного сопротивления в выражении для $3I_0^{(1)}$

$$\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_0 = 17,28 + j43,2 + 17,28 + j43,2 + 32,7 + j113,3 = 67,26 + j199,7 = 211e^{j71^\circ}.$$

Фазное значение эдс составит

$$E_\Phi = 115000 / \sqrt{3} = 66400$$

Первичное значение

$$3I_0^{(1)пер} = I_{КЗ}^{(1)} = 3E_\Phi / (\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_0) = 3 \times 66400 / 211 = 944 \text{ А.}$$

Вторичное значение

$$3I_0^{(1)} = 944 / 120 = 7,87 \text{ А.}$$

Уставка при $K_ч = 1,2$

$$dI_{0чув} \leq 7,87 / 1,2 = 6,56 \text{ Ом}$$

Принимаем максимальное возможное значение $dI_{0чув} = 3$ А.

7.1.9.8. Ток срабатывания грубого пускового органа нулевой последовательности по условию согласования с чувствительным органом ($K_H \geq 2$):

$$dI_{0груб} = K_H \cdot dI_{0чув} = 2 \times 3 = 6 \text{ А.}$$

Принимаем максимальное возможное значение $dI_{0груб} = 5$ А.

7.1.9.9. Проверим ток срабатывания грубого пускового органа нулевой последовательности по условию обеспечения чувствительности при однофазном КЗ в конце защищаемой линии через переходное сопротивление

$$dI_{0груб} \leq \frac{3I_0^{(1)}}{K_ч}$$

Ток $I_0^{(1)}$ при однофазном КЗ совпадает с полным током КЗ $I_{КЗ}^{(1)}$, определяется фазным напряжением схемы замещения прямой последовательности E_Φ и сопротивлениями прямой, обратной и нулевой последовательности \dot{Z}_1 , \dot{Z}_2 и \dot{Z}_0

$$I_0^{(1)} = I_{КЗ}^{(1)} = 3E_\Phi / (\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_0).$$

Сопротивление прямой последовательности петли КЗ до конца защищаемой линии с учетом переходного сопротивления, принимаемого по пункту 2.1.4.2 $R_{пер} = 5 \text{ Ом}$, составит

$$\dot{Z}_1 = \dot{Z}_c + \dot{Z}_{л1} + \dot{Z}_{л2} + R_{пер} = 1,1 + j2,5 + 7,95 + j20 + 5 = 14,05 + j22,5.$$

Сопротивление обратной последовательности примем

$$\dot{Z}_2 = \dot{Z}_1 = 14,05 + j22,5 \text{ Ом.}$$

Сопротивление нулевой последовательности до конца линии с учетом переходного сопротивления составит

$$\dot{Z}_0 = \dot{Z}_{c0} + \dot{Z}_{л1} + R_{пер} = 1,2 + j3,8 + 15,4 + j54 + 5 = 21,6 + j57,8 \text{ Ом.}$$

Комплекс полного сопротивления в выражении для $I_0^{(1)}$

$$\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_0 = 14,05 + j22,5 + 14,05 + j22,5 + 21,6 + j57,8 = 49,7 + j102,8 = 114e^{j64^\circ}.$$

Фазное значение эдс составит

$$E_\Phi = 115000 / \sqrt{3} = 66400$$

Первичное значение

$$I_0^{(1)}_{пер} = I_{КЗ}^{(1)} = 3E_\Phi / (\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_0) = 3 \times 66400 / 114 = 1747 \text{ А.}$$

Вторичное значение

$$I_0^{(1)} = 1747 / 120 = 14,6 \text{ А.}$$

Условие для $dI_{0гр\text{уб}}$ при $Kч = 1,5$

$$dI_{0гр\text{уб}} \leq 14,6 / 1,5 = 9,7 \text{ Ом;} \\ 5 < 9,7;$$

Условие выполняется.

7.1.9.10. Перед выбором уставок по времени назначим, какие ступени ДЗ будут вводиться как быстродействующие сигналом БКБ, а какие как медленнодействующие сигналом БКм. Максимальная уставка по времени ввода быстродействующих ступеней $T_{вв\ ч\text{ув}} \text{ (БКБ)}$ составляет 1с, поэтому сигналом БКБ можно вводить только ступени, с меньшими временами действия, т.е. 1ст ($T_1 = 0$) и 2ст ($T_2 = 0,5\text{с}$). Сигналом БКм назначим ввод оставшихся 3 и 4 ступеней ДЗ.

7.1.9.11. Уставку по времени ввода быстродействующих ступеней $T_{вв\ ч\text{ув}} \text{ (БКБ)}$ в соответствии с пунктом 3.4.1 принимаем превышающей время действия блокируемых быстродействующих ступеней ($T_2 = 0,5\text{с}$) с запасом более чем собственное время отключения выключателя. Примем $T_{вв\ ч\text{ув}} = 0,7\text{с}$.

7.1.9.12. Уставка по времени ввода быстродействующих ступеней при повторном срабатывании БК $T_{вв\ гр\text{уб}}$ выбираем такой же, как при первом срабатывании, так как изменение времени действия ступени при повторном срабатывании отсутствует, т.е. $T_{вв\ гр\text{уб}} = 0,7\text{с}$.

7.1.9.13. Уставку по времени ввода медленнодействующих и по времени вывода быстродействующих ступеней БК $T_{ввод\ гр\text{уб}}$ в соответствии с пунктом 3.4.3 принимаем превышающей время действия блокируемых медленнодействующих ступеней ($T_4 = 1,6\text{с}$). Введем ускоренный сброс алгоритма блокировки при отключении выключателя, поэтому

отстройку от повторности действия в цикле АПВ не предусматриваем. Принимаем $T_{\text{ввод}} = 2\text{с}$.

7.1.10. Выбор уставок функции блокировки при неисправности цепей напряжения (БНН)

7.1.10.1. Уставку по напряжению функции БНН по сумме напряжений согласно пункта 4.1 принимаем 10В.

7.1.10.2. Уставку по току нижней границы функции БНН по составляющим прямой последовательности согласно пункта 4.2 принимаем $I_{1\text{min}} = 10\% I_{\text{ном}} = 0,1 \times 5 = 0,5$ А (вторичное значение).

7.1.10.3. Уставка по току верхней границы функции БНН по составляющим прямой последовательности согласно выражения 4.3 при значении коэффициента запаса $k_3 = 1,2$ $I_{1\text{max}} = k_3 \cdot I_{\text{ном}} = 1,2 \times 5 = 6$ А (вторичное значение).

7.1.10.4. Уставка по напряжению обратной последовательности функции БНН по составляющим обратной последовательности согласно пункта 4.3 может быть принята $U_2 = 0,1 \cdot U_{\text{ном}} = 0,1 \times 100 = 10$ В (вторичное значение)

7.1.10.5. Уставка по току обратной последовательности I_2 функции БНН по составляющим обратной последовательности согласно выражениям 4.4 и 4.5 с учетом рекомендованных значений всех коэффициентов может быть принята равной $I_2 = 0,1 I_{\text{ном}} = 0,1 \times 5 = 0,5$ А (вторичное значение).

Методические указания по выбору уставок защит от коротких замыканий линий 35кВ, реализуемых при помощи устройства дистанционной защиты РС83-ВС

Условные обозначения

$n_{ТТ}$ – коэффициент трансформации трансформаторов тока

$K_{ТН}$ – коэффициент трансформации трансформатора напряжения

$Z_{сз}$ – сопротивление срабатывания ступени ДЗ

$Z_{н}$ – сопротивление нагрузки

$\phi_{н}$ – угол импеданса нагрузки

$\phi_{МЧ}$ – угол максимальной чувствительности

$\phi_{зоны}$ – ширина зоны срабатывания

$Z_{л}$ – сопротивление линии

$K_{ч}$ – коэффициент чувствительности

$I_{нб}$ – ток небаланса

$I_{ср}$ – ток срабатывания ступени ДЗ при переводе в МТЗ

$I_{0ср}$ – ток срабатывания ступени ТЗНП

T – уставка по времени срабатывания ступени

ΔT – степень селективности по времени

1. Принципы организации защит при разных видах КЗ, используемые виды и характеристики защит от КЗ устройства РС83-ВС

1.1. Виды КЗ и используемые ступени защит

К коротким замыканиям (КЗ) в сетях с малыми токами замыкания на землю 35кВ относятся трехфазные и двухфазные КЗ, а также двойные замыкания на землю. Двойные замыкания на землю бывают двух видов, которые отличаются друг от друга характером возникающих составляющих токов и напряжений. Двойное замыкание на землю на одной линии по характеру возникающих токов в месте установки защиты (в голове линии) совпадает с двухфазными КЗ. Для двойного замыкания на землю на разных линиях характерно обтекание током КЗ только одной фазы и возникновение составляющей нулевой последовательности тока КЗ, аналогично однофазному КЗ в сети с большими токами замыкания на землю.

В качестве основной защиты от всех видов КЗ в устройстве РС83-ВС рекомендуется использовать дистанционную защиту. Для защиты от двухфазных и трехфазных КЗ дистанционная защита назначается на работу по петле «Фаза фаза» и по принципу действия имеет одинаковую чувствительность, не зависящую от вида КЗ. Для защиты от двойных замыканий на землю на разных линиях ступень дистанционной защиты должна быть назначена на работу по петле «Фаза ноль». При этом правильный выбор уставки по коэффициенту компенсации фазного тока током нулевой последовательности позволяет обеспечить чувствительность этой ступени, принципиально не отличающуюся от чувствительности ступени ДЗ при трехфазных и двухфазных КЗ. Одна ступень ДЗ может быть назначена на работу по петлям «Фаза фаза, ноль» и как показано выше может иметь одинаковую чувствительность при всех видах КЗ. Поэтому при выборе уставок ступеней дистанционной защиты и проверке их чувствительности можно рассматривать только режим трехфазного КЗ и оперировать значениями токов КЗ только в этом режиме.

В устройстве РС83-ВС имеется 4 ступени защиты от замыканий на землю (ЗНЗ), каждая из которых может быть назначена на работу по измеренному или расчетному току нулевой последовательности. Назначение ступени на работу по измеренному току (0,004-5А) обеспечивает ее работу при замыканиях на землю в сети с малыми токами замыкания на землю. Назначение ступени на работу по расчетному току (0,1-125А) в сети с малыми токами замыкания на землю позволяет обеспечить эффективную работу при двойных замыканиях на землю на разных линиях. При этом чувствительность ступени ЗНЗ по расчетному току нулевой последовательности при двойных замыканиях на землю может оказаться выше, чем чувствительность ступени ДЗ, работающей по петле «Фаза ноль». Количество ступеней защиты по току нулевой последовательности позволяет обеспечить ее использования и в качестве защиты от замыканий на землю в сети с малыми токами замыкания на землю (по измеренному току), и в качестве отдельных ступеней защиты от двойных замыканий на землю на разных линиях (по расчетному току). Поэтому задача выбора способа защиты от двойных замыканий на землю на разных линиях для каждой ступени (ДЗ «Фаза-фаза-ноль» или отдельная ступень ЗНЗ по расчетному току нулевой последовательности) может иметь оба указанных решения и при выборе конкретного

способа следует руководствоваться количеством свободных ступеней ЗНЗ, достигаемой чувствительностью и приоритетами конкретных пользователей устройства.

1.2. Общие подходы к организации ступенчатых дистанционных защит и особенности дистанционной защиты устройства РС83-ВС

Параметры срабатывания дистанционных защит, как и всех видов ступенчатых защит, должны отвечать условиям согласования по величине (сопротивлению) и времени (Л.1, Л.2) в соответствии со схемой, изображенной на рис 1. При этом разомкнутый режим работы линии с возможностью поочередного питания с ее разных концов (от источника А или источника В), произвольным расположением точки размыкания и возможностью АВР, характерный для большинства линий 35кВ, с точки зрения выбора уставок мало отличается от замкнутого режима двухстороннего питания. Причем режим двустороннего питания является более общим и более полным. Выбор уставок для разомкнутого режима может выполняться в соответствии с методикой, созданной для замкнутого режима сети с двусторонним питанием, и поэтому именно для этого режима как более общего разработана настоящая методика.

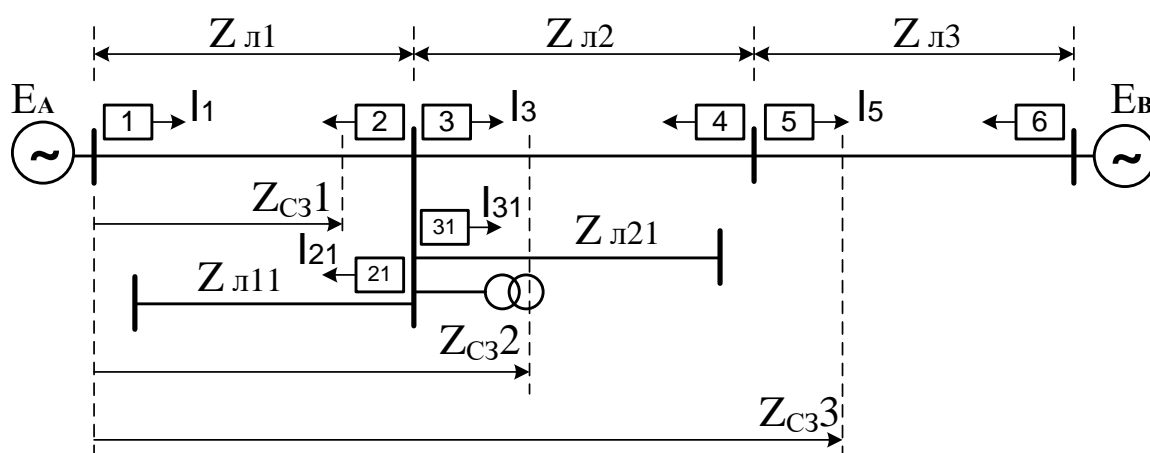


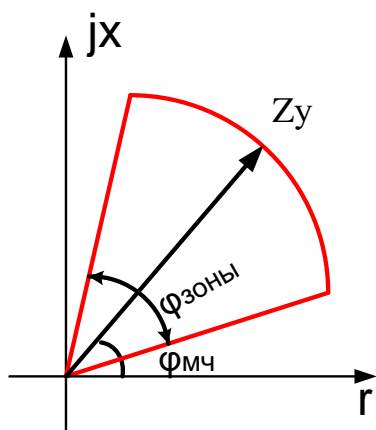
Рис. 1

Дистанционные защиты по принципу выполнения являются направленными, поэтому согласование выполняется для защит направленных в одну сторону (защита 1 согласовывается с защитами 3 и 5). Далее рассматриваются условия согласования и выбор параметров срабатывания для защиты 1. При этом предыдущими по отношению к 1 являются защиты 3, 5, 21, 31. Определение уставок для других защит выполняется аналогично с учетом соответствующего выбора предыдущих защит. На схеме рис.1 в качестве расчетной показана одиночная линия с двусторонним питанием, однако по приведенной методике можно рассчитывать уставки и для схемы с параллельными линиями при этом просто необходимо правильно выбирать предыдущие защиты, а в отдельных случаях в качестве расчетных принимать сопротивления параллельно соединенных линий. Так линия $л11$ с защитой 21 может рассматриваться как параллельная линии $л1$, линия $л21$ как параллельная $л2$ и т.д. В любом случае при направлении мощности вперед предыдущими по отношению к защите 1 являются защиты 3, 31 и 21, независимо от того $л11$ и $л21$ являются параллельными по отношению к $л1$ и $л2$ или просто радиальными линиями. Здесь и далее до особого упоминания рассматриваются первичные значения

сопротивлений. Ступени дистанционной защиты, назначенные на работу при однофазных КЗ, и ступени назначенные на работу при междуфазных КЗ при одинаковых значениях уставок и правильно выбранных коэффициентах компенсации фазных токов токами нулевой последовательности, как при междуфазных, так и при однофазных КЗ, ведут себя одинаково и имеют одинаковые зоны защиты. Из этого следует, что для охвата дистанционной защитой всех видов повреждений для каждой зоны защиты следует назначать одну ступень для работы при междуфазных и одну ступень для работы при однофазных КЗ, которые в условиях отсутствия влияния других линий могут иметь одинаковые уставки по Z и по T. Из этого же следует, что в случае назначения ступеней дистанционной защиты на работу одновременно при междуфазных и однофазных КЗ при выборе уставок в условиях отсутствия влияния других линий можно не обращать внимание на вид повреждения – дистанционная защита устройства РС83-BC по принципу своего устройства одинаково реагирует на любой вид КЗ в одной и той же точке.

Каждая ступень дистанционной защиты устройства РС83-BC может иметь одну из двух характеристик на комплексной плоскости – круговую или эллиптическую (рис. 2).

1. Характеристика в виде сектора круга



2. Эллиптическая характеристика

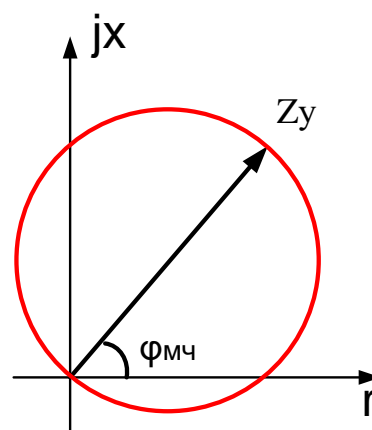


Рис. 2. Виды характеристик ступеней дистанционной защиты устройства РС83-BC

Выбор основных параметров срабатывания ступеней дистанционной защиты и согласование защит в соответствии с рис.1 выполняется одинаково для круговой и эллиптической характеристики. При выборе конкретного вида характеристики следует руководствоваться соображениями необходимого ограничения зоны срабатывания, выбранным способом отстройки от нагрузки (см. ниже), прочими факторами и приоритетами.

Для защиты в первой зоне используется дистанционная отсечка без выдержки времени. Ее уставка $Z_{с31}$ (рис. 1) должна быть отстроена от сопротивления до точки установки ближайшей из предыдущих защит, поэтому по принципу действия такая защита имеет мертвую зону в конце защищаемой линии.

Действие ступеней, обеспечивающих вторую зону защиты, своей уставкой $Z_{с32}$ (при однофазных и многофазных КЗ) должно с запасом перекрывать место установки

предыдущих защит (З, З1 и З2) быть отстроенным от КЗ на шинах низшего напряжения подстанции, расположенной в конце защищаемой линии и иметь согласование по чувствительности и времени со ступенями первой зоны указанных предыдущих защит. Для сопротивления срабатывания во второй зоне должна проверяться отстройка от сопротивления нагрузки.

Ступени защиты третьей зоны своей уставкой $Z_{сз3}$ должны полностью охватывать линию 2, т.е. место установки защиты 5 и трансформатор ПС в конце первого участка линии (резервировать ступени второй зоны предыдущих защит З и защит трансформатора), иметь согласование по чувствительности и времени с указанными ступенями второй зоны, и быть отстроенными от режима нагрузки по углу (высокая чувствительность защиты в третьей зоне может не позволить обеспечить отстройку от нагрузки по сопротивлению). Отстройка от нагрузки может осуществляться вводом функции отстройки от параметров нагрузки по ее величине и углу (рис.3) Отстройка от нагрузки по углу также может осуществляться соответствующим выбором значений угла максимальной чувствительности и ширины зоны срабатывания ступени с круговой характеристикой (рис.4), что обеспечивает расположение границы зоны срабатывания за пределами угла нагрузки ϕ_n .

Область отстройки от нагрузки

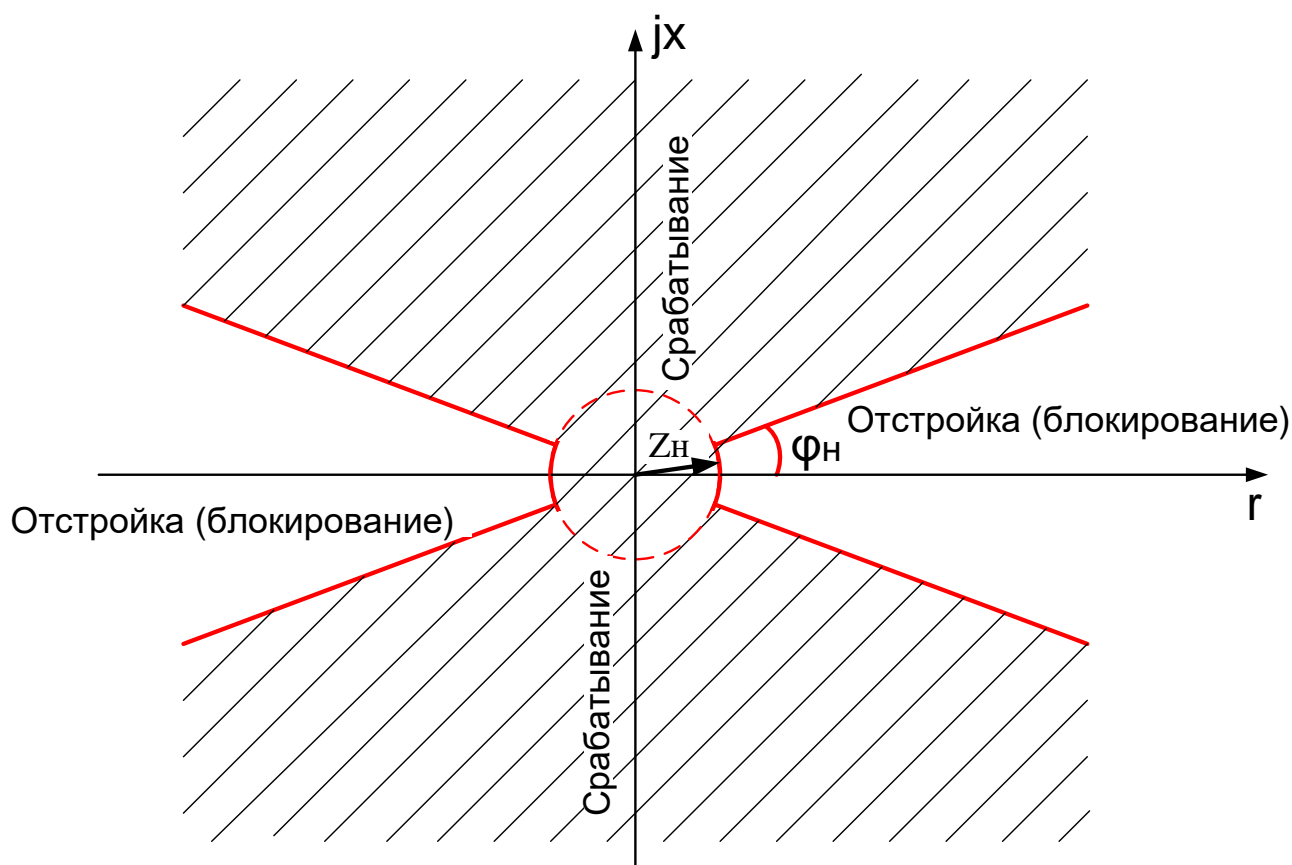


Рис. 3

Характеристика в виде сектора круга

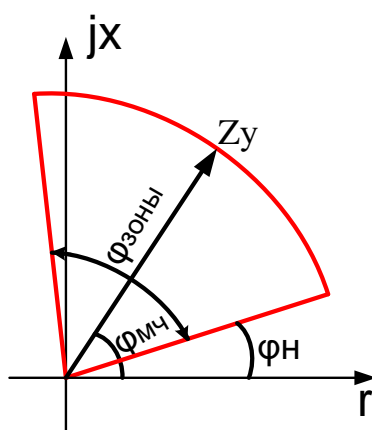


Рис. 4

Если отстройка от нагрузки по углу параметрами характеристики ступени не выполняется, то с учетом рекомендаций Л.2, для всех ступеней ДЗ рекомендуется принимать значение угла максимальной чувствительности $\phi_{мч} = 50^\circ$, для круговой характеристики $\phi_{зоны} = 110^\circ$, а для эллиптической коэффициент сжатия эллипса равный 1 (сжатие отсутствует):

$$\phi_{мч} = 50^\circ; \quad (1.1)$$

$$\phi_{зоны} = 110^\circ.$$

Если выполняется отстройка от нагрузки по углу параметрами круговой характеристики (рис. 4), то рекомендуется принимать:

$$\phi_{зоны} = 100^\circ - \phi_n; \quad (1.2)$$

$$\phi_{мч} = 50^\circ + 0,5\phi_n.$$

Отстройка от нагрузки по углу параметрами эллиптической характеристики обычно не выполняется.

Для отключения КЗ на шинах «За спиной» при установке устройства РС83-ВС на линии с двухсторонним питанием согласно рис.1 (например, для защиты 3 при питании от источника Ев и КЗ между защитой 3 и одной из защит 2, 21 или 31) используется ступень ДЗ с дополнительной зоной в виде круга с центром в начале координат (рис. 5).

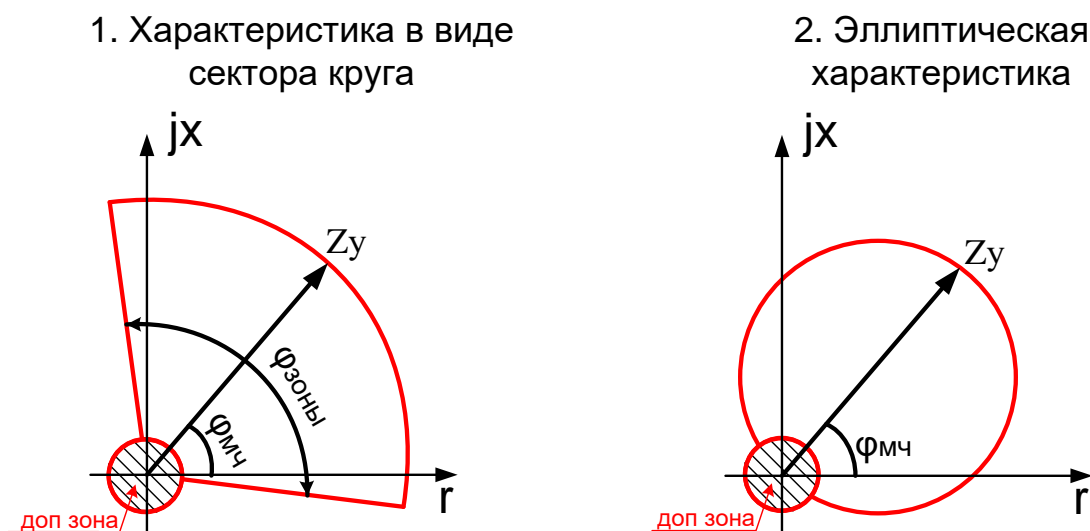


Рис. 5

Для выполнения условий согласования дополнительной зоны ее следует вводить для ступени с временем действия, превышающим на ступень селективности уставку по времени первой зоны защиты своей линии и первых зон всех защит «За спиной». Это условие обычно выполняется для второй ступени (зоны) защиты. Выбор сопротивления срабатывания для дополнительной зоны выполняется исходя из условия согласования по чувствительности со ступенями 1 зоны указанных защит (для защиты 3 – с первой зоной самой защиты 3 и всех защит 2, 21 и 31).

При установке на линии с поочередным питанием от разных источников (без непосредственного использования режима двустороннего питания) дополнительная зона ступеней дистанционной защиты на выключателе в голове линии, отключаемом при подаче питания с противоположного конца линии, не вводится. Это также относится к линиям с АВР на одном из выключателей в ее середине, если перед АВР обеспечено отключение выключателя со стороны основного питания линии.

2. Выбор уставок ступеней дистанционной защиты

2.1. Первая ступень

2.1.1. Требования к первой ступени

Первая ступень должна обеспечивать селективное отключение всех видов металлических КЗ на 85% полного сопротивления защищаемой линии без выдержки времени. Первая ступень должна быть отстроена от КЗ за пределами линии (месте установки предыдущих защит). С учетом указанного, первая ступень имеет мертвую зону в конце защищаемой линии. Первая ступень обеспечивает отключение КЗ в начале защищаемой линии через переходное сопротивление, не превышающее величину 85% полного сопротивления линии.

2.1.2. Выбор уставок первой ступени

2.1.2.1. Выбор уставки по сопротивлению $Z_{сз1}$ производится по условию отстройки действия защиты от всех видов КЗ за пределами линии (месте установки предыдущих защит) и охвата 85% полного сопротивления линии Z_L :

$$Z_{сз1} = 0,85Z_L \quad (2.1)$$

2.1.2.2. Условие отключения КЗ через переходное сопротивление при круговой характеристике обеспечивается выбором параметров срабатывания по углу в соответствии с выражениями (1.1), при которых ось активных сопротивлений оказывается в зоне срабатывания. Переходное сопротивление $R_{пер}$, через которое обеспечивается отключение КЗ в начале линии при круговой характеристике составит

$$R_{пер} = Z_{сз1} \quad (2.2)$$

2.1.2.3. Условие отключения КЗ через переходное сопротивление при эллиптической характеристике обеспечивается применением характеристики без сжатия эллипса, что обеспечивает попадание максимального отрезка оси активных сопротивлений в зону срабатывания. Переходное сопротивление $R_{пер}$, через которое обеспечивается отключение КЗ в начале линии при эллиптической характеристике (без сжатия эллипса), составит

$$R_{пер} = Z_{сз1} \cos \phi_{мч} \quad (2.3)$$

2.1.2.4. Время срабатывания первой ступени T_1 следует принять равным нулю:

$$T_1 = 0 \quad (2.4)$$

Примечание: С целью обеспечения правильной работы при близких металлических КЗ, сопровождающихся просадкой рабочих напряжений ниже уровня, при котором обеспечивается измерение углов между токами и напряжениями, ступени ДЗ на время 0,5 с, переводятся на работу по памяти. При этом, для определения фаз рабочих напряжений в момент их снижения (исчезновения), с частотой 50 Гц моделируется продолжение на 0,5 с изменения синусоиды каждого из указанных напряжений и фазы напряжений определяются по смоделированным синусоидам. Перевод на работу по памяти осуществляется автоматически при снижении напряжений ниже уровня, при котором становится невозможным правильное определение фазы напряжения.

2.2. Вторая ступень

2.2.1. Требования ко второй ступени

Вторая ступень должна обеспечивать надежного отключения КЗ всех видов по всей длине линии, в т.ч. при $R_{пер}$, обеспечение селективности действия при к.з. за пределами линии за

счет отстройки по времени и чувствительности от первых ступеней предыдущих защит, а также возможное использование ступени в качестве ускоряемой автоматически в режимах опробования линии при ручном включении и АПВ.

2.2.2. Выбор уставок второй ступени

2.2.2.1. Выбор уставки по сопротивлению Z_2 по условию обеспечения чувствительности к КЗ всех видов, по всей длине линии с учетом переходного сопротивления выполняется в соответствии с выражением

$$Z_{сз2} \geq k_{ч} Z_{л\text{ рас}}, \quad (2.5)$$

где:

- $k_{ч} = 1,25$ – необходимый коэффициент чувствительности при КЗ любого вида на шинах противоположного конца линии;
- $Z_{л\text{ рас}}$ максимальное значение расчетного сопротивления, определяемого при КЗ в конце защищаемой линии через переходное сопротивление.

Сопротивление $Z_{л\text{ рас}}$ определяется активным $R_{л}$, реактивным $X_{л}$ сопротивлением защищаемой линии и переходным сопротивлением $R_{пер}$ в соответствии с выражением

$$Z_{л\text{ рас}} = \sqrt{X_{л}^2 + (R_{л} + R_{пер})^2} \quad (2.6)$$

Значение переходного сопротивления $R_{пер}$ при междуфазных (трехфазных и двухфазных) КЗ принимается равным половине сопротивления дуги, определяемого в соответствии с пунктом. Учет переходных сопротивлений при двойном замыкании на землю на разных линиях в параметрах срабатывания ступеней ДЗ не выполняется, если в качестве обязательной защиты от этого режима как рекомендовано применяется защита по расчетному току нулевой последовательности 3I0.

2.2.2.2. Выбор уставки по сопротивлению по условию отстройки от КЗ на шинах низшего напряжения подстанции, расположенной в конце защищаемой линии, выполняется в соответствии с выражением

$$Z_{сз2} \leq 0,85Z_{пс}, \quad (2.7)$$

где $Z_{пс}$ – сопротивление от места установки защиты до указанных шин подстанции.

2.2.2.3. Для согласования второй ступени по чувствительности с предыдущими защитами находят точку сети, сопротивление при КЗ в которой соответствует порогу срабатывания ступени предыдущей дистанционной защиты или ток трехфазного КЗ в которой, соответствует току срабатывания ступени предыдущей токовой защиты. В качестве ступени предыдущей защиты (с которой выполняется согласование) принимают ступень, время действия которой, меньше времени действия согласуемой ступени. Обычно для второй ступени такой является первая ступень предыдущей защиты. Для выполнения условия согласования сопротивление Z от точки установки рассчитываемой ступени ДЗ до найденной точки сети должно соответствовать требованию

$$Z_{сз2} \leq 0,85Z. \quad (2.8)$$

Согласование по чувствительности с предыдущими защитами должно выполняться отдельно для междуфазных КЗ и двойных замыканий на землю на разных линиях с учетом параметров нулевой последовательности. Согласование при двойных замыканиях на землю на разных линиях выполняется только если для согласуемой ступени ДЗ предусмотрена работа по петле «Фаза ноль».

Для второй ступени также должно проверяться условие отстройки от нагрузки по величине сопротивления

$$Z_{сз2} \leq Z_n,$$

где Z_n – сопротивление нагрузки, определяемое в соответствии с выражением 3.2.

Если выполнение этого условия требует загробления ступени, то рекомендуется вводить блокировку ступени по условию отстройки от нагрузки и при выборе уставки ступени указанное условие не учитывать.

2.2.2.4. Время срабатывания второй ступени ДЗ T_2 выбирается по условиям отстройки на ступень селективности ΔT от времени действия первых ступеней предыдущих защит $T_{1пр}$

$$T_2 = T_{1пр} + \Delta T, \quad (2.9)$$

Ступень селективности ΔT рекомендуется принимать 0,5с если согласование выполняется с электромеханическими защитами или на защищаемых присоединениях используются масляные выключатели старых типов. При согласовании с цифровыми защитами и при использовании современных вакуумных выключателей с временем отключения не более 0,1с ступень селективности может быть уменьшена до 0,25-0,3с.

2.2.2.5. Если линия работает в режиме двустороннего питания, то для второй ступени ДЗ должна быть введена работа по дополнительной зоне, охватывающей начало координат и предназначенной для отключения КЗ на шинах «За спиной» при питании от источника с противоположного конца линии. Сопротивление срабатывания ненаправленной дополнительной зоны $Z_{сз доп}$ должно быть отстроено от сопротивления срабатывания первой ступени защиты своей линии и первых ступеней защит всех присоединений секции шин, к которой подключена защищаемая линия, в соответствии с выражением

$$Z_{сз доп} \leq 0,85Z_{сз1}, \quad (2.10)$$

где $Z_{сз1}$ – сопротивление срабатывания первых ступеней дистанционных защит, от которых выполняется отстройка, или сопротивление от места установки защиты до точки сети, в которой ток трехфазного КЗ равняется току срабатывания защиты для токовых защит.

Если для второй ступени введена дополнительная зона, то необходимо также проверить отстройку второй ступени по времени от времен действия первых ступеней тех защит, от которых выполнялась отстройка по сопротивлению срабатывания дополнительной зоны.

Отстройка дополнительной зоны второй ступени ДЗ по сопротивлению от указанных первых ступеней защит и ее работа с временем срабатывания второй ступени, отстроенным от времен действия этих первых ступеней, обеспечивает ее срабатывание при питании с противоположного конца линии только если точка КЗ располагается на шинах или в мертвой зоне между трансформаторами тока защищаемой линии и трансформаторами тока тех присоединений, от первых ступеней защит которых выполнена отстройка.

Примечание 1: Если при работе второй ступени дистанционной защиты КЗ сопровождается просадкой рабочих напряжений ниже уровня, при котором обеспечивается измерение углов между токами и напряжениями, и уставка по времени ступени не более 0,5 с, то ступень автоматически обрабатывает по памяти.

Примечание 2: Вторую ступень, при условии, что она обеспечивает чувствительность к КЗ всех видов (в т.ч. через $R_{пер}$) по всей длине линии, рекомендуется использовать в качестве автоматически ускоряемой ступени при АПВ и ручном включении.

2.3. Третья ступень

2.3.1. Требования к третьей ступени

Отключения КЗ всех видов с $K_{ч} \geq 1.5$ на своей линии.

Работа через $R_{пер}$ при КЗ на своей линии, особенно если это не удалось обеспечить для второй ступени.

Обеспечение селективности действия при КЗ за пределами линии за счет отстройки по времени и чувствительности от вторых ступеней предыдущих защит.

Обеспечение дальнего резервирования действия защит смежных элементов сети (предыдущего участка линии, трансформатора на подстанции в конце защищаемой линии) – по возможности.

Отстройка от параметров нагрузки.

2.3.2. Выбор уставок третьей ступени

2.3.2.1. Выбор уставки по сопротивлению $Z_{сзЗ}$ выполняется в первую очередь по условию отстройки по чувствительности от ступеней предыдущих защит. При этом отстройка выполняется так же как при расчете уставок вторых ступеней по пункту 2.2.2.3, но обычно с использованием параметров не первых, а вторых ступеней предыдущих защит.

А именно:

Для согласования третьей ступени по чувствительности с предыдущими защитами находят точку сети, сопротивление при КЗ в которой соответствует порогу срабатывания ступени предыдущей дистанционной защиты или ток трехфазного КЗ в которой, соответствует току срабатывания ступени предыдущей токовой защиты. В качестве ступени предыдущей защиты (с которой выполняется согласование) принимают ступень, время действия которой, меньше времени действия согласуемой ступени. Обычно для третьей ступени такой является вторая ступень предыдущей защиты. Для выполнения условия согласования сопротивление Z от точки установки рассчитываемой ступени ДЗ до найденной точки сети должно соответствовать требованию

$$Z_{сз3} \leq 0,85Z. \quad (2.11)$$

2.3.2.2. Для отстройки третьей ступени ДЗ от параметров нагрузки рекомендуется для нее вводить специальную функцию отстройки от нагрузки, выбор параметров срабатывания которой рассмотрен в пункте 3.2.

2.3.2.3. Коэффициент чувствительности третьей ступени

$$k_{ч3} = Z_{сз2} / Z_{л\text{ рас}}. \quad (2.12)$$

Здесь $Z_{л\text{ рас}}$ определяется с учетом переходного сопротивления в соответствии с выражением (2.6). Обращаем внимание, что переходное сопротивление для разных ступеней защиты может быть разным, так как оно зависит от сопротивления дуги, а длина дуги кроме прочего зависит от времени ее существования, поскольку дуга может вытягиваться ветром.

Коэффициент чувствительности третьей ступени $k_{ч3}$ должен быть не меньше 1,5.

2.3.2.4. Проверка выполнения дальнего резервирования осуществляется путем сравнения сопротивления срабатывания $Z3$ с сопротивлением $Z_{др}$ от места установки защиты до точки сети, определяющей конец зоны резервирования (конец предыдущего участка линии, шины низшего напряжения подстанции). Коэффициент чувствительности при дальнем резервировании

$$k_{ч\text{ др}} = Z_{сз3} / Z_{др}. \quad (2.13)$$

должен быть не менее 1,2.

2.3.2.4. Время срабатывания третьей ступени $T3$ выбирается по условиям отстройки от времени действия вторых ступеней предыдущих защит $T2_{пр}$

$$T3 = T2_{пр} + \Delta T, \quad (2.14)$$

2.3.2.5. Для третьей ступени ДЗ рекомендуется вводить автоматическое ускорение при включении выключателя.

2.4. Четвертая ступень

Четвертая ступень дистанционной защиты может использоваться, если при конкретных характеристиках защищаемой сети первыми тремя ступенями не удастся обеспечить выполнение всех требований к указанным ступеням. Выбор уставок четвертой ступени по отношению к уставкам третьих ступеней своей и предыдущих защит выполняется по тем же правилам, по которым выполняется выбор уставок третьей ступени по отношению к уставкам вторых ступеней.

2.5. Выбор уставки по току срабатывания ступеней ДЗ при их переводе в МТЗ в результате неисправности цепей напряжения

Работа дистанционной защиты при потере или неисправности цепей напряжения невозможна. В устройстве РС83-ВС выявление неисправности цепей напряжения

осуществляется специальной функцией блокировки при неисправности цепей напряжения (БНН), которая автоматически переводит дистанционные ступени в максимально-токовые с отдельными уставками по току.

Для совпадения зон срабатывания ступеней ДЗ и МТЗ, в которую переводится ДЗ, уставку по току следует выбирать при металлических КЗ в конце зоны действия соответствующей ступени дистанционной защиты. Кроме того, для того, чтобы ступень МТЗ после перевода так же как исходная ступень ДЗ имела одинаковую чувствительность при двухфазных и трехфазных КЗ, работу ступени МТЗ рекомендуется назначать по линейным токам. Если исходная ступень ДЗ была назначена и на работу по петле «Фаза ноль», то обеспечение необходимой чувствительности после потери цепей напряжения в режиме двойного замыкания на землю на разных линиях должно осуществляться отдельной ступенью ТЗНП в соответствии с пунктами 4.2-4.5. Расчетным режимом является режим трехфазного КЗ. Ток срабатывания 1 (2, 3, 4) ступени ДЗ после перевода в МТЗ $I_{сз1(2,3,4)}$

$$I_{сз1(2,3,4)} = \sqrt{3} I_{кз}^{(3)}, \quad (2.15)$$

где $I_{сз1(2,3,4)}$ - фазный ток при 3-ф металлическом КЗ в конце зоны чувствительности 1(2,3,4) ступени ДЗ.

Время срабатывания ступени ДЗ после перевода в МТЗ можно оставить без изменения.

Альтернативой предложенной методике выбора уставок ступеней ДЗ после их перевода в МТЗ при БНН может быть полный расчет уставок ступеней как МТЗ.

3. Определение уставок вспомогательных функций и дополнительных величин, используемых при расчетах уставок дистанционных защит

3.1. Коэффициент компенсации фазного тока током нулевой последовательности

Для правильной работы при двойных замыканиях на землю на разных линиях ступени ДЗ, назначенной кроме прочего на работу по петле «Фаза ноль», должен быть задан коэффициент компенсации фазного тока током нулевой последовательности **К**. Коэффициент **К** определяется соотношением сопротивлений нулевой **Z₀** и прямой **Z₁** последовательности

$$K = (Z_0 - Z_1) / Z_1 \quad (3.1)$$

В общем случае для каждой ступени коэффициент **К** следовало бы определять сопротивлениями нулевой и прямой последовательности до точки, соответствующей срабатыванию ступени. Однако, если нет других соображений, рекомендуется использовать для всех ступеней тот же коэффициент компенсации, что и для первой ступени. Указанное обуславливается тем, что следует отдавать приоритет в части обеспечения точности замеров измерительных органов применительно к КЗ на своей линии. Расчет коэффициентов компенсации по условиям выбора уставок ступеней дальнего резервирования вообще не однозначен, ввиду различия параметров по разным

присоединениям и поэтому обеспечить оптимальный коэффициент компенсации для них крайне затруднительно.

3.2. Параметры функции отстройки от нагрузки

Функция отстройки от нагрузки, образует „вырез“ в характеристике ступени дистанционной защиты, который определяется параметрами Z_n и ϕ_n - общими для всех ступеней. Уставка по сопротивлению выреза нагрузки, определяет область, в которой располагаются замеры сопротивлений возможных нагрузочных режимов. При попадании замера сопротивления в эту область блокируется действие ступени ДЗ, для которой функция выреза от нагрузки включена. Уставку по сопротивлению можно определить в соответствии с выражением:

$$Z_n = 0,85 U_{\min} / \sqrt{3} I_{n \max}, \quad (3.2)$$

где:

- U_{\min} – действующее значение минимального междуфазного рабочего напряжения в кВ;
- $I_{n \max}$ – действующее значение максимального нагрузочного тока линии в кА;

Уставка по углу нагрузки равна:

$$\phi_n = \phi_{n \max} + 5^\circ, \quad (3.3)$$

где - $\phi_{n \max}$ – максимально возможный угол полного сопротивления нагрузки.

3.3. Определение переходных сопротивлений

3.3.1. При междуфазных КЗ переходное сопротивление принимается равным половине сопротивления дуги

$$R_{\text{пер}} = 0,5 R_d \quad (3.4)$$

Сопротивление дуги может быть рассчитано в соответствии с выражением

$$R_d = 1050 \epsilon_d / I, \quad (3.4)$$

где:

- ϵ_d – длина дуги, м;
- I – ток КЗ в конце зоны защиты рассматриваемой ступени, А.

Длина дуги ϵ_d с учетом ее вытягивания ветром за время действия ступени защиты для разных ступеней принимается:

- для первой ступени (без выдержки времени) – равной расстоянию между фазами;
- для второй ступени – равной 3-5 расстояний между фазами;
- для третьей ступени – равной 7-10 расстояний между фазами.

При этом большие значения принимаются для регионов с большей скоростью ветра.

3.3.2. При двойных замыканиях на землю на разных линиях значение переходного сопротивления следует принимать равным сопротивлению заземления опоры. При отсутствии конкретных данных по значению сопротивления заземления опор на защищаемой линии, может быть принято максимально допустимое значение сопротивления в соответствии с требованиями ПУЭ – для линий 35кВ – **10 Ом**.

3.4. Определение уставок блокировки при неисправности цепей напряжения (БНН)

Функция БНН может работать по четырем алгоритмам, а именно:

- контроль цепей напряжения сумме напряжений (по схеме треугольник-звезда);
- контроль по составляющим прямой последовательности;
- контроль по составляющим обратной последовательности;
- контроль с внешним пуском по назначенному дискретному входу.

3.4.1. Уставку по напряжению небаланса в алгоритме по схеме треугольник-звезда рекомендуется принимать **10 В**.

3.4.2. Контроль по составляющим прямой последовательности предназначен для выявления повреждения цепей напряжения с полным исчезновением напряжения в трех фазах (например, отключение автомата или обрыв контрольного кабеля). При работе по составляющим прямой последовательности, устройство контролирует соотношение напряжения и тока прямой последовательности. Если напряжение прямой последовательности ниже уставки по напряжению и при этом ток прямой последовательности больше уставки по току нижней границы и меньше уставки по току верхней границы, то БНН сработает по прямой последовательности.

Уставку по напряжению прямой последовательности по условиям отстройки от наводок, если отсутствуют другие соображения, рекомендуется принимать 5В.

Уставка по току нижней границы I_{1min} - уровень тока для обнаружения обесточенного состояния ВЛ, должна быть отстроена от наведенных токов на отключенной линии:

$$I_{1min} \geq k_{отс} \cdot I_{нв}, \quad (3.5)$$

где $k_{отс} = 1,2$ – коэффициент отстройки;

$I_{нв}$ – суммарный наведенный ток на отключенной линии.

Рекомендуется данную уставку принять – $I_{1min} = 0,1 I_{ном}$.

Уставка по току верхней границы I_{1max} должна с запасом превышать ток нагрузки I_n :

$$I_{1max} = k_з \cdot I_n, \quad (3.6)$$

где: $k_з$ – коэффициент запаса, $k_з = 1,1-1,2$.

При этом, для исключения работы блокировки при трехфазном КЗ, ток I_{1max} должен быть меньше тока трехфазного КЗ в начале линии в минимальном режиме.

3.4.3. Контроль по составляющим обратной последовательности основан на появлении напряжения обратной последовательности при отсутствии тока обратной последовательности.

Уставка по напряжению обратной последовательности должна быть отстроена от небаланса фильтра напряжений обратной последовательности и естественной несимметрии напряжений. Обычно для этого с запасом достаточно принять уставку по

$$U_2 = (0,05-0,1) U_{ном}. \quad (3.7)$$

Уставка по току обратной последовательности I_2 должна быть отстроена от несимметрии токов нагрузки:

$$I_2 = k_з \cdot I_{2нб}, \quad (3.8)$$

где: $k_з$ – коэффициент запаса, $k_з = 1,5-3$;

$I_{2нб}$ – ток обратной последовательности, обусловленный несимметрией нагрузки.

Ток $I_{2н6}$ определяется через максимальный ток нагрузки $I_{н\ max}$ согласно выражения:

$$I_{2н6}=0,1I_{н\ max} \quad (3.9)$$

При этом для исключения работы блокировки при несимметричных КЗ уставка по току обратной последовательности должна быть меньше минимального тока обратной последовательности при любом несимметричном КЗ.

3.4.4. Для выявления отключения автомата ТН в устройстве предусмотрен алгоритм БНН с внешним пуском по одному из дискретных входов. Контроль с внешним пуском по назначенному дискретному входу предполагает сопоставление факта просадки любого из контролируемых междуфазных напряжений ниже $0,7U_n$ и наличия сигнала внешнего пуска ЗОЦН на назначенном для этой цели дискретном входе. Алгоритм не требует задания уставок.

4.Выбор уставок защиты от двойных замыканий на землю

4.1. Способы реализации защиты от двойных замыканий на землю для сети 35кВ с малыми токами замыкания на землю

На двойные замыкания на землю на одной линии успешно реагирует ступень ДЗ, назначенная на работу по петле «Фаза фаза». На двойные замыкания на землю на разных линиях с тем же успехом реагирует ступень ДЗ, назначенная на работу по петле «Фаза ноль». Выбор уставок ДЗ для защиты от двойных замыканий на землю при соответствующем учете переходных сопротивлений и правильном выборе коэффициентов компенсации не отличается от уже описанного для междуфазных КЗ. Поэтому ступень ДЗ, выбранная по условиям работы при междуфазных КЗ и назначенная на работу по петле «Фаза-фаза-ноль», обеспечивает работу при двойных замыканиях на землю так же как при междуфазных КЗ. Но учитывая характерное для двойных замыканий на землю повышенное переходное сопротивление в двух точках повреждения, более эффективным для защиты от таких повреждений может оказаться использование защит, реагирующих на симметричные составляющие тока КЗ.

При двойных замыканиях на землю на одной линии более чувствительной часто оказывается токовая защита обратной последовательности (ТЗОП). Выбор уставок этого вида защиты выполняется по отдельной методике (л.5).

При двойных замыканиях на землю на разных линиях, режимы на каждой из поврежденных линий сопровождаются появлением составляющей нулевой последовательности тока КЗ, аналогично однофазному КЗ в сети с большими токами замыкания на землю. В таком режиме более эффективным может оказаться использование токовой защиты нулевой последовательности (ТЗНП), как это принято при однофазных КЗ в сети с большими токами замыкания на землю. Выбор уставок ТЗНП при ее использовании в качестве защиты от таких повреждений рассмотрен ниже. При этом используемые ступени ТЗНП должны назначаться на работу по расчетному току нулевой последовательности $3I_0p$ (диапазон вторичных токов срабатывания 0,1-125А). При формулировании условий выбора уставок защиты от двойных замыканий на землю на разных линиях в сети 35кВ с малыми

токами замыкания на землю использованы рекомендации по выбору уставок ТЗНП как защиты от однофазных КЗ в сети с большими токами замыкания на землю (л.6). При этом учтены особенности сетей 35кВ и их режимов.

Чувствительность ступеней ТЗНП при двойных замыканиях на землю на разных линиях может оказаться примерно такой же, как соответствующих ступеней ДЗ, работающих по петле «Фаза ноль». В этом случае на усмотрение пользователя может быть применен один из двух вариантов выполнения защит от КЗ с использованием устройства РС830-ВС:

1. Назначение ступеней ДЗ на работу по контурам «Фаза-фаза-ноль» без использования соответствующих ступеней ТЗНП;

2. Назначение ступеней ДЗ на работу по петле «Фаза-фаза» и использование дополнительно ступеней ТЗНП, соответствующих каждой из ступеней ДЗ, для работы при двойных замыканиях на землю на разных линиях.

В любом из принятых вариантов для повышения чувствительности всего комплекса защит при двойных замыканиях на землю на разных линиях целесообразно применить еще одну – последнюю – ступень ТЗНП, уставки которой выбираются по условиям отстройки по чувствительности и времени от последних (наиболее чувствительных) ступеней предыдущих защит. Причем отстройка этой ступени выполняется только от предыдущих защит, по принципу устройства реагирующих на двойные замыкания на землю на разных линиях (когда током КЗ обтекается одна фаза).

Ниже приводятся рекомендации по выбору уставок ступеней ТЗНП по расчетному току $3I_{Op}$, для их использования в качестве защиты от двойных замыканий на землю одновременно с каждой из ступеней ДЗ. Но с учетом имеющегося количества свободных ступеней нулевой последовательности после выделения их необходимого количества для работы по измеренному току $3I_{0и}$ при однофазных замыканиях на землю, для работы при двойных замыканиях на землю можно использовать ТЗНП по расчетному току $3I_{Op}$ только совместно с последними ступенями ДЗ. Обычно получается, что первые несколько ступеней ДЗ следует назначать на работу по петле «Фаза-фаза-ноль» без использования вместе с ними ступеней ТЗНП, а последние можно назначать на работу по петле «Фаза-фаза» с одновременным назначением для работы при двойных замыканиях на землю отдельных ступеней ТЗНП по $3I_{Op}$.

4.2. Выбор уставок по направленности ступеней ТЗНП

Угол максимальной чувствительности ступеней ТЗНП, используемых в качестве защиты от двойных замыканий на землю и направленных вперед, рекомендуется принимать 65° . Ширину зоны срабатывания рекомендуется принимать 170° . Гистерезис по углу рекомендуется принимать 5° .

4.3. Выбор уставок ступени ТЗНП для работы с первой ступенью ДЗ

4.2.1. Рассматриваемая ступень ТЗНП должна использоваться, если для первой ступени ДЗ не назначена работа по петле «Фаза ноль», иначе ее использование не обязательно.

4.2.2. Время срабатывания этой (условно первой) ступени ТЗНП рекомендуется принимать равным нулю или минимально отличным от нуля (не более 0,1с). При этом для обеспечения селективности ток срабатывания ступени должен выбираться по условию отстройки от

максимального тока двойного замыкания на землю при расположении одной точки КЗ в конце защищаемой линии, а второй на питающих шинах

$$3I_{0cp1} \geq 1.2 I_{дзнз \max}, \quad (4.1)$$

где $I_{дзнз \max}$ – максимальный ток двойного замыкания на землю при одной точке замыкания в конце защищаемой линии, а второй – за спиной, за пределами линии (на шинах питающей подстанции).

4.2.3. Коэффициент чувствительности $K_{ч1}$ ступени ТЗНП должен определяться при токе $I_{дзнз}$ для случая расположения одной точки КЗ в начале защищаемой линии и наиболее благоприятных по условиям чувствительности условиях

$$K_{ч1} = I_{дзнз} / 3I_{0cp1}. \quad (4.2)$$

Значение коэффициента чувствительности согласно требований ПУЭ должно быть $K_{ч1} \geq 1.2$.

4.3. Выбор уставок ступени ТЗНП для работы со второй ступенью ДЗ

4.3.1. Рассматриваемая ступень ТЗНП должна использоваться, если для второй ступени ДЗ не назначена работа по петле «Фаза ноль», иначе ее использование не обязательно.

4.3.2. Выбор уставки по току этой (условно второй) ступени ТЗНП выполняется по условию согласования с предыдущими защитами, которые по принципу устройства реагируют на режим двойного замыкания на землю на разных линиях (при котором током КЗ обтекается только одна фаза защищаемой линии). К таким предыдущим защитами относятся ступени токовых защит или ступени ДЗ, работающие по петле «Фаза ноль». Если среди комплекта предыдущих защит имеются ТЗНП, то условия согласования обычно достаточно проверять только по отношению к этим защитами, как более чувствительным.

Для согласования этой ступени по чувствительности с предыдущими защитами находят точку сети, сопротивление при КЗ в которой соответствует порогу срабатывания ступени предыдущей дистанционной защиты или ток КЗ в которой, соответствует току срабатывания ступени предыдущей токовой защиты (ТЗНП или МТЗ) при расположении одной точки двойного замыкания на землю в указанной точке. В качестве ступени предыдущей защиты (с которой выполняется согласование) принимают ступень, время действия которой, меньше или равно времени действия согласуемой ступени. Обычно для второй ступени такой является первая ступень предыдущей защиты. Для выполнения условия согласования ток срабатывания рассматриваемой ступени ТЗНП $3I_{0cp2}$ должен с необходимым запасом превышать ток двойного замыкания на землю в найденной точки сети в максимальном режиме $I_{дзнз \max \text{ пред}}$ или ток срабатывания предыдущей ТЗНП при ее наличии

$$3I_{0cp2} \geq 1.2 I_{дзнз \max \text{ пред}} \quad (4.3)$$

4.3.3. Коэффициент чувствительности $K_{ч2}$ этой ступени ТЗНП должен определяться при токе $I_{дзнз}$ для случая расположения одной точки КЗ в конце защищаемой линии и работе через переходное сопротивление, определяемое в соответствии с пунктом 3.3.2.

$$K_{ч2} = I_{дзнз} / 3I_{0ср2}. \quad (4.4)$$

Значение коэффициента чувствительности должно быть $K_{ч2} \geq 1.2$.

4.3.4. Время срабатывания этой ступени ТЗНП T_2 выбирается по условиям отстройки на ступень селективности ΔT от времени действия первых ступеней предыдущих защит $T_{1пр}$

$$T_2 = T_{1пр} + \Delta T, \quad (4.5)$$

Степень селективности ΔT рекомендуется принимать 0,5с если согласование выполняется с электромеханическими защитами или на защищаемых присоединениях используются масляные выключатели старых типов. При согласовании с цифровыми защитами и при использовании современных вакуумных выключателей с временем отключения не более 0,1с степень селективности может быть уменьшена до 0,25-0,3с.

4.4. Выбор уставок ступени ТЗНП для работы с третьей ступенью ДЗ

4.4.1. Рассматриваемая ступень ТЗНП должна использоваться, если для третьей ступени ДЗ не назначена работа по петле «Фаза ноль», иначе ее использование не обязательно.

4.4.2. Уставка по току этой (условно третьей) ступени ТЗНП выбирается по условию согласования по чувствительности с предыдущими защитами и условию отстройки от небаланса при внешних междуфазных КЗ.

4.4.3. Выбор тока срабатывания этой ступени $3I_{0ср3}$ по условию согласования по чувствительности с предыдущими защитами выполняется так же как для второй ступени в соответствии с пунктом 4.3.2. При этом защитами, с которыми выполняется согласование, обычно оказываются вторые ступени предыдущих защит

$$3I_{0ср3} \geq 1.2 I_{дзнз} \max \text{ пред} \quad (4.6)$$

4.4.4. Выбор тока срабатывания этой ступени по условию отстройки от небаланса при внешних междуфазных КЗ выполняется при трехфазных КЗ в зоне действия предыдущих защит с временем срабатывания больше или равным времени срабатывания согласуемой ступени.

$$3I_{0ср3} \geq 0,1 I_{кз} \max, \quad (4.7)$$

где $I_{кз} \max$ – максимальный ток КЗ в зоне действия указанных предыдущих защит.

Выбор значения коэффициента 0,1 обусловлен отстройкой от небаланса, вызванного максимальной допустимой погрешностью трансформаторов тока (10%).

4.4.5. Коэффициент чувствительности $K_{чЗ}$ этой ступени ТЗНП должен определяться при КЗ в конце защищаемой линии и КЗ в конце зоны дальнего резервирования с учетом переходного сопротивление, определяемого в соответствии с пунктом 3.3.2.

$$K_{чЗ} = I_{дзнз} / 3I_{0срЗ}. \quad (4.8)$$

Значение коэффициента чувствительности при КЗ в конце защищаемой линии должно быть $K_{чЗ} \geq 1,5$, а при КЗ в зоне дальнего резервирования (в конце предыдущей линии) $K_{чЗ} \geq 1,2$.

4.4.6. Время срабатывания ступени ТЗНП $TЗ$ выбирается по условиям отстройки на ступень селективности ΔT от времени действия вторых ступеней предыдущих защит $T2пр$

$$TЗ = T2пр + \Delta T. \quad (4.9)$$

Ступень селективности ΔT принимается так же как по пункту 4.3.4.

4.4.7. Для третьей ступени ТЗНП рекомендуется вводить автоматическое ускорение при включении выключателя.

4.5. Выбор уставок ступени ТЗНП для работы с четвертой ступенью ДЗ

Рассматриваемая ступень ТЗНП может использоваться, если используется четвертая ступень ДЗ по петле «Фаза-фаза» и при конкретных характеристиках защищаемой сети предыдущими ступенями ТЗНП не обеспечивается выполнение всех требований к указанным ступеням. Выбор уставок этой (условно четвертой) ступени по отношению к уставкам третьих ступеней выполняется по тем же правилам, по которым выполняется выбор уставок третьей ступени по отношению к уставкам вторых ступеней. При этом для защиты от двойных замыканий на землю одновременно с первыми несколькими ступенями ДЗ, обычно защиты нулевой последовательности не используются.

4.6. Выбор уставок дополнительной (последней) ступени ТЗНП, предназначенной для повышения чувствительности комплекса защит при двойных замыканиях на землю

Дополнительную ступень ТЗНП для защиты от двойных замыканий на землю с целью повышения чувствительности целесообразно использовать в связи с тем, что для указанного вида повреждения характерно повышенное переходное сопротивление в двух точках замыкания на землю. Повышенная чувствительность достигается за счет отстройки от последних (самых чувствительных), а не от предпоследних ступеней предыдущих защит. При этом для обеспечения селективности отстройка по времени также выполняется от последних (самых медленных) ступеней предыдущих защит. В результате время действия указанной ступени оказывается больше времени действия всех других защит, что является необходимой платой за повышение чувствительности.

4.6.1. Уставки по току и времени ступени выбираются по условиям согласования с последними (самыми чувствительными) ступенями предыдущих защит. Повышенная чувствительность ступени позволяет работать через большее переходное сопротивление, что особенно важно для защиты от двойных замыканий на землю.

4.6.2. Уставка по току ступени по условию согласования с предыдущими защитами выбирается аналогично второй ступени по пункту 4.3.2, но по отношению к току срабатывания последних (самых чувствительных) ступеней предыдущих защит **$I_{дзнз\ max\ пос\ пред}$**

$$3I_{0ср} \geq 1.2 I_{дзнз\ max\ пос\ пред} \quad (4.10)$$

4.6.3. Так как ступень отстроена по времени от работы всех предыдущих защит, то отстройку от небаланса для нее следует проверять не при токе КЗ, а при максимальном токе нагрузки

$$3I_{0ср} \geq 0,1 I_{н\ max} , \quad (4.11)$$

где **$I_{н\ max}$** – максимальный ток нагрузки.

4.6.4. Время срабатывания последней ступени ТЗНП **$T_{пос}$** выбирается по условиям отстройки на ступень селективности **ΔT** от времени действия всех ступеней предыдущих защит **$T_{пр\ max}$**

$$T_{пос} = T_{пр\ max} + \Delta T. \quad (4.12)$$

Ступень селективности **ΔT** принимается так же как по пункту 4.3.4.

4.6.5. За счет облегченных условий выбора тока срабатывания последней ступени, ее коэффициент чувствительности во всех режимах оказывается выше, чем у других ступеней. Его следует определять так же как в пункте 4.4.5 в конце защищаемой линии, в конце зоны дальнего резервирования и при работе через переходное сопротивление. Причем определение коэффициента чувствительности для последней ступени ТЗНП выполняется не для проверки выполнения требований по чувствительности к ступени, а только для оценки общей эффективности ее работы.

Приложение. Примеры выбора уставок

П1. Выбор уставок дистанционной защиты

Рассчитать уставки ступеней дистанционной защиты 1 в голове линии 35кВ, выполненной по схеме в соответствии с рис.П1.

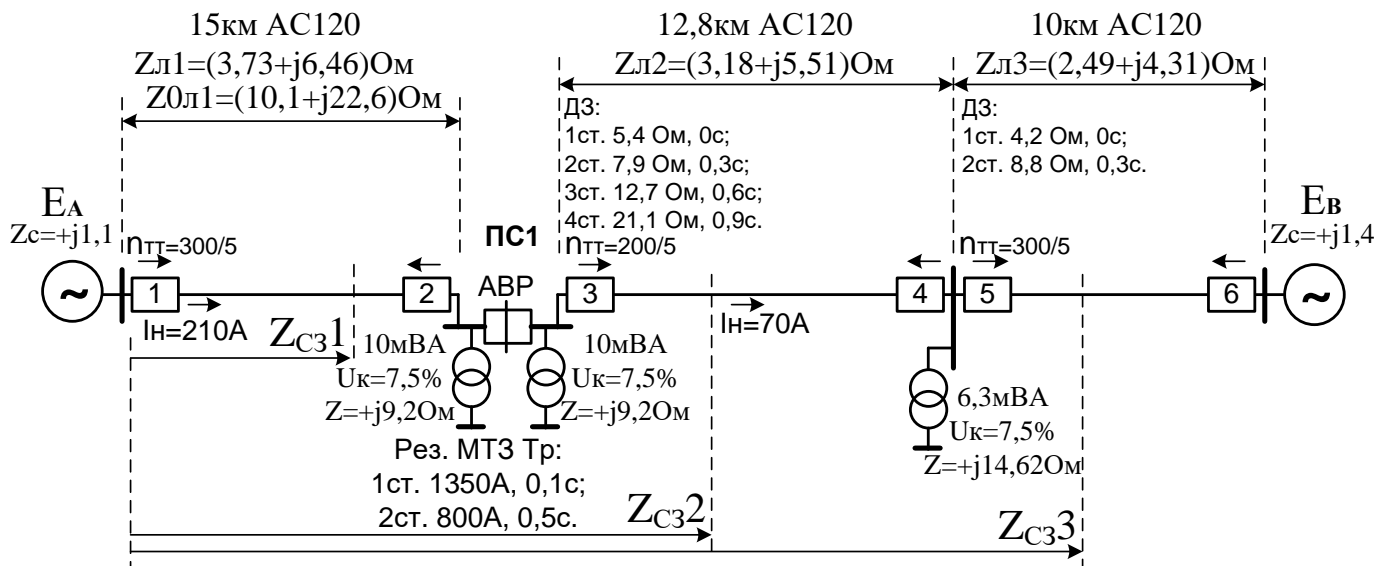


Рис. П1

Комплекс защит 35кВ ПС1 может быть выполнен так, что при пуске предыдущих защит в своем направлении блокируются последующие защиты в этом направлении с целью исключения накопления выдержек времени. При этом защиты на секционном выключателе с АВР в каждом направлении могут иметь такие же уставки, как защиты 2 и 3 на соответствующих выключателях линий. Это позволяет при выборе параметров срабатывания дистанционных защит линий 1 и 2 не рассматривать защиты секционного выключателя, так как выбор их уставок не относится к специфике выбора уставок дистанционных защит линий 35кВ.

П1.1. Выбор общих параметров срабатывания ступеней ДЗ

Выбор уставок защит выполняется для худшего режима, когда секционный выключатель с АВР на ПС1 включен и отключен выключатель в конце линии у источника В. При этом учитывается, что режим питания линий может автоматически измениться в результате отключения источника А и последующей работы АВР на ПС1.

П.1.1.1. Параметры направленности ступеней ДЗ

В соответствии с рекомендациями методических указаний для всех ступеней ДЗ принимаем значение угла максимальной чувствительности $\varphi_{мч}=50^\circ$, значение ширины зоны $\varphi_{зоны}=110^\circ$ (для характеристики в виде сектора круга) или коэффициент сжатия эллипса **1** (для эллиптической характеристики, сжатие отсутствует). Вид характеристики рекомендуется принять такой же, как у предыдущих и (или) последующих защит, что обеспечивает более точное согласование с ними.

П.1.1.2. Выбор коэффициента компенсации фазного тока током нулевой последовательности ступеней ДЗ

В соответствии с рекомендациями коэффициент компенсации K , общий для всех ступеней ДЗ, принимаем по сопротивлениям прямой Z_1 и нулевой Z_0 последовательности первого участка линии

$$K = \frac{(Z_0 - Z_1)}{Z_1} = \frac{(10,1 + j22,6 - 3,73 - j6,46)}{(3,73 + j6,46)} = \frac{(6,37 + j16,14)}{(3,73 + j6,46)} = \\ = 17,35e^{j68^\circ} / 7,46e^{j60^\circ} = 2,33e^{j8^\circ} = 2,3 + j0,32.$$

П1.2. Первая ступень ДЗ

П1.2.1. Выбор уставки по сопротивлению $Z_{сз1}$ производится по условию отстройки действия защиты от всех видов КЗ за пределами линии (месте установки предыдущих защит) и охвата 85% полного сопротивления линии Z_L :

$$Z_{сз1} = 0,85Z_L = 0,85(3,73 + j6,46) = 3,17 + j5,49; \\ Z_{сз1} = \sqrt{(3,17^2 + 5,49^2)} = 6,34 \text{ Ом.}$$

П1.2.2. Время срабатывания первой ступени T_1 принимаем равным нулю:

$$T_1 = 0.$$

П1.2.3. Действие первой ступени назначим по петлям «Фаза-фаза-ноль» для работы при междуфазных КЗ и двойных замыканиях на землю на разных линиях.

П1.3. Вторая ступень ДЗ

П1.3.1. Выбор уставки по сопротивлению по условию отстройки от КЗ на шинах низшего напряжения подстанции, расположенной в конце защищаемой линии, выполняется в соответствии с выражением

$$Z_{сз2} \leq 0,85Z_{пс}$$

Сопротивление $Z_{пс}$ от места установки защиты до шин низшего напряжения подстанции

$$Z_{пс} = 3,73 + j6,46 + j9,2 = 3,73 + j15,66; \\ Z_{пс} = \sqrt{(3,73^2 + 15,66^2)} = 16,1 \text{ Ом}; \\ Z_{сз2} \leq 0,85 \times 16,1 = 13,68 \text{ Ом.}$$

П1.3.2. Для согласования второй ступени по чувствительности с предыдущими защитами находят точку сети, сопротивление при КЗ в которой соответствует порогу срабатывания ступени предыдущей дистанционной защиты или ток трехфазного КЗ в которой, соответствует току срабатывания ступени предыдущей токовой защиты. В качестве ступени предыдущей защиты (с которой выполняется согласование) принимают ступень, время действия которой, меньше времени действия согласуемой ступени. Обычно для второй ступени такой является первая ступень предыдущей защиты.

Сопротивление срабатывания 1ст. предыдущей дистанционной защиты 3 (см рис.) величиной 3,81 Ом делится на составляющие (активная и реактивная) так же как защищаемая предыдущая линия Л2. С учетом модуля полного сопротивления линии

$$Z_{л2} = \sqrt{(3,18^2 + 5,51^2)} = 6,36 \text{ Ом}$$

комплекс сопротивления линии Л2 до точки срабатывания ее первой ступени составит

$$5,4 \times 3,18 / 6,36 + 15,4 \times 5,51 / 6,36 = 2,7 + 14,68.$$

Сопротивление Z от точки установки защиты 1 до указанной точки линии, при КЗ в которой срабатывает первая ступень предыдущей ДЗ, составит

$$Z = 3,73 + 16,46 + 2,7 + 14,68 = 6,43 + 11,14;$$

$$Z = \sqrt{6,43^2 + 11,14^2} = 12,86 \text{ Ом}$$

Для выполнения условия согласования

$$Z_{сз2} \leq 0,85Z = 0,85 \times 12,86 = 10,93 \text{ Ом}.$$

Ток срабатывания резервной защиты трансформатора ПС1, которая также является предыдущей по отношению к рассчитываемой дистанционной защите 1, составляет 1350А.

Полное сопротивление петли КЗ, соответствующее этому току срабатывания при трехфазном КЗ составит

$$Z = U_n / \sqrt{3} I_{ср} = 35000 / \sqrt{3} \times 1350 = 14,97 \text{ Ом}.$$

Условие согласования

$$Z_{сз2} \leq 0,85Z = 0,85 \times 14,97 = 12,70 \text{ Ом}.$$

П1.3.3. Принимаем в качестве сопротивления срабатывания 2 ст. худшее из полученных условий согласования и отстройки от КЗ на шинах низшего напряжения подстанции

$$Z_{сз2} = 10,93 \text{ Ом}.$$

П1.3.4. Проверяем полученное значение сопротивления срабатывания второй ступени по условию обеспечения чувствительности при КЗ в конце линии через переходное сопротивление дуги.

Ток в дуге при КЗ в конце зоны защиты

$$I = U_n / \sqrt{3} Z_{сз2} = 35000 / \sqrt{3} \times 10,93 = 1849 \text{ А}.$$

Длину дуги для второй ступени (3-5 расстояний между фазами) при расстоянии между фазами 1,4м принимаем $\epsilon_d = 4,2$ м. Минимальное из рекомендованных значений длины дуги при работе второй ступени принято потому, что выдержка времени второй ступени имеет достаточно малое значение (0,3с), что снижает выдувание дуги ветром.

Сопротивление дуги $R_d = 1050 \epsilon_d / I = 1050 \times 4,2 / 1849 = 2,38 \text{ Ом}.$

Переходное сопротивление $R_n = 0,5 R_d = 1,19 \text{ Ом}.$

Расчетное сопротивление линии с учетом переходного сопротивления дуги

$$Z_{л \text{ РАС}} = \sqrt{X_l^2 + (R_l + R_{пер})^2} = \sqrt{6,46^2 + (3,73 + 1,19)^2} = 8,12 \text{ Ом}$$

Условие обеспечения необходимого коэффициента чувствительности $k_{ч} = 1,25$

$$Z_{сз2} \geq k_{ч} Z_{л \text{ РАС}} = 1,25 \times 8,12 = 10,15$$

$$10,93 > 10,15.$$

Условие выполняется.

П1.3.5. Время срабатывания второй ступени T_2 принимаем на ступень селективности больше времени действия первой ступени предыдущей защиты:

$$T2=0,3с.$$

П1.3.6. Действие второй степени назначим по петлям «Фаза-фаза-ноль» для работы при междуфазных КЗ и двойных замыканиях на землю на разных линиях.

П1.3.7. Для второй степени вводим автоматическое ускорение при ручном включении выключателя и после АПВ.

П1.4. Третья степень ДЗ

П.1.4.1. Выбор уставки по сопротивлению $Z_{сз3}$ по условию отстройки по чувствительности от ступеней предыдущих защит.

Для согласования третьей ступени по чувствительности с предыдущими защитами находят точку сети, сопротивление при КЗ в которой соответствует порогу срабатывания ступени предыдущей дистанционной защиты или ток трехфазного КЗ в которой, соответствует току срабатывания ступени предыдущей токовой защиты. В качестве ступени предыдущей защиты (с которой выполняется согласование) принимаем вторую степень защиты 3, время действия которой (0,3с), меньше времени действия согласуемой ступени. Для выполнения условия согласования сопротивление Z от точки установки рассчитываемой ступени ДЗ до найденной точки сети должно соответствовать требованию

$$Z_{сз3} \leq 0,85Z.$$

Сопротивление срабатывания 2ст. предыдущей дистанционной защиты 3 (см рис.) величиной 7,9Ом делится на составляющие (активная и реактивная) так же как защищаемая предыдущая линия Л2. С учетом модуля полного сопротивления линии

$$Z_{л2} = \sqrt{3,18^2 + 5,51^2} = 6,36 \text{ Ом},$$

комплекс сопротивления от места установки защиты 3 до точки срабатывания ее второй ступени составит

$$7,9 \times 3,18 / 6,36 + j 7,9 \times 5,51 / 6,36 = 3,95 + j 6,84.$$

При этом пренебрегают возможным различием соотношений активной и реактивной составляющей для линии 2 и линии 3, начало которой охватывает зона 2ст. защиты 3.

Сопротивление Z от точки установки защиты 1 до указанной точки линии, при КЗ в которой срабатывает вторая ступень предыдущей защиты 3, составит

$$Z = 3,73 + j 6,46 + 3,95 + j 6,84 = 7,68 + j 13,3;$$

$$Z = \sqrt{7,68^2 + 13,3^2} = 15,36 \text{ Ом}$$

Для выполнения условия согласования

$$Z_{сз3} \leq 0,85Z = 0,85 \times 15,36 = 13,06 \text{ Ом}.$$

П.1.4.2. Проверка условия отстройки от нагрузки.

Сопротивление нагрузки Z_n , от которого должна быть отстроено сопротивление срабатывания ступеней ДЗ

$$Z_H = 0,85U_{\text{мин}}/\sqrt{3}I_{\text{н макс}}$$

Принимая минимальное напряжение на 10% меньше номинального напряжения сети, получим

$$Z_H = 0,85 \times 0,9 \times 35000 / \sqrt{3} \times 210 = 73,6 \text{ Ом.}$$

Отстройка заведомо выполняется, вводить функцию отстройки от нагрузки нет необходимости.

П1.4.3. Принимаем сопротивление срабатывания 3 ст.

$$Z_{сз3} = 13,06 \text{ Ом.}$$

П1.4.4. Проверяем полученное значение сопротивления срабатывания третьей ступени по условию обеспечения чувствительности при КЗ в конце линии через переходное сопротивление дуги.

Ток в дуге при КЗ в конце зоны защиты

$$I = U_H / \sqrt{3} Z_{сз3} = 35000 / \sqrt{3} \times 13,06 = 1547 \text{ А.}$$

Длину дуги для второй ступени (7-10 расстояний между фазами) при расстоянии между фазами 1,4 м принимаем $\ell_d = 9,8$ м. Минимальное из рекомендованных значений длины дуги при работе второй ступени принято потому, что выдержка времени второй ступени имеет достаточно малое значение (0,3 с), что снижает выдувание дуги ветром.

Сопротивление дуги $R_d = 1050 \ell_d / I = 1050 \times 9,8 / 1547 = 6,65 \text{ Ом.}$

Переходное сопротивление $R_{п} = 0,5 R_d = 3,32 \text{ Ом.}$

Расчетное сопротивление линии с учетом переходного сопротивления дуги

$$Z_{л \text{ рас}} = \sqrt{X_{л}^2 + (R_{л} + R_{пер})^2} = \sqrt{6,46^2 + (3,73 + 3,32)^2} = 9,56 \text{ Ом}$$

Условие обеспечения необходимого коэффициента чувствительности $k_{ч} = 1,5$

$$Z_{сз3} \geq k_{ч} Z_{л \text{ рас}} = 1,5 \times 9,56 = 14,34$$

$$13,06 < 14,3$$

Необходимая чувствительность третьей ступени при КЗ в конце линии через переходное сопротивление с учетом вытягивания дуги за время действия 3 ст не обеспечивается.

Поэтому для обеспечения чувствительности дополнительно применим 4 ст.

П1.4.5. Проверку чувствительности третьей ступени при КЗ на шинах низшего напряжения подстанции, расположенной в конце защищаемой линии, не выполняем, так как предыдущее условие обеспечения чувствительности этой ступени не выполняется и для обеспечения необходимой чувствительности все равно должна вводиться дополнительная четвертая ступень.

П1.4.6. Время срабатывания третьей ступени T_3 принимаем на ступень селективности больше времени действия второй ступени предыдущей защиты:

$$T_3 = 0,6 \text{ с.}$$

П1.4.7. Действие третьей ступени назначим по петле «Фаза-фаза-ноль» для работы при междуфазных КЗ и двойных замыканиях на землю на разных линиях.

П1.5. Четвертая ступень ДЗ

П1.5.1. Выбор уставки по сопротивлению $Z_{сз}$ по условию отстройки по чувствительности от ступеней предыдущих защит.

Для согласования четвертой ступени по чувствительности с предыдущими защитами находят точку сети, сопротивление при КЗ в которой соответствует порогу срабатывания ступени предыдущей дистанционной защиты или ток трехфазного КЗ в которой, соответствует току срабатывания ступени предыдущей токовой защиты. В качестве ступени предыдущей защиты (с которой выполняется согласование) принимаем третью ступень защиты 3, время действия которой (0,6с), меньше времени действия согласуемой ступени. Для выполнения условия согласования сопротивление Z от точки установки рассчитываемой ступени ДЗ до найденной точки сети должно соответствовать требованию

$$Z_{сз4} \leq 0,85Z.$$

Сопротивление срабатывания 3ст. предыдущей дистанционной защиты 3 (см рис.) величиной 11,4Ом делится на составляющие (активная и реактивная) так же как сумма сопротивлений линий Л2 и Л3 (они обе охватываются зоной, указанной 3ст). С учетом комплекса сопротивления линий Л2 и Л3

$$Z_{л2,3} = 3,18 + 2,49 + j(5,51 + 4,31) = 5,67 + j9,82$$

и его модуля

$$Z_{л2,3} = \sqrt{5,67^2 + 9,82^2} = 11,34 \text{ Ом},$$

комплекс сопротивления от места установки защиты 3 до точки срабатывания ее третьей ступени составит

$$12,7 \times 5,67 / 11,34 + j12,7 \times 9,82 / 11,34 = 6,35 + j11.$$

Сопротивление Z от точки установки защиты 1 до указанной точки линии, при КЗ в которой срабатывает третья ступень предыдущей защиты 3, составит

$$Z = 3,73 + j6,46 + 6,35 + j11 = 10,08 + j17,35;$$

$$Z = \sqrt{10,08^2 + 17,35^2} = 20,07 \text{ Ом}$$

Для выполнения условия согласования

$$Z_{сз4} \leq 0,85Z = 0,85 \times 20,07 = 17,06 \text{ Ом}.$$

П.1.5.2. Проверка условия отстройки от нагрузки.

Сопротивление нагрузки Z_n , от которого должна быть отстроено сопротивление срабатывания ступеней ДЗ составляет 73,6Ом (см. пункт П.1.4.2).

Отстройка заведомо выполняется, вводить функцию отстройки от нагрузки нет необходимости.

П1.5.3. В соответствии с худшим из рассмотренных условий

$$Z_{сз4} = 17,06 \text{ Ом}.$$

П1.5.4. Проверяем полученное значение сопротивления срабатывания четвертой ступени по условию обеспечения чувствительности при КЗ в конце линии через переходное сопротивление дуги.

Ток в дуге при КЗ в конце зоны защиты

$$I = U_n / \sqrt{3} Z_{сз4} = 35000 / \sqrt{3} \times 17,06 = 1184 \text{ А.}$$

Длину дуги для четвертой ступени (7-10 расстояний между фазами) при расстоянии между фазами 1,4 м принимаем $\ell_d = 9,8 \text{ м}$.

Сопротивление дуги $R_d = 1050 \ell_d / I = 1050 \times 9,8 / 1184 = 8,69 \text{ Ом}$.

Переходное сопротивление $R_{п} = 0,5 R_d = 4,35 \text{ Ом}$.

Расчетное сопротивление линии с учетом переходного сопротивления дуги

$$Z_{л \text{ рас}} = \sqrt{X_{л}^2 + (R_{л} + R_{пер})^2} = \sqrt{6,46^2 + (3,73 + 4,35)^2} = 10,34 \text{ Ом}$$

Условие обеспечения необходимого коэффициента чувствительности $k_{ч} = 1,5$

$$Z_{сз4} \geq k_{ч} Z_{л \text{ рас}} = 1,5 \times 10,34 = 15,51 \\ 17,06 > 15,51,$$

условие выполняется.

П1.5.5. Проверяем возможность обеспечения дальнего резервирования четвертой ступенью

В соответствии с пунктом П1.3.1 сопротивление $Z_{пс}$ от места установки защиты до шин низшего напряжения подстанции

$$Z_{пс} = 16,1 \text{ Ом};$$

Условие обеспечения необходимого коэффициента чувствительности при дальнем резервировании до шин низшего напряжения подстанции, расположенной в конце линии, $k_{ч} = 1,2$:

$$Z_{сз4} \geq k_{ч} Z_{пс} = 1,2 \times 16,1 = 19,3 \text{ Ом.}$$

Выполнение этого условия и принятие $Z_{сз4} = 19,3 \text{ Ом}$ противоречит условию согласования по чувствительности с третьей ступенью предыдущей защиты 3 (пункт П1.5.1, $Z = 20,07 \text{ Ом}$) с необходимым коэффициентом надежности отстройки. Это делает вероятным неселективную работу 4 ст. защиты 1 с третьей ступенью защиты 3 в некоторой зоне вблизи порога срабатывания последней. Однако, учитывая, что указанная зона вероятной неселективной работы попадает в зону срабатывания 2 ст. защиты 5, являющейся предыдущей по отношению к защите 3 и имеющей время срабатывания меньше чем защиты 1 и 3, указанная неселективная работа не имеет значения, так как в зоне ее возможного существования будет работать защита 5, а не защита 1 или защита 3.

Окончательно принимаем сопротивление срабатывания 4 ступени

$$Z_{сз4} = 19,3 \text{ Ом.}$$

П1.5.6. Время срабатывания четвертой ступени T_4 принимаем на ступень селективности больше времени действия третьей ступени предыдущей защиты:

$$T_4 = 0,9 \text{ с.}$$

П1.5.7. Действие ступени назначим по петле «Фаза-фаза-ноль» для работы при междуфазных КЗ и двойных замыканиях на землю на разных линиях.

П1.6. Определение уставок блокировки при неисправности цепей напряжения (БНН)

П1.6.1. Уставку по напряжению небаланса в алгоритме по схеме треугольник-звезда примем **10 В** (вторичное значение).

П1.6.2. Контроль по составляющим прямой последовательности предназначен для выявления повреждения цепей напряжения с полным исчезновением напряжения в трех фазах (например, отключение автомата или обрыв контрольного кабеля). При работе по составляющим прямой последовательности, устройство контролирует соотношение напряжения и тока прямой последовательности. Если напряжение прямой последовательности ниже 1 В и при этом ток прямой последовательности больше уставки по току нижней границы и меньше уставки по току верхней границы, то БНН сработает по прямой последовательности.

Уставка по току нижней границы I_{1min} - уровень тока для обнаружения обесточенного состояния ВЛ, должна быть отстроена от наведенных токов на отключенной линии:

$$I_{1min} \geq k_{отс} \cdot I_{нв},$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки;

$I_{нв}$ – суммарный наведенный ток на отключенной линии.

В соответствии с рекомендациями примем данную уставку

$$I_{1min} = 0,1 I_{ном.} = 0,1 \times 300 = 30 \text{ А (первичное значение)}.$$

Уставка по току верхней границы I_{1max} должна с запасом превышать максимальный ток нагрузки I_n :

$$I_{1max} = k_z \cdot I_n = 1,2 \times 210 = 250 \text{ А},$$

где: k_z – коэффициент запаса, $k_z = 1,1-1,2$.

3.4.3. Контроль по составляющим обратной последовательности основан на появлении напряжения обратной последовательности при отсутствии тока обратной последовательности.

Уставка по напряжению обратной последовательности U_2 должна быть отстроена от небаланса фильтра напряжений обратной последовательности и естественной несимметрии напряжений. Примем

$$U_2 = 10 \text{ В (вторичное значение)}.$$

Уставка по току обратной последовательности I_2 должна быть отстроена от несимметрии токов нагрузки

$$I_2 = k_z \cdot I_{2нб},$$

где: k_z – коэффициент запаса, $k_z = 1,5-3$;

$I_{2нб}$ – ток обратной последовательности, обусловленный несимметрией нагрузки.

Ток $I_{2нб}$ определяется через максимальный ток нагрузки $I_n \text{ max}$ согласно выражения:

$$I_{2н6} = 0,1 I_n \max = 0,1 \times 210 = 21 \text{ А};$$

$$I_2 = 3 \times 21 = 63 \text{ А (первичное значение)}$$

При этом уставка по току обратной последовательности заведомо меньше минимального тока обратной последовательности при любом несимметричном КЗ, что исключает работу блокировки при несимметричных КЗ.

П2. Выбор уставок токовой защиты нулевой последовательности (ТЗНП)

П2.1. Параметрирование и выбор общих параметров срабатывания ступеней ТЗНП

П2.1.1. Первую и вторую ступень ЗНЗ назначим на работу по измеренному току нулевой последовательности и используем в качестве защиты от замыканий на землю в сети с малыми токами замыкания на землю.

П2.1.2. Третью ступень ЗНЗ назначим на работу по напряжению нулевой последовательности и используем для неселективной сигнализации замыканий на землю.

П2.1.3. Четвертую ступень ЗНЗ назначим на работу по расчетному току нулевой последовательности и используем как дополнительную ступень ТЗНП, предназначенную для повышения чувствительности всего комплекса защит при двойных замыканиях на землю на разных линиях.

П2.1.4. Угол максимальной чувствительности четвертой ступени ТЗНП примем 65° , ширину зоны срабатывания примем 170° , гистерезис по углу примем 5° .

П2.2. Выбор уставок 4 ступени ТЗНП

П2.2.1. Уставка по току ступени по условию согласования с предыдущими защитами выбирается по отношению к току срабатывания последних (самых чувствительных) ступеней предыдущих защит $I_{дзнз \max \text{ пос пред}}$

$$3 I_{0 \text{ ср} 4} \geq 1,2 I_{дзнз \max \text{ пос пред}}$$

Сопrotивление срабатывания последней (четвертой) ступени предыдущей дистанционной защиты З (см рис.) величиной $20,1 \text{ Ом}$ делится на составляющие (активная и реактивная) так же как сумма сопротивлений линий Л2 и Л3 (они обе охватываются зоной указанной 4ст). С учетом комплекса сопротивления линий Л2 и Л3

$$Z_{л2,3} = 3,18 + j2,49 + j(5,51 + 4,31) = 5,67 + j9,82$$

и его модуля

$$Z_{л2,3} = \sqrt{5,67^2 + 9,82^2} = 11,34 \text{ Ом},$$

комплекс сопротивления от места установки защиты З до точки срабатывания ее четвертой ступени составит

$$20,1 \times 5,67 / 11,34 + j 20,1 \times 9,82 / 11,34 = 10,05 + j 17,41.$$

Сопrotивление **Z** полной петли КЗ двойного замыкания на землю, когда одна точка находится на шинах перед местом установки защиты 1, а вторая, сопротивление при КЗ в которой соответствует порогу срабатывания четвертой ступени предыдущей дистанционной защиты, составит

$$Z = J(2 \times 1,1) + 3,73 + J6,46 + 10,05 + J17,41 = 13,78 + J26,07;$$

его модуль

$$Z = \sqrt{(13,78^2 + 26,07^2)} = 29,49 \text{ Ом.}$$

Тогда ток двойного замыкания на землю в этом режиме составит

$$I_{дзнз \text{ макс пос пред}} = U_n / Z = 35\,000 / 29,49 = 1187 \text{ А.}$$

Ток срабатывания четвертой ступени ТЗНП

$$3I_{0ср4} \geq 1,2 I_{дзнз \text{ макс пос пред}} = 1,2 \times 1187 \text{ А} = 1424 \text{ А.}$$

П2.2.2. Время срабатывания 4ст. ТЗНП по условиям отстройки от времен предыдущих защит принимается 1,2с.

П2.2.3. Коэффициент чувствительности 4ст. ТЗНП определим при двойном замыкании на землю через сопротивление заземления опоры 10Ом

$$K_{ч4} = I_{дзнз} / 3I_{0ср4}.$$

Сопrotивление **Z** полной петли КЗ двойного замыкания на землю в конце линии 1 через указанное сопротивление заземления опоры

$$Z = 2(J1,1 + 3,73 + J6,46) + 10 = 17,46 + J15,12;$$

Его модуль

$$Z = \sqrt{(17,46^2 + 15,12^2)} = 23,09 \text{ Ом.}$$

Ток при двойном замыкании на землю в указанном режиме

$$I_{дзнз} = U_n / Z = 35\,000 / 23,09 = 1516 \text{ А.}$$

Коэффициент чувствительности

$$K_{ч4} = I_{дзнз} / 3I_{0ср4} = 1516 / 1424 = 1,06.$$

Полученное значение коэффициента чувствительности при двойном замыкании на землю через повышенное сопротивление заземления опоры с учетом выбора тока срабатывания ТЗНП по условию согласования по чувствительности с последней ступенью предыдущей дистанционной защиты показало не эффективность ТЗНП для такого случая. Эффективность ТЗНП может быть повышена многократно при условии оснащения всех предыдущих защит аналогичными дополнительными ступенями ТЗНП. В этом случае выбор токов срабатывания ТЗНП на всех присоединениях может определяться только условиями отстройки от небалансов и согласования по чувствительности с предыдущими ТЗНП.

Так пусть защита 3 оснащена дополнительной ступенью ТЗНП с током срабатывания 325А (выбран по наихудшим условиям отстройки от небаланса при максимальном токе КЗ в месте установки защиты и обеспечения чувствительности). Тогда ток срабатывания дополнительной ступени ТЗНП защиты 1 по условию согласования по чувствительности со ступенью ТЗНП предыдущей защиты 3

$$3I_{0ср4} \geq 1,2 I_{дзнз \text{ макс пос пред}} = 1,2 \times 325 = 390 \text{ А.}$$

Условие отстройки от небаланса тока нагрузки

$$3I_{0cp} \geq 0,1 I_n \max = 0,1 \times 210 = 21A$$

выполняется.

Коэффициент чувствительности ступени ТЗНП защиты 1 определим для самого худшего случая в режиме дальнего резервирования и замыкания через сопротивления заземления двух опор в обеих точках замыкания в конце линии 2. Тогда сопротивление полной петли КЗ двойного замыкания на землю составит

$$Z = 2(J_{1,1} + 3,73 + J_{6,46} + 3,18 + J_{5,51} + 10) = 33,82 + J_{26,14};$$

его модуль

$$Z = \sqrt{(33,82^2 + J_{26,14}^2)} = 42,74 \text{ Ом.}$$

Ток при двойном замыкании на землю в указанном режиме

$$I_{дзнз} = U_n / Z = 35\,000 / 42,74 = 819A.$$

Коэффициент чувствительности

$$K_{ч4} = I_{дзнз} / 3I_{0cp4} = 819 / 390 = 2,1.$$

Литература

1. Дьяков А.Ф, Платонов В.В. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем. М., Издательство МЭИ, 2000.

2. С. А. Гондуров, Е. В. Илюхин, М. Г. Пирогов, А. Л. Соловьёв. Ступенчатые дистанционные защиты линий электропередачи 35–220 кВ. Методика расчёта. ПЕТЕРБУРГСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ (ФГАОУ ДПО «ПЭИПК»). КАФЕДРА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ, СЕТЕЙ И СИСТЕМ. Санкт-Петербург, 2013.

3. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 7. Дистанционная защита линий 35–330 кВ. М. «Энергия», 1966.

4. М.А. Шабад. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. Ленинград. Энергоатомиздат, 1985.

5. Методические указания по выбору уставок токовых защит обратной последовательности (ТЗОП) всех типов терминалов серий РС83 и РС830 для сетей 6–110кВ. «РЗА СИСТЕМЗ», 2017.

6. Рекомендации по выбору уставок дистанционных защит от всех видов КЗ и токовых защит терминала РС830-ДЗ «РЗА СИСТЕМЗ» при использовании их в качестве основной/резервной защиты от всех видов КЗ на ВЛ 110–150кВ. «РЗА СИСТЕМЗ», 2016.

**Методические указания по выполнению и выбору уставок
защиты от замыканий на землю сетей 6-35 кВ при
применении устройств серии РС83**

Введение

В устройствах компании «РЗА СИСТЕМЗ» реализованы разнообразные виды защит от замыканий на землю, которые в разных сетях 6-35кВ в зависимости от их конфигурации и параметров позволяют проще или совершение выполнить селективную защиту. При этом наличие защит разной степени сложности и совершенства, от неселективной сигнализации замыканий на землю по напряжению нулевой последовательности, до направленных защит по току или сопротивлению нулевой последовательности, а также защит по высшим гармоникам тока нулевой последовательности для компенсированных сетей, позволяет выбрать оптимальное устройство и вид защиты для любых сетей. К особенностям предлагаемых устройств, видов защит и методов относится их базирование на классических принципах РЗА и достаточная простота. Настоящие Методические указания ставят своей целью показать, как в сети данной конфигурации правильно выполнить защиту без ее избыточного усложнения и выбрать уставки этой защиты. Известная проблема понимания особенностей режимов замыкания на землю в сетях 6-65кВ разной конфигурации, правильного и оптимального выбора вида защиты и типа устройства для ее реализации, а также расчета уставок земляной защиты, решается настоящими Методическими указаниями.

1.Режимы замыкания на землю

Основным проявлением режима однофазного замыкания на землю является резкая асимметрия фазных напряжений с падением напряжения поврежденной фазы до нуля или величины, определяемой полнотой замыкания на землю. При этом во всей электрически связанной сети возникают составляющие напряжений и токов нулевой последовательности. Величины токов нулевой последовательности определяются емкостной проводимостью всех присоединений электрически связанной сети.

Для воздушных линий емкостный ток замыкания на землю I_c (А) приближенно определяется (л.3) номинальным напряжением линии U (кВ) и суммарной длиной участков электрически связанной сети ℓ (км) согласно выражения

$$I_c = U\ell/350.$$

Для кабельных линий, удельное значение тока замыкания на землю, генерируемого 1км длины линии (л.3) приведено в таблице 1.

Таблица 1

Сечение кабеля, мм ²	Ток I_c , А/км	
	6кВ	10кВ
16	0,4	0,55
25	0,5	0,65
35	0,58	0,72
50	0,68	0,8
70	0,8	0,92
95	0,9	1,04
120	1,0	1,16
150	1,18	1,3
185	1,25	1,47
240	1,45	1,7

Направления мощности нулевой последовательности во всех присоединениях определяются тем, что указанная мощность генерируется емкостями присоединений, течет в точку повреждения (на поврежденную линию) и в компенсационную катушку при ее наличии. Распределение присоединений по направлению мощности нулевой последовательности и векторные диаграммы для сети с изолированной нейтралью показано на рис. 1.

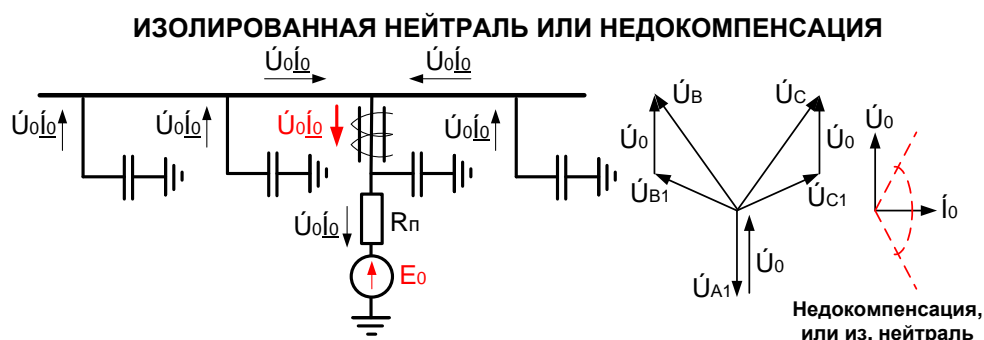


Рис. 1

Такие же направления мощностей имеют место в компенсированной сети в режиме недокомпенсации.

Еще одной особенностью замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью является то, что ток нулевой последовательности на поврежденной линии обычно на много больше тока любой из неповрежденных линий. Это следует из того, что указанный ток поврежденной линии определяется суммой токов неповрежденных линий.

Общей особенностью замыкания на землю является большой уровень высших гармоник тока нулевой последовательности, который обычно составляет 10-30% полного тока нулевой последовательности. При этом максимальный уровень гармоник, как и для полного тока, имеет место на поврежденной линии.

Распределение присоединений по направлению мощности нулевой последовательности и векторные диаграммы для сети с компенсированной нейтралью в режиме перекомпенсации показано на рис. 2.

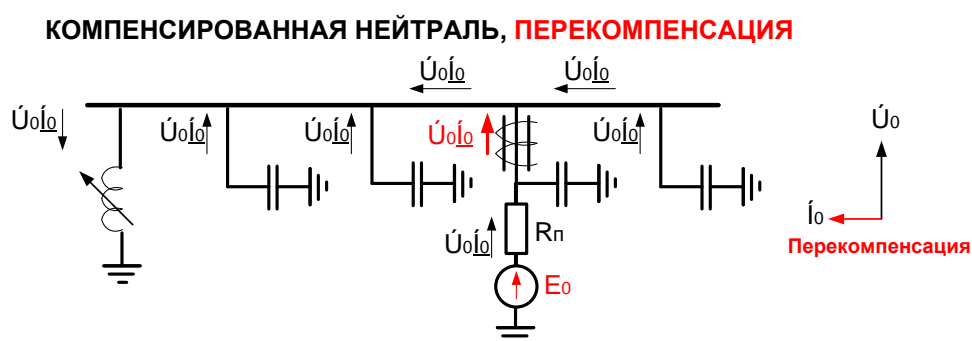


Рис. 2

Обращаем внимание, что в таком режиме направление мощности нулевой последовательности на поврежденном и неповрежденных присоединениях одинаковое. Это

делает невозможным применение направленных защит нулевой последовательности для селективного выявления поврежденной линии в режиме перекомпенсации.

К особенностям режима компенсированных сетей относится то, что за счет точной компенсации величина тока нулевой последовательности на поврежденной линии может оказаться минимальной по сравнению с остальными линиями. При этом отдельно обращаем внимание на то, что в отличие от основной частоты влияние компенсации на гармоники практически отсутствует. Это объясняется тем, что емкостная проводимость пропорционально частоте увеличивается, а индуктивная – уменьшается. Поэтому уже на третьей гармонике влияние компенсации уменьшается в 9 раз, на пятой – в 25 раз и т.д. В результате в компенсированных сетях максимальный уровень высших гармоник тока нулевой последовательности, как и при отсутствии компенсации, остается на поврежденной линии. Это можно использовать для выполнения селективных защит от замыканий на землю в компенсированных сетях.

В связи с активным обсуждением возможности выполнения сетей с резистивным заземлением нейтрали, рассмотрим распределение присоединений по направлению мощности нулевой последовательности и векторные диаграммы для таких сетей, в том числе с учетом возможного наличия компенсации. Такой режим показан на рис. 3.

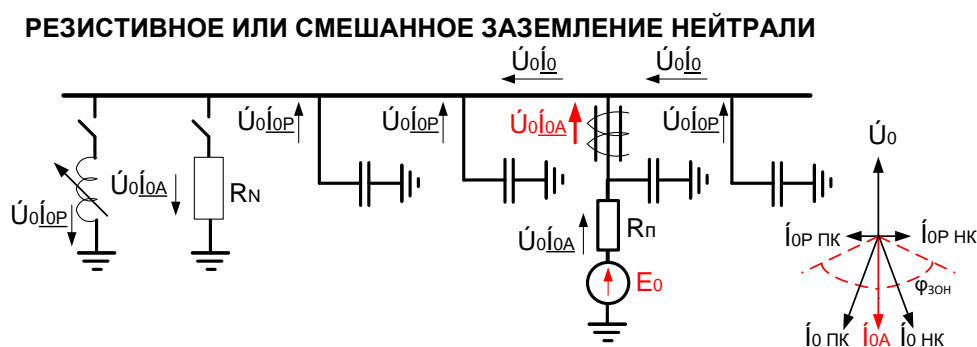


Рис. 3

Обращаем внимание, что вектор реактивной составляющей тока нулевой последовательности на поврежденном присоединении в режиме недокомпенсации $I_{0P НК}$ и вектор в режиме перекомпенсации $I_{0P ПК}$ имеют противоположные направления. При этом направление вектора активной составляющей I_{0A} не зависит от режима компенсации. Это позволяет выполнить селективную защиту, действующую по направлению активной составляющей мощности нулевой последовательности, независимо от режима недокомпенсации/перекомпенсации.

2. Виды реализуемых защит и их уставки

2.1. Неселективная сигнализация замыкания на землю по напряжению 3U0.

Уставка по напряжению 3U0y выбирается по условию обеспечения работы при необходимом значении полноты замыкания. Рекомендованные значения уставки 0,2-0,3

номинального напряжения цепи $3U_0$, что для устройств, производства «РЗА СИСТЕМЗ» составляет

$$3U_{0y}=20-30В. \quad (1.1)$$

При таком значении уставки защита отстроена от всех видов небалансов в нормальном режиме и обеспечивается работа при полноте замыкания на землю

$$K_{пол}=3U_{0y}/3U_{0н}. \quad (1.2)$$

Здесь $3U_{0н}$ – номинальное напряжение цепи $3U_0$ ($3U_{0н}=100В$).

Уставку по времени рекомендуется выбирать по условию отстройки от времени срабатывания всех защит, действующих в аварийных режимах на отключение. Это связано с тем, что в аварийных режимах могут возникать значительные небалансы и просто рабочие значения напряжения нулевой последовательности, превышающие рекомендованное значение уставки по напряжению. Последнее в частности имеет место при двойных замыканиях на землю.

Неселективная сигнализация замыкания на землю может выполняться устройствами РС83-В1 и РС83-В3 обычно устанавливаемыми в схеме шкафа трансформатора напряжения.

2.2. Ненаправленная защита по току нулевой последовательности с пуском или без пуска по напряжению нулевой последовательности.

Защита применима в сети с изолированной нейтралью и в сети с резистивным заземлением нейтрали.

Уставка по току нулевой последовательности $3I_{0y}$ определяется по условию отстройки от частичного тока замыкания на землю $3I_{0ч}$, генерируемого емкостью защищаемой линии, с учетом коэффициента трансформации трансформатора токов нулевой последовательности $n_{ТТО}$ и коэффициента надежности $K_n=1,5$:

$$3I_{0y}= K_n * 3I_{0ч} / n_{ТТО}. \quad (2.1)$$

При использовании кабельного трансформатора токов нулевой последовательности отстройка от небалансов по току обычно выполняется.

При действии на отключение и наличии предыдущих земляных защит, например, на пункте секционирования, дополнительно следует проверить условие согласования по чувствительности с предыдущими защитами:

$$3I_{0y} n_{ТТО} > 3I_{0y} \text{ пред } n_{ТТО \text{ пред}}, \quad (2.2)$$

где $3I_{0y} \text{ пред}$ и $n_{ТТО \text{ пред}}$ – уставка по току и коэффициент трансформации трансформатора токов нулевой последовательности предыдущей земляной защиты.

Коэффициент чувствительности $K_ч$ определяется при полном токе замыкания на землю $3I_{0\Sigma}$, генерируемом суммарной емкостью всех электрически связанных линий, кроме защищаемой:

$$K_ч=3I_{0\Sigma}/3I_{0y} * n_{ТТО}. \quad (2.3)$$

С учетом наличия неполных замыканий на землю рекомендуется иметь $K_ч$ не менее 3.

При наличии пуска по напряжению уставка $3U_{0y}$ выбирается в соответствии с выражением 1.1. Во всех случаях, когда это возможно пуск по напряжению следует вводить, так как это в целом повышает надежность выявления режима замыкания на землю. Без пуска по напряжению защита реализована в устройстве PC83-A2.0. В остальных устройствах (PC83-A2M, PC83-AB2, PC83-ДТ2, PC83-BC, PC83-AB3) защита выполняется с пуском по напряжению.

Уставка по времени при действии защиты на сигнал выбирается так же как в пункте 1. Уставка по времени при действии ступени на отключение выбирается дополнительно по условиям согласования с предыдущими земляными защитами, попадающими в зону действия рассматриваемой ступени.

2.3. Ненаправленная защита по сопротивлению нулевой последовательности с пуском по напряжению нулевой последовательности.

Защита применима в сети с изолированной нейтралью и в сети с резистивным заземлением нейтрали. Реагирование на сопротивление Z_0 вместо тока $3I_0$ позволяет не снижать чувствительность при неполных замыканиях на землю, так как в этом режиме пропорционально снижаются и ток, и напряжение нулевой последовательности, а сопротивление Z_0 остается неизменным.

Пуск по напряжению нулевой последовательности рекомендуется выбирать по условию обеспечения чувствительности при необходимой полноте замыкания на землю в соответствии с выражением 1.1.

Уставка по сопротивлению Z_0 выбирается по условию отстройки от сопротивления, соответствующего частичному току замыкания на землю своей линии

$$Z_{0y} = 3U_{0n} \cdot n_{\text{ТТО}} / K_n \cdot 3I_{0ч}. \quad (3.1)$$

Здесь $3U_{0n}$ – номинальное напряжение цепи $3U_0$ ($3U_{0n} = 100\text{В}$). Остальное – совпадает с выражением (2.1).

При действии на отключение и наличии предыдущих земляных защит, например, на пункте секционирования, дополнительно следует проверить условие согласования по чувствительности с предыдущими защитами. Если предыдущая защита по сопротивлению нулевой последовательности:

$$Z_{0y} / n_{\text{ТТО}} < Z_{0y \text{ пред}} / n_{\text{ТТО пред}}. \quad (3.2)$$

Если предыдущая защита по току нулевой последовательности:

$$Z_{0y} / n_{\text{ТТО}} < 3U_{0n} / 3I_{0y \text{ пред}} \cdot n_{\text{ТТО пред}}. \quad (3.3)$$

Коэффициент чувствительности K_n определяется при сопротивлении, соответствующем полному току замыкания на землю $3I_{0\Sigma}$, генерируемому суммарной емкостью всех электрически связанных линий кроме защищаемой:

$$K_n = Z_{0y} \cdot 3I_{0\Sigma} / 3U_{0n} \cdot n_{\text{ТТО}}. \quad (3.4)$$

Коэффициент чувствительности защиты по сопротивлению нулевой последовательности должен быть не менее 1,5-2. По этому условию защита может применяться, если полный ток замыкания на землю, генерируемый емкостями других присоединений, превышает частичный ток замыкания на землю, генерируемый емкостью своей линии, не менее чем в 2,5 раза.

Уставка по времени выбирается так же, как для защиты по току нулевой последовательности в соответствии с пунктом 2.2.

Защита по сопротивлению нулевой последовательности реализована в устройствах РС83-ВС, РС83-ВСЗ и РС83-АВЗ.

2.4. Направленная защита по току нулевой последовательности с пуском по напряжению нулевой последовательности.

Защита применима в сети с изолированной нейтралью и в сети с резистивным заземлением нейтрали. В последнем случае необходимо учитывать особенности выбора параметров направленности, отдельно рассмотренные для случая резистивного заземления нейтрали в пункте 2.9. В сети с компенсированной нейтралью возможно применение защиты при условии постоянного сохранения недокомпенсации.

Пуск по напряжению нулевой последовательности рекомендуется выбирать по условию обеспечения чувствительности при необходимой полноте замыкания на землю в соответствии с выражением 1.1.

Так как селективность защиты обеспечивается по направлению мощности, то отстройка от частичного тока замыкания на землю, генерируемого емкостью своей линии, может не выполняться. При этом уставка по току нулевой последовательности может выбираться по условию обеспечения чувствительности при необходимой полноте замыкания на землю. С учетом согласованности чувствительности пусковых органов тока и напряжения нулевой последовательности, уставка по току $3I_{0y}$

$$3I_{0y} = 3I_{0\Sigma} * K_{пол} / n_{тто}. \quad (4.1)$$

Здесь $K_{пол}$ – полнота замыкания в соответствии с выражением 1.2, остальное – как в выражении 2.3. При этом значение $3I_{0\Sigma}$ должно приниматься минимальным из возможных во всех режимах переключений электрически связанных линий.

При действии на отключение согласование по чувствительности с предыдущими земляными защитами выполняется также как для ненаправленных защит по выражениям (2.2).

Угол максимальной чувствительности защиты в соответствии с рис. 1 определяется с учетом того, что ток замыкания на землю $3I_0$ имеет емкостный характер, генерируется емкостями неповрежденных линий и мощность нулевой последовательности течет в поврежденную линию. Рассматривая схему замещения нулевой последовательности (рис. 1), обратим внимание, что источник (эдс E_0) находится в точке повреждения. Ток нулевой последовательности, создаваемый этой эдс, течет в емкости всех здоровых линий и с учетом его емкостного характера, т.е. отрицательного знака реактивной составляющей его комплекса, создает реактивную мощность, направленную на поврежденной линии от шин в

сторону линии. Поэтому, если вход $3I_0$ устройства РЗА и обмотки трансформатора тока нулевой последовательности ориентированы также как входы и трансформаторы тока фазных токов, то угол максимальной чувствительности следует принимать $+90^\circ$.

С учетом погрешностей измерения углов и необходимых запасов ширину зоны срабатывания можно принимать 170° .

Уставка по времени выбирается так же, как для защиты по току нулевой последовательности в соответствии с пунктом 2.

Направленная защита по току нулевой последовательности реализована в устройствах РС83-А2М, РС83-АВ2, РС-83-ДТ2, РС83-ВС, РС83-ВС3 и РС83-АВ3.

2.5. Направленная защита по сопротивлению нулевой последовательности с пуском по напряжению нулевой последовательности.

Защита применима в сети с изолированной нейтралью и в сети с резистивным заземлением нейтрали. В сети с компенсированной нейтралью возможно применение защиты при условии постоянного сохранения недокомпенсации.

Пуск по напряжению нулевой последовательности рекомендуется выбирать по условию обеспечения чувствительности при необходимой полноте замыкания на землю в соответствии с выражением 1.1.

Так как селективность защиты обеспечивается по направлению мощности, то отстройка от сопротивления, соответствующего частичному току замыкания на землю, генерируемого емкостью своей линии, может не выполняться. Сопротивление срабатывания Z_{0y} принимаем по условию обеспечения чувствительности с $K_{ч}=2$, при полном токе замыкания на землю $3I_{0\Sigma}$, генерируемом суммарной емкостью всех электрически связанных линий, кроме защищаемой

$$Z_{0y} = 3U_{0н} \cdot K_{ч} \cdot n_{ТТО} / 3I_{0\Sigma}. \quad (5.1)$$

При этом значение $3I_{0\Sigma}$ должно приниматься минимальным из возможных во всех режимах переключений электрически связанных линий.

При действии на отключение согласование по чувствительности с предыдущими земляными защитами выполняется также как для ненаправленных защит по выражению (3.2) или (3.3).

Параметры направленности (угол максимальной чувствительности и ширина зоны срабатывания) выбираются так же как для направленной токовой защиты по пункту 2.4.

Уставка по времени выбирается так же, как для защиты по току нулевой последовательности в соответствии с пунктом 2.2.

Направленная защита по сопротивлению нулевой последовательности реализована в устройствах РС83-ВС, РС83-ВС3 и РС83-АВ3.

2.6. Применение защит нулевой последовательности с зависимыми времятоковыми характеристиками.

Для сети с изолированной или резистивно-заземленной нейтралью при замыкании на землю характерно наличие максимального значения тока $3I_0$ на поврежденной линии по сравнению со всеми электрически связанными линиями. Поэтому если на всех электрически связанных линиях выполнить защиту с одинаковыми уставками по $3I_0$, времени и одинаковыми время токовыми характеристиками, то при замыкании на землю первой будет срабатывать защита на поврежденной линии. При выполнении защит с действием на отключение это позволяет обеспечить селективное действие без направленности и без отстройки от частичного тока, генерируемого емкостью собственной линии. При выполнении защит с действием на сигнал, следует организовать общую шинку блокировок, на которую подается сигнал при срабатывании защиты любой линии. От этой шинки организовать блокировку защиты каждой линии через дискретный вход. Такое решение позволяет обеспечить селективную защиту от замыканий на землю, если другие способы обеспечения селективности по любым причинам невозможны. В частности, это может быть актуально, если на защищаемом объекте отсутствует возможность контроля напряжения ЗУО.

Уставки по току на всех линиях

$$3I_{0y} = 3I_{0z} * K_{пол} / n_{тто}. \quad (6.1)$$

Здесь $K_{пол}$ – полнота замыкания, при которой должно обеспечиваться срабатывание, остальное – как в выражении 2.3.

Уставки по времени на всех линиях рекомендуется принимать не менее 5с. Такое повышенное время объясняется необходимостью разнесения времени действия защит на поврежденной и не поврежденных линиях при разных соотношениях значений токов $3I_0$ на них.

При наличии предыдущих земляных защит на пунктах секционирования и действии защит на отключение следует проверять условие согласования с предыдущими защитами по чувствительности и времени. Согласование по чувствительности проверяется в соответствии с выражением 2.2. Согласование по времени проверяется в точке зависимой характеристики, соответствующей максимальному значению тока $3I_0$ при замыкании в зоне действия предыдущих защит.

Защита по току нулевой последовательности с зависимой характеристикой реализована в устройстве РС83-АВЗ.

2.7. Защита от замыканий на землю для компенсированных сетей по высшим гармоникам (ЗНЗвг).

Сложность выполнения селективной защиты от замыканий на землю в компенсированных сетях с режимом, близким к точной компенсации, связана с возможной самопроизвольной сменой недокомпенсации-перекомпенсации. При этом, как показано выше для рис. 2, направленные защиты не могут обеспечить селективность. Характерным для рассматриваемого режима является то, что при режиме, близком к точной компенсации

на основной частоте, на высших гармониках влияние компенсации практически отсутствует. При этом для всех линий, отходящих от общей секции шин подстанции или РП, максимальный уровень высших гармоник всегда имеет место на поврежденной линии. Если на линии имеются сетевые пункты секционирования, последовательно расположенные по ее длине, то уровень высших гармоник в защите пункта при замыкании на землю за ним (в зоне действия защиты пункта) будет многократно больше чем при замыкании до пункта (за спиной защиты). С учетом этого, для селективной защиты в сетях с компенсированной нейтралью в компании «РЗА СИСТЕМЗ» в составе устройств РС83-АВЗ, РС83-ВС, РС83-ВСЗ создана защита, реагирующая на сумму высших гармоник тока $\Sigma I_{0вг}$. Защита может иметь зависимую или независимую от суммы высших гармоник времятоковую характеристику и пуск по напряжению нулевой последовательности. При независимой характеристике также имеется пуск по току высших гармоник, а при зависимой характеристике указанный пуск отсутствует.

2.7.1. Защита в голове линий, отходящих от общей секции шин

Если на всех линиях, отходящих от общей секции шин, выполнить защиту с зависимой характеристикой, одинаковыми уставками по сумме высших гармоник $\Sigma I_{0вг}$, времени T_u и одинаковыми время токовыми характеристиками, то при замыкании на землю первой будет срабатывать защита на поврежденной линии. При выполнении защит с действием на отключение это позволяет обеспечить селективность. При выполнении защит с действием на сигнал, следует организовать общую шинку блокировок, на которую через реле с переключающим контактом (например, KL14) подается сигнал при срабатывании ЗНЗвг любой линии (рис. 4).

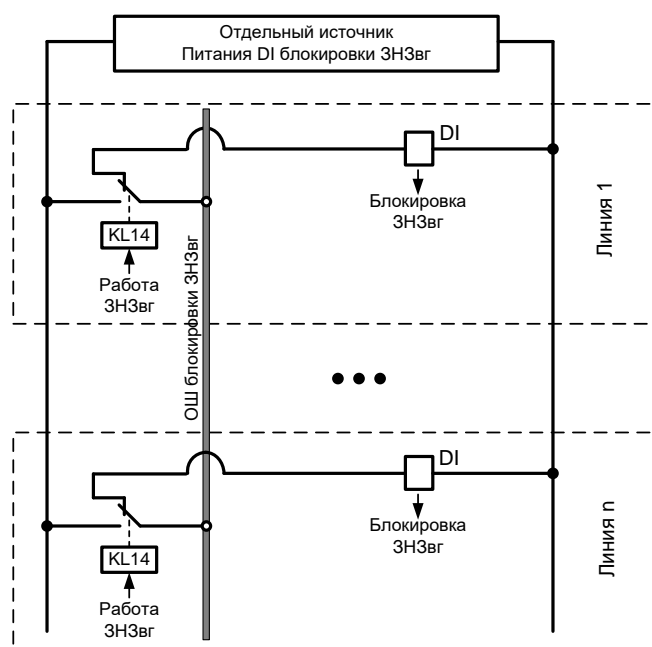


Рис. 4. Организация блокировок ЗНЗвг на других линиях после ее срабатывания на первой по времени линии с максимальным уровнем высших гармоник

От этой шинки через размыкающую часть указанного переключающего контакта организовать блокировку ЗНЗвг своего устройства через его дискретный вход. Последнее позволяет после срабатывания ЗНЗвг на первой по времени линии с максимальным уровнем высших гармоник и минимальным временем срабатывания ЗНЗвг по зависимой характеристике заблокировать защиты на других присоединениях. Блокировка ЗНЗвг на линии, где она уже сработала, не возникает за счет действия размыкающей части контакта, отключающей дискретный вход блокировки от общей шинки. Такое решение позволяет обеспечить селективную защиту от замыканий на землю и не зависит от состояния компенсации нейтрали.

Учитывая значительную неопределенность содержания высших гармоник в токе замыкания на землю, для предотвращения отказа в результате не точного определения величины $\sum I_{0вг}$, выполненная защита по своему алгоритму срабатывает и при уровне гармоник меньше уставки $\sum I_{0вг} у$. Сама же эта уставка используется только для фиксации точки на время токовой характеристике с координатами, совпадающими с уставками $\sum I_{0вг}у$ и $Tу$.

Для тока замыкания на землю характерен большой уровень высших гармоник. По разным данным (л.1, л.2) на поврежденной линии он часто составляет 0,05-0,15 полного тока $I_{0\Sigma}$. Примем в качестве расчетного относительное значение уровня высших гармоник, равное 0,1. Тогда рекомендованное значение уставки по сумме высших гармоник

$$\sum I_{0вг} у = 0,1 * I_{0\Sigma} / n_{тто}. \quad (7.1)$$

Возможная значительная погрешность приблизительного задания содержания высших гармоник в токе замыкания на землю на уровне 0,1 не вызывает неправильной работы защиты, так как влияет только на абсолютное значение времени срабатывания защиты. При этом указанная погрешность не влияет на соотношение времен действия на поврежденной и неповрежденных линиях, обеспечивающее селективность, и не запрещает срабатывание если реальный уровень высших гармоник окажется меньше уставки.

Пуск по напряжению нулевой последовательности рекомендуется выбирать по условию обеспечения чувствительности при необходимой полноте замыкания на землю в соответствии с выражением 1.1.

Уставки по времени на всех линиях $Tу$ следует принимать не менее 5с. Такое повышенное время объясняется необходимостью разнесения времен действия защит на поврежденной и не поврежденных линиях при разных соотношениях значений токов $\sum I_{0вг}$ на них.

При наличии предыдущих земляных защит на пунктах секционирования и действии защит на отключение следует проверять условие согласования с предыдущими защитами по времени. Согласование по времени проверяется в точке зависимой характеристики, соответствующей максимально возможному значению тока $\sum I_{0вг} \max$ при замыкании в зоне действия предыдущих защит. Значение $\sum I_{0вг} \max$ рекомендуется принимать на предельно возможном уровне содержания высших гармоник – 40% максимального полного тока нулевой последовательности при замыкании в зоне действия предыдущих защит $I_{0\Sigma}$:

$$\sum I_{0вг} \max = 0,4 * I_{0\Sigma} / n_{тто} . \quad (7.2)$$

При этом время срабатывания по зависимой характеристике, которое следует согласовать с временем действия предыдущей защиты, составит

$$T_{cp} = T_y * \sum I_{0вг} y / \sum I_{0вг} \max. \quad (7.3)$$

С учетом необходимой степени селективности $\Delta t=0,5с$ по отношению к уставке предыдущей защиты T_y пред (на пункте секционирования с независимой характеристикой см. пункт 2.7.2)

$$T_{cp} = T_y \text{ пред} + \Delta t.$$

А с учетом выражения 7.3, уставка нашей защиты с зависимой характеристикой по условиям согласования с предыдущей защитой ближайшего пункта секционирования

$$T_y = T_{cp} \sum I_{0вг} \max / \sum I_{0вг} y = (T_y \text{ пред} + \Delta t) \sum I_{0вг} \max / \sum I_{0вг} y.$$

$$T_y = (T_y \text{ пред} + \Delta t) \sum I_{0вг} \max / \sum I_{0вг} y. \quad (7.4)$$

2.7.2. Защита на сетевых пунктах секционирования линий

Защиту на пункте секционирования по высшим гармоникам тока нулевой последовательности рекомендуется выполнять с независимой времятоковой характеристикой и отстройкой от суммы высших гармоник, генерируемых емкостью линии после точки установки защиты. Значение указанной суммы $\sum I_{0вг} \max$ рекомендуется принимать на предельно возможном уровне содержания высших гармоник – 40% максимального значения частичного тока нулевой последовательности $I_{0ч}$, генерируемого емкостью линии после точки установки защиты при замыкании до указанной точки (за спиной). В этом случае уставка по сумме высших гармоник $\sum I_{0вг} y$ принимается:

$$\sum I_{0вг} y \geq 0,4 * I_{0ч} / n_{ТТО}. \quad (7.5)$$

При действии защит на отключение и наличии предыдущих защит с уставкой $\sum I_{0вг} y$ пред дополнительно следует проверить условие согласования с предыдущими защитами по чувствительности:

$$\sum I_{0вг} y * n_{ТТО} > \sum I_{0вг} y \text{ пред} * n_{ТТО \text{ пред}}. \quad (7.6)$$

Коэффициент чувствительности определяют на минимально возможном уровне содержания высших гармоник – 5% полного тока нулевой последовательности при замыкании в зоне действия защиты $I_{0\Sigma}$ (без учета компенсации):

$$K_{ч} = 0,05 * I_{0\Sigma} / \sum I_{0вг} y * n_{ТТО}. \quad (7.7)$$

Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,5. Если указанное значение коэффициента чувствительности не получается, что может иметь место при большой длине линии после места установки защиты, рекомендуется проверить возможность применения на пункте секционирования ЗНЗ с блокирующими органами направления мощности и сопротивления нулевой последовательности по пункту 2.8. Этот вид ЗНЗ применим именно на линиях большой длины.

Уставка по времени T_y при действии защит на отключение и наличии предыдущих защит выбирается по условиям согласования с ними при степени селективности $\Delta T=0,5с$:

$$T_y = T_y \text{ пред} + \Delta T. \quad (7.8)$$

При действии защит на сигнал или действии на отключение и отсутствии предыдущих защит уставки могут быть приняты теми же или по условиям отстройки от переходных процессов можно принимать

$$T_y \geq 0,5c. \quad (7.9)$$

При действии защит на сигнал они срабатывают на всех последовательно включенных пунктах секционирования, для которых место повреждения находится со стороны нагрузки по отношению к месту установки защиты, а поврежденный участок линии определяется по сработавшей наиболее удаленной от питающих шин защите.

Защита по высшим гармоникам для компенсированных сетей реализована в устройствах РС83-АВЗ, РС83-ВС, РС83-ВСЗ.

2.7.3. Защита на сетевых пунктах секционирования линий, дополненная передачей сигналов блокировок через GOOSE сообщения

Новые устройства серии РС83 (РС83-АВЗ, РС83-ВСЗ) с реализацией современных технологий обмена по протоколу МЭК 61850, позволяют обеспечить селективную работу ЗНЗвг на последовательно расположенных вдоль линии сетевых пунктах секционирования в сети с компенсированной нейтралью при их действии на сигнал. При этом все настройки и уставки защиты выполняются в соответствии с пунктом 2.7.2. Дополнительно организуют блокировки ступеней ЗНЗвг всех последующих устройств, расположенных на пунктах секционирования вдоль линии и в ее голове, от срабатывания всех предыдущих защит на пунктах секционирования через GOOSE сообщения (рис. 5).

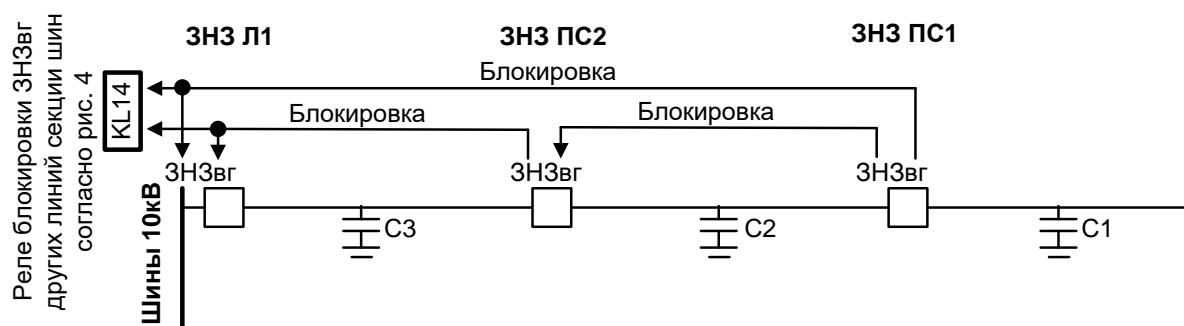


Рис. 5

Последнее исключает излишнее срабатывание ЗНЗвг на пунктах секционирования последующих участков линии и в ее голове при возникновении замыкания на землю и срабатывании ЗНЗвг предыдущих участков. От указанных GOOSE сообщений в голове линии также должно быть назначено срабатывание реле KL14 (рис.4), что через ОШ блокировки ЗНЗвг обеспечивает блокирование защит на остальных линиях секции шин подстанции при срабатывании ЗНЗвг на пунктах секционирования рассматриваемой линии. Несрабатывание ЗНЗвг на пунктах секционирования при замыкании со стороны питающих шин по отношению к месту установки защиты обеспечивается за счет отстройки по уровню высших гармоник согласно выражения 7.5. Несрабатывание ЗНЗвг в голове линии при замыкании на других линиях секции шин обеспечивается в соответствии с рекомендациями пункта 2.7.1.

2.8. Защита от замыканий на землю для компенсированных сетей с блокирующими органами сопротивления и направления мощности нулевой последовательности

Использование направленной защиты нулевой последовательности с традиционным разрешающим органом направления мощности в компенсированных сетях невозможно в связи с тем, что направление мощности при замыкании в зоне защиты может изменяться на противоположное при возникновении перекомпенсации. Кроме того, при точной компенсации и замыкании в зоне защиты ток нулевой последовательности может оказаться настолько малым, что это не позволит работать органу направления мощности по его чувствительности. В отличие от этого, при замыкании за спиной направление мощности не изменяется при изменении режима компенсации, а величина частичного тока нулевой последовательности в цепях защиты однозначно определяется емкостью сети от места установки защиты до конца линии и также не зависит от степени точности компенсации. Это позволяет однозначно выбрать параметры блокирующих органов как по направлению мощности, так и по сопротивлению нулевой последовательности, так как для блокирования защиты они срабатывают именно при замыкании за спиной. Использование блокирующего органа сопротивления вместо блокирующего органа тока позволяет не обращать внимание на уменьшение тока при неполных замыканиях.

ЗНЗ с блокирующими органами сопротивления и направления мощности нулевой последовательности может быть реализована устройствами РС83-АВЗ, РС83-ВС и РС83-ВСЗ. При этом используется две ступени ЗНЗ – основная и блокирующая. Основная ступень выполняется по напряжению нулевой последовательности. В качестве блокирующей используется направленная ступень по сопротивлению нулевой последовательности. Блокирование организуется путем назначения пуска блокирующей ступени на реле и назначения логического выхода этого реле на блокирование основной ступени.

Уставка по напряжению нулевой последовательности основной и блокирующей ступени принимается одинаковой в соответствии с выражением 1.1.

Уставки направленности блокирующей ступени принимаются с учетом пояснений пункта 2.4, но в противоположном направлении (для блокирования при замыкании за спиной), т.е. угол максимальной чувствительности $\varphi_{\text{мч бл}} = -90^\circ$, ширина зоны срабатывания $\varphi_{\text{зон}} = 170^\circ$.

Уставка блокирующей ступени по сопротивлению Z_{0y} бл выбирается по условию ее надежного срабатывания от минимального частичного тока нулевой последовательности, генерируемого емкостью защищаемых участков линии при замыкании за спиной $3I_{0ч \text{ min}}$, и не срабатывания от максимального возможного тока нулевой последовательности при замыкании в зоне в режиме перекомпенсации $3I_{0пк \text{ max}}$:

$$3U_{0н} * n_{\text{ТТ0}} * K_3 / 3I_{0ч \text{ min}} \leq Z_{0y} \text{ бл} \leq 3U_{0н} * n_{\text{ТТ0}} / K_3 * 3I_{0пк \text{ max}}, \quad (8.1)$$

где:

- $3U_{0н}$ – номинальное вторичное напряжение цепи $3U_0$ ($3U_{0н} = 100\text{В}$);
- $n_{\text{ТТ0}}$ – коэффициент трансформации ТТ нулевой последовательности;
- K_3 – коэффициент запаса, $K_3 = 1,5$.

Если неравенство (8.1) не может быть выполнено, то метод ЗНЗ с блокирующими органами нельзя применять.

Уставка по времени основной ступени при наличии или отсутствии предыдущих защит на сетевых пунктах секционирования, при действии на сигнал или отключение принимается в соответствии с выражениями (7.8) или (7.9).

В случае применения ЗНЗ с блокирующими органами направления мощности и сопротивления нулевой последовательности для работы в случае отключения компенсации следует предусматривать дополнительную грубую ступень с уставкой $Z0_{гр}$, с обычными разрешающими органами направления мощности и сопротивления. Уставка по сопротивлению этой ступени с повышенным запасом ($Kз > 3$) должна быть отстроена от максимального тока нулевой последовательности замыкания на землю $3I0_{к\ max}$ в режиме работы компенсации:

$$Z0_{гр} \leq 3U0_{н*} n_{ТТО} / Kз * 3I0_{к\ max}. \quad (8.2)$$

Коэффициент чувствительности грубой ступени определяют в соответствии с выражением 3.4.

Уставки по направленности грубой ступени $\phi_{МЧ\ гр} = +90^\circ$, $\phi_{ЗОН} = 170^\circ$.

Уставки по времени и по напряжению $3U0$ грубой ступени принимают такими же, как основной ступени.

2.9. Особенности применения направленной токовой защиты нулевой последовательности в сети с резистивным заземлением нейтрали.

Распространенное мнение, что для селективной защиты от замыканий на землю в сети с резистивным заземлением нейтрали можно эффективно применять простые ненаправленные токовые защиты нулевой последовательности при детальном рассмотрении может оказаться необоснованным. Это связано с тем, что преобладание влияния на величину тока замыкания на землю характерного большого переходного сопротивления $R_{п}$ перед сопротивлением заземления нейтрали $R_{н}$ (рис.3), часто не позволяет выполнить селективную ненаправленную защиту с отстройкой по уровню от емкостного тока $3I0$ неповрежденных линий. Ток нулевой последовательности на поврежденной линии при замыкании через переходное сопротивление просто может оказаться меньше частичного тока, генерируемого емкостью неповрежденной линии в режиме полного замыкания на землю, от которого необходимо отстраиваться. Поэтому, основным видом защиты от замыканий на землю в сети с резистивным заземлением нейтрали следует считать направленную защиту нулевой последовательности. Такая защита оказывается применимой независимо от полноты замыкания на землю и величины переходного сопротивления.

Уставки по напряжению и току нулевой последовательности должны выбираться аналогично защите для сети с изолированной нейтралью согласно пункту 2.4.

Для выбора параметров направленности рассмотрим более общий случай – совместного применения резистивного заземления нейтрали и компенсации (рис. 3). Такой случай является вынужденным, если величина емкостного тока замыкания на землю

превышает допустимое для не компенсированной сети значение. С учетом реальных значений сопротивления заземления нейтрали, преобладающей будет активная составляющая комплекса тока замыкания на землю I_{0A} по сравнению с реактивной в режиме недокомпенсации $I_{0P НК}$ или перекомпенсации $I_{0P ПК}$. Так как эдс E_0 , генерирующая токи нулевой последовательности, находится на поврежденной линии, то угол между вектором напряжения нулевой последовательности на шинах U_0 и вектором активной составляющей тока линии I_{0A} составляет 180° . При этом отклонение положения вектора полного тока в режиме недокомпенсации $I_{0 НК}$ и режиме перекомпенсации $I_{0 ПК}$ от указанного положения I_{0A} с углом 180° попадает в некоторую ширину зоны $\phi_{зон}$. С учетом реальных соотношений между величинами I_{0A} и $I_{0P НК}$ или $I_{0P ПК}$ можно рекомендовать уставку по углу максимальной чувствительности $\phi_{мч} = 180^\circ$ и ширине зоны $\phi_{зон} = 140^\circ$. Такие значения уставок полностью применимы при резистивном заземлении нейтрали как в случае наличия компенсации при недокомпенсации или перекомпенсации, так и в случае отсутствия компенсации. Это очень важно, так как режим компенсации может произвольно меняться (перекомпенсация, недокомпенсация), а также включаться и отключаться и это не приводит к необходимому изменению уставок.

Уставка по времени выбирается так же, как для защиты по току нулевой последовательности в соответствии с пунктом 2.2.

Направленная защита по току нулевой последовательности, применяемая для сетей с резистивным заземлением нейтрали, реализована в устройствах РС83-А2М, РС83-АВ2, РС83-ДТ2, РС83-ВС, РС83-ВС3 и РС83-АВ3.

3.Примеры выбора уставок

Пример 1. Ненаправленная ЗНЗ по току нулевой последовательности

Выбрать способ выполнения и уставки ЗНЗ для линии Л1 в сети 10кВ с изолированной нейтралью в соответствии с рис. П1.



Рис. П1

Частичный ток замыкания на землю, генерируемый емкостью, защищаемой Л1, $3I_{0ч} = 1,1A$. Ток замыкания на землю, генерируемый остальной сетью секции шин, $3I_{0\sum} = 8,6A$. Коэффициент трансформации трансформатора токов нулевой последовательности $n_{ТТО} = 27$.

Выбор способа защиты и расчет уставок

П1.1. Большое соотношение между частичным током замыкания на землю $3I_{0ч}$, генерируемым емкостью защищаемой линии, и полным током замыкания на землю в цепи защиты при замыкании на защищаемой линии, генерируемом емкостью остальной сети

$3I0_{\Sigma}$, предполагает возможность выполнения селективной ЗНЗ в виде ненаправленной защиты по току нулевой последовательности. Преимущество такой защиты состоит в возможности ее реализации самыми простыми устройствами, например, РС83-А20, а так же в отсутствии необходимости фазировать цепи тока и напряжения нулевой последовательности. В случае применения устройств с возможностью пуска ЗНЗ по $3U0$ указанный пуск следует ввести.

П.1.2. Уставку пуска по $3U0$ в соответствии с выражением (1.1) примем $3U0y=30B$.

П.1.3. Уставку по току нулевой последовательности $3I0y$ определим в соответствии с выражением (2.1) по условию отстройки от частичного тока замыкания на землю $3I0ч$, генерируемого емкостью защищаемой линии:

$$3I0y = K_n * 3I0ч / n_{ТТО} = 1,5 * 1,1 / 27 = 0,061A.$$

П.1.4. Коэффициент чувствительности $Kч$ определяется в соответствии с выражением (2.3) при полном токе замыкания на землю $3I0_{\Sigma}$, генерируемом суммарной емкостью всех электрически связанных линий, кроме защищаемой:

$$Kч = 3I0_{\Sigma} / 3I0y * n_{ТТО} = 8,6 / 0,061 * 27 = 5,22.$$

Чувствительность соответствует рекомендованной для защиты по току нулевой последовательности с учетом необходимости работы при неполных замыканиях ($Kч > 3$), поэтому принимаем этот вид защиты.

П.1.5. Уставку по времени в соответствии с выражением (7.7) примем $Ty=1с$.

Пример 2. Ненаправленная ЗНЗ по сопротивлению нулевой последовательности

Выбрать способ выполнения и уставки ЗНЗ для линии Л1 в сети 10кВ с изолированной нейтралью для примера 1 при уменьшенном полном токе замыкания на землю в соответствии с рис. П2.



Рис. П2

Частичный ток замыкания на землю, генерируемый емкостью, защищаемой Л1, $3I0ч=1,1A$. Ток замыкания на землю, генерируемый остальной сетью секции шин, $3I0_{\Sigma}=4,5A$. Коэффициент трансформации трансформатора токов нулевой последовательности $n_{ТТО}=27$.

Выбор способа защиты и расчет уставок

П2.1. Попытка выполнить защиту по току нулевой последовательности $3I0$ аналогично примеру 1 дает:

$$3I_{0y} = K_n \cdot 3I_{0ч} / n_{ТТ0} = 1,5 \cdot 1,1 / 27 = 0,061 \text{ А.}$$

$$K_{ч} = 3I_{0\Sigma} / 3I_{0y} \cdot n_{ТТ0} = 4,5 / 0,061 \cdot 27 = 2,73.$$

С учетом необходимости работы при неполных замыканиях с полнотой 0,3 достигнутый коэффициент чувствительности следует считать недостаточным. (требуется $K_{ч} > 3$).

Предпримем попытку выполнения ненаправленной защиты по сопротивлению нулевой последовательности Z_0 .

П2.2. Уставка пуска по сопротивлению в соответствии с выражением 3.1:

$$Z_{0y} = 3U_{0н} \cdot n_{ТТ0} / K_n \cdot 3I_{0ч} = 100 \cdot 27 / 1,5 \cdot 1,1 = 1636 \text{ Ом.}$$

П2.3. Коэффициент чувствительности в соответствии с выражением 3.4:

$$K_{ч} = Z_{0y} \cdot 3I_{0\Sigma} / 3U_{0н} \cdot n_{ТТ0} = 1636 \cdot 4,5 / 100 \cdot 27 = 2,73.$$

Получено значение коэффициента чувствительности, совпадающее с достигнутым для защиты по $3I_0$, однако с учетом того, что чувствительность защиты по Z_0 не снижается при не полных замыканиях требование к ее коэффициенту чувствительности $K_{ч} > 1,5-2$. Это требование выполняется, поэтому применяем защиту по Z_0 .

П2.4. Уставку пуска по напряжению и уставку по времени принимаем так же как для примера 1:

$$3U_{0y} = 30 \text{ В, } T_y = 1 \text{ с.}$$

Пример 3. ЗНЗ в компенсированных сетях по высшим гармоникам тока нулевой последовательности.

Выбрать способ выполнения и уставки ЗНЗ воздушной линии Л1, секционированной реклоузерами, в компенсированной сети согласно рис. П3.

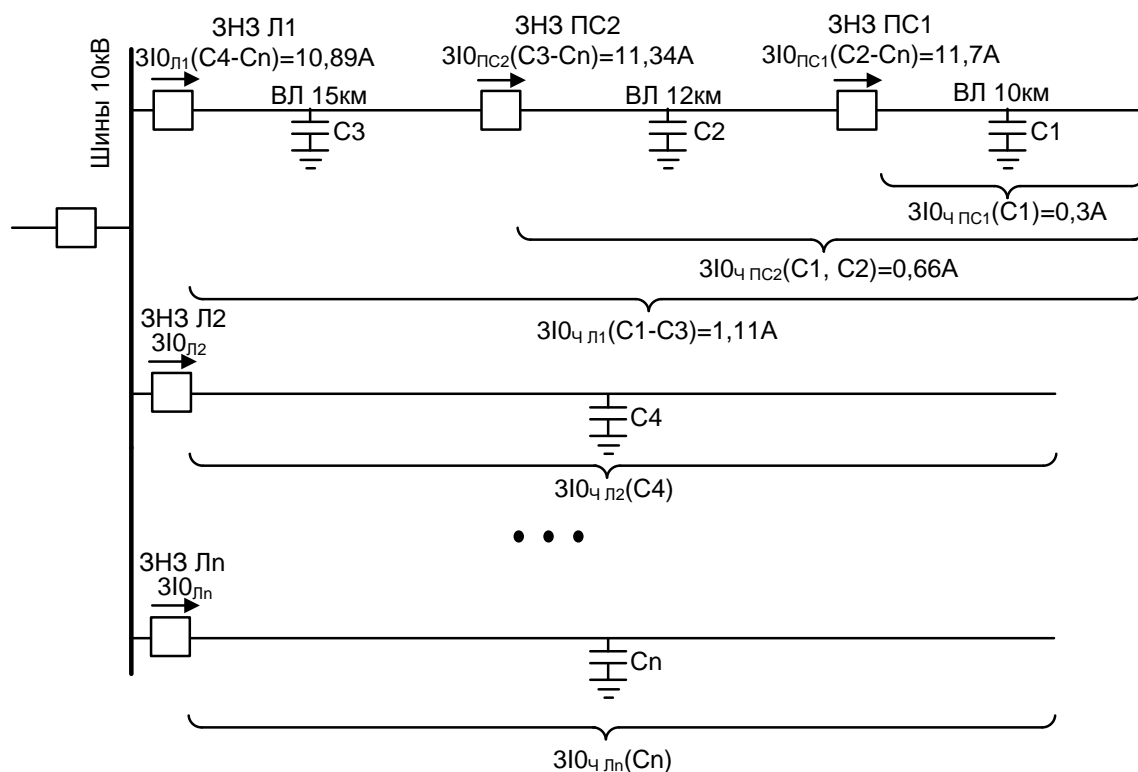


Рис. П3

Длина первого (наиболее удаленного) участка линии после пункта секционирования ПС1 составляет 10км, частичный ток нулевой последовательности, генерируемый емкостью этого участка при замыкании на землю $3I_{0ч\text{ ПС1}}=0,3\text{А}$. Ток нулевой последовательности, генерируемый емкостями всей сети за спиной защиты ЗНЗ ПС1 этого пункта секционирования (без учета компенсации) $3I_{0\text{ ПС1}}=11,7\text{А}$. Длина второго участка линии (между пунктами ПС1 и ПС2) составляет 12км. Частичный ток, генерируемый первым и вторым участками линии по отношению к ЗНЗ ПС2, $3I_{0ч\text{ ПС2}}=0,66\text{А}$. Ток нулевой последовательности, генерируемый емкостями всей сети за спиной защиты ЗНЗ ПС2 этого пункта секционирования (без учета компенсации) $3I_{0\text{ ПС2}}=11,34\text{А}$. Длина головного участка линии (между ПС2 и началом линии) – 15км. Частичный ток, генерируемый емкостью линии Л1 (ее всех участков), $3I_{0ч\text{ Л1}}=1,11\text{А}$. Ток нулевой последовательности, генерируемый емкостями всей сети за спиной защиты ЗНЗ Л1 линии (без учета компенсации) $3I_{0\text{ Л1}}=10,89\text{А}$. Максимальный ток нулевой последовательности в режиме перекомпенсации определяется параметрами системы регулирования ДГР и не превышает 0,4А. Коэффициенты трансформации трансформаторов тока нулевой последовательности во всех точках сети $n_{\text{ТТО}}=27$.

Выбор способа защиты и расчет уставок

ПЗ.1. Малые значения частичных токов замыкания на землю, генерируемых емкостями защищаемых участков линии, по сравнению с токами замыкания, генерируемыми емкостью сети за спиной без учета компенсации, позволяют предположить возможность выполнения ЗНЗ по высшим гармоникам согласно пункта 2.7 настоящих рекомендаций. Такие соотношения характерны для воздушных линий в общем случае с возможным наличием сетевых пунктов секционирования и длиной участков линии в зоне защиты, не превышающей 50км. При этом с учетом того, что частичный ток замыкания на землю при указанной длине линии 10кВ близок к 1А, а компенсация выполняется для сетей с уровнем тока замыкания на землю более 10А, получим соотношение рассматриваемых токов 1:10. Такое соотношение является характерным для воздушных линий 10 кВ в сетях.

ПЗ.2. Уставку по напряжению $3U_{0у}$ примем согласно пункту 2.1 для полноты замыкания

$$K_{\text{пол}}=3U_{0у}/3U_{0н}=0,3;$$

$$3U_{0у}=30\text{В}.$$

ПЗ.3. Выбор уставок начинаем с наиболее удаленной ЗНЗ ПС1. Согласно рекомендациям пункта 2.7.2 выполняем эту защиту по высшим гармоникам тока нулевой последовательности с независимой время токовой характеристикой. Уставка по току этой защиты, по условию отстройки от высших гармоник частичного тока замыкания на землю, согласно выражению 7.5

$$\sum 3I_{0вг\ у} \geq 0,4 * 3I_{0ч} / n_{\text{ТТО}} = 0,4 * 0,3 / 27 = 0,0044\text{А}.$$

Примем значение уставки $\sum 3I_{0вг\ у} = 0,005\text{А}$.

Коэффициент чувствительности согласно выражению 7.7

$$K_{\text{ч}} = 0,05 * 3I_{0\Sigma} / \sum 3I_{0вг\ у} * n_{\text{ТТО}} = 0,05 * 11,7 / 0,005 * 27 = 4,33 > 1,5.$$

Условие обеспечения чувствительности выполняется.

Уставку по времени согласно выражению 7.9 принимаем $T_y=0,5c$.

ПЗ.4. ЗНЗ ПС2 выполняем по высшим гармоникам тока нулевой последовательности с независимой время токовой характеристикой. Уставка по току этой защиты, по условию отстройки от высших гармоник частичного тока замыкания на землю, согласно выражению 7.5

$$\sum I_{0вг} y \geq 0,4 * I_{0ч} / n_{ТТ0} = 0,4 * 0,66 / 27 = 0,0098A.$$

Примем значение уставки $\sum I_{0вг} y = 0,01A$.

Условие согласование по чувствительности с предыдущей защитой ПС1 согласно выражению 7.6

$$\sum I_{0вг} y * n_{ТТ0} > \sum I_{0вг} y_{пред} * n_{ТТ0 пред} \\ 0,01 > 0,005.$$

Условие выполняется.

Коэффициент чувствительности согласно выражению 7.7

$$K_{ч} = 0,05 * I_{0\Sigma} / \sum I_{0вг} y * n_{ТТ0} = 0,05 * 11,34 / 0,01 * 27 = 2,1 > 1,5.$$

Условие обеспечения чувствительности выполняется.

Уставку по времени согласно выражению 7.8 принимаем

$$T_y = T_{y пред} + \Delta T = 0,5 + 0,5 = 1c.$$

ПЗ.5. ЗНЗ Л1 в голове линии выполняем по высшим гармоникам тока нулевой последовательности с зависимой времятоковой характеристикой. Уставка по току этой защиты согласно выражению 7.1

$$\sum I_{0вг} y = 0,1 * I_{0\Sigma} / n_{ТТ0} = 0,1 * 10,89 / 27 = 0,04A$$

Согласование по времени с предыдущей защитой (ЗНЗ ПС2) следует выполнять в точке зависимой характеристики нашей защиты с током, равным максимально возможному току высших гармоник в ее цепи при замыкании в зоне предыдущей защиты, который согласно выражения 7.2 составляет

$$\sum I_{0вг} \max = 0,4 * I_{0\Sigma} / n_{ТТ0} = 0,4 * 10,89 / 27 = 0,16A$$

Так как время действия предыдущей защита (ЗНЗ ПС2) составляет 1с, то при ступени селективности $\Delta T = 0,5c$ необходимое время действия защиты в голове линии в точке согласования $T_{сз} = 1,5c$. Для получения такого времени уставка защиты с зависимой характеристикой согласно выражению 7.4

$$T_y = (T_{y пред} + \Delta t) \sum I_{0вг} \max / \sum I_{0вг} y = (1 + 0,5) * 0,16 / 0,04 = 6c.$$

Такие уставки по времени следует принять если защиты на ПС1, ПС2 и в голове линии действуют на отключение. При действии на сигнал уставки по времени на ПС1, ПС2 и в голове линии не имеют принципиального значения и могут быть приняты такими же.

Дополнительно оценим, за какое максимальное время отработает защита в голове линии при значении тока высших гармоник в ее цепи, соответствующем минимально возможному уровню гармоник 5% по отношению к полному току замыкания на землю

$$\sum I_{0вг \min} = 0,05 * \sum I_{0\Sigma} / n_{ТТ0} = 0,05 * 10,89 / 27 = 0,02А;$$

$$T_{ср \max} = T_{\gamma} * \sum I_{0вг \gamma} / \sum I_{0вг \min} = 6 * 0,04 / 0,02 = 12с.$$

Пример 4. ЗНЗ в компенсированных сетях с блокирующими органами сопротивления и направления мощности нулевой последовательности.

Выбрать способ выполнения и уставки ЗНЗ воздушной линии Л1, секционированной реклоузерами, в компенсированной сети согласно рис. П4 с увеличенными по сравнению с примером 3 длинами первого и второго участков в конце линии.

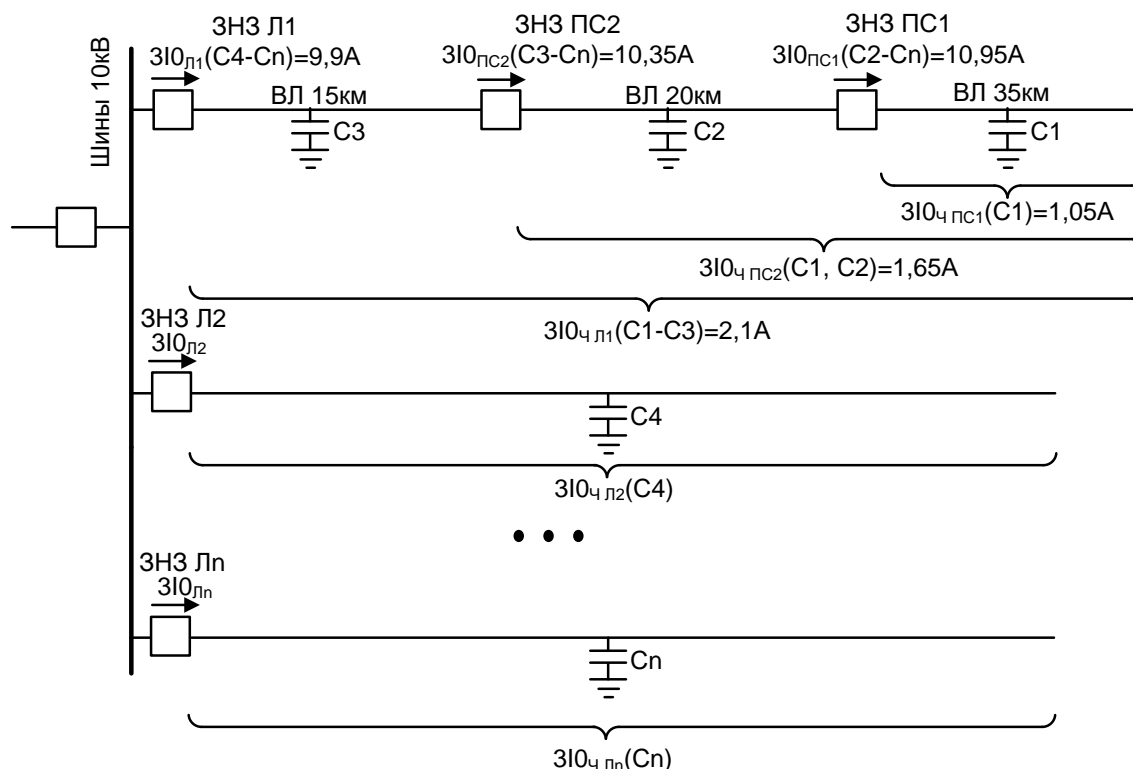


Рис. П4

Длина первого (наиболее удаленного) участка линии после пункта секционирования ПС1 составляет 35км, частичный ток нулевой последовательности, генерируемый емкостью этого участка при замыкании на землю $I_{0ч \text{ ПС1}} = 1,05А$. Ток нулевой последовательности, генерируемый емкостями всей сети за спиной защиты ЗНЗ ПС1 этого пункта секционирования (без учета компенсации) $I_{0ПС1} = 10,95А$. Длина второго участка линии (между пунктами ПС1 и ПС2) составляет 20км. Частичный ток, генерируемый первым и вторым участками линии по отношению к ЗНЗ ПС2, $I_{0ч \text{ ПС2}} = 1,65А$. Ток нулевой последовательности, генерируемый емкостями всей сети за спиной защиты ЗНЗ ПС2 этого пункта секционирования (без учета компенсации) $I_{0ПС2} = 10,35А$. Длина головного участка линии (между ПС2 и началом линии) – 15км. Частичный ток, генерируемый емкостью линии Л1 (ее всех участков), $I_{0ч \text{ Л1}} = 2,1А$. Ток нулевой последовательности, генерируемый емкостями всей сети за спиной защиты ЗНЗ Л1 линии (без учета компенсации) $I_{0Л1} = 9,9А$. Максимальный ток нулевой последовательности в режиме перекомпенсации определяется параметрами системы регулирования ДГР и не превышает 0,4А. Коэффициенты

трансформации трансформаторов тока нулевой последовательности во всех точках сети $n_{ТТ0}=27$.

Выбор способа защиты и расчет уставок

П4.1. Значительные величины частичных токов замыкания на землю, генерируемых емкостями защищаемых участков линии, по сравнению с максимальным током замыкания в режиме перекомпенсации, предполагают возможность выполнения ЗНЗ с блокирующими органами направления мощности и сопротивления нулевой последовательности. Расчеты выполняем в соответствии пунктом 2.8.

П4.2. Для пункта секционирования ПС1 проверка возможности выполнения защиты с блокирующими органами и выбор сопротивления срабатывания блокирующей ступени $Z_{0у}$ бл выполняется в соответствии с выражением 8.1:

$$\begin{aligned} 3U_{0н} * n_{ТТ0} * Kз / 3I_{0ч} \min &\leq Z_{0у} \text{ бл} \leq 3U_{0н} * n_{ТТ0} / Kз * 3I_{0пк} \max; \\ 100 * 27 * 1,5 / 1,05 &\leq Z_{0у} \text{ бл} \leq 100 * 27 / 1,5 * 0,4; \\ 3858 &\leq Z_{0у} \text{ бл} \leq 4500. \end{aligned}$$

Условие выполняется. Примем уставку $Z_{0у}$ бл посередине допустимого диапазона ее значений:

$$Z_{0у} \text{ бл} = 3858 + (4500 - 3858) / 2 = 4180 \text{ Ом.}$$

Уставки по направленности блокирующей ступени: угол максимальной чувствительности $\phi_{мч \text{ бл}} = -90^\circ$, ширина зоны срабатывания $\phi_{зон} = 170^\circ$.

Уставку по напряжению $3U_{0у}$ основной и блокирующей ступени примем согласно пункту 2.1 для полноты замыкания

$$\begin{aligned} K_{пол} &= 3U_{0у} / 3U_{0н} = 0,3; \\ 3U_{0у} &= 30В. \end{aligned}$$

Уставку по времени основной ступени согласно выражению 7.9 принимаем $T_{у} = 0,5с$.

П4.3. Для пункта секционирования ПС1 выполним дополнительную грубую ступень, действующую при отключении компенсации, с уставкой по сопротивлению нулевой последовательности в соответствии с выражением 8.2:

$$\begin{aligned} Z_{0у} \text{ гр} &\leq 3U_{0н} * n_{ТТ0} / Kз * 3I_{0к} \max; \\ Z_{0у} \text{ гр} &\leq 100 * 27 / 3 * 0,4 = 2250. \\ \text{Примем } Z_{0у} \text{ гр} &= 2000 \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Коэффициент чувствительности грубой ступени в соответствии с выражением 3.4

$$K_{ч} = Z_{0у} * 3I_{0г} / 3U_{0н} * n_{ТТ0} = 2000 * 10,95 / 100 * 27 = 8,1.$$

Уставки по направленности дополнительной грубой ступени: угол максимальной чувствительности $\phi_{мч \text{ гр}} = +90^\circ$, ширина зоны срабатывания $\phi_{зон} = 170^\circ$.

Уставки по напряжению и времени дополнительной грубой ступени примем такими же, как основной ступени:

$$3U_{0у} = 30В;$$

$$T_y=0,5c.$$

П4.4. Для пункта секционирования ПС2 проверка возможности выполнения защиты с блокирующими органами и выбор сопротивления срабатывания блокирующей ступени Z_{0y} бл выполняется в соответствии с выражением 8.1:

$$3U_{0н} * n_{ТТ0} * K_3 / 3I_{0ч} \min \leq Z_{0y} \text{ бл} \leq 3U_{0н} * n_{ТТ0} / K_3 * 3I_{0пк} \text{ max};$$

$$100 * 27 * 1,5 / 1,65 \leq Z_{0y} \text{ бл} \leq 100 * 27 / 1,5 * 0,4;$$

$$2454 \leq Z_{0y} \text{ бл} \leq 4500.$$

Условие выполняется. Примем уставку Z_{0y} бл посередине допустимого диапазона ее значений:

$$Z_{0y} \text{ бл} = 2454 + (4500 - 2454) / 2 = 3480 \text{ Ом}.$$

Уставки по направленности блокирующей ступени: угол максимальной чувствительности $\phi_{\text{мч бл}} = -90^\circ$, ширина зоны срабатывания $\phi_{\text{зон}} = 170^\circ$.

Уставку по напряжению $3U_{0y}$ основной и блокирующей ступени примем согласно пункту 2.1 для полноты замыкания

$$K_{\text{пол}} = 3U_{0y} / 3U_{0н} = 0,3;$$

$$3U_{0y} = 30В.$$

Уставку по времени согласно выражению 7.8 принимаем

$$T_y = T_y \text{ пред} + \Delta T = 0,5 + 0,5 = 1c.$$

П4.5. Для пункта секционирования ПС2 выполним дополнительную грубую ступень, действующую при отключении компенсации, с уставкой по сопротивлению нулевой последовательности в соответствии с выражением 8.2:

$$Z_{0y} \text{ гр} \leq 3U_{0н} * n_{ТТ0} / K_3 * 3I_{0к} \text{ max};$$

$$Z_{0y} \text{ гр} \leq 100 * 27 / 3 * 0,4 = 2250.$$

С учетом согласования по чувствительности с грубой ступенью ПС1 (2000 Ом) примем

$$Z_{0y} \text{ гр} = 1800 \text{ Ом}.$$

Коэффициент чувствительности грубой ступени в соответствии с выражением 3.4

$$K_{\text{ч}} = Z_{0y} * 3I_{0\sum} / 3U_{0н} * n_{ТТ0} = 1800 * 10,35 / 100 * 27 = 6,9.$$

Уставки по направленности дополнительной грубой ступени: угол максимальной чувствительности $\phi_{\text{мч гр}} = +90^\circ$, ширина зоны срабатывания $\phi_{\text{зон}} = 170^\circ$.

Уставки по напряжению и времени дополнительной грубой ступени примем такими же, как основной ступени:

$$3U_{0y} = 30В;$$

$$T_y = 1c.$$

П4.6. Для защиты в голове линии Л1 проверка возможности выполнения защиты с блокирующими органами и выбор сопротивления срабатывания блокирующей ступени Z_{0y} бл выполняется в соответствии с выражением 8.1:

$$3U0н * n_{тто} * Kз / 3I0ч \min \leq Z0у \text{ бл} \leq 3U0н * n_{тто} / Kз * 3I0к \text{ max};$$

$$100 * 27 * 1,5 / 2,1 \leq Z0у \text{ бл} \leq 100 * 27 / 1,5 * 0,4;$$

$$1928 \leq Z0у \text{ бл} \leq 4500.$$

Условие выполняется. Примем уставку $Z0у \text{ бл}$ посередине допустимого диапазона ее значений:

$$Z0у \text{ бл} = 1928 + (4500 - 1928) / 2 = 3214 \text{ Ом}.$$

Уставки по направленности блокирующей ступени: угол максимальной чувствительности $\phi_{мч \text{ бл}} = -90^\circ$, ширина зоны срабатывания $\phi_{зон} = 170^\circ$.

Уставку по напряжению $3U0у$ основной и блокирующей ступени примем согласно пункту 2.1 для полноты замыкания

$$K_{пол} = 3U0у / 3U0н = 0,3;$$

$$3U0у = 30В.$$

Уставку по времени согласно выражению 7.8 принимаем

$$Tу = Tу \text{ пред} + \Delta T = 1 + 0,5 = 1,5с.$$

П4.7. Для защиты в голове линии Л1 выполним дополнительную грубую ступень, действующую при отключении компенсации, с уставкой по сопротивлению нулевой последовательности в соответствии с выражением 8.2:

$$Z0у \text{ гр} \leq 3U0н * n_{тто} / Kз * 3I0к \text{ max};$$

$$Z0у \text{ гр} \leq 100 * 27 / 3 * 0,4 = 2250.$$

С учетом согласования по чувствительности с грубой ступенью ПС2 (1800 Ом) примем

$$Z0у \text{ гр} = 1600 \text{ Ом}.$$

Коэффициент чувствительности грубой ступени в соответствии с выражением 3.4

$$Kч = Z0у * 3I0_{\Sigma} / 3U0н * n_{тто} = 1600 * 9,9 / 100 * 27 = 5,9.$$

Уставки по направленности дополнительной грубой ступени: угол максимальной чувствительности $\phi_{мч \text{ гр}} = +90^\circ$, ширина зоны срабатывания $\phi_{зон} = 170^\circ$.

Уставки по напряжению и времени дополнительной грубой ступени примем такими же, как основной ступени:

$$3U0у = 30В;$$

$$Tу = 1,5с.$$

Выводы по результатам рассмотрения примеров 3 и 4

В примерах 3 и 4 рассмотрены противоположные сочетания внешних условий выполнения ЗНЗ в компенсированных сетях. Условия примера 3 распространяются на короткие линии или их защищаемые участки, для которых частичный ток замыкания на землю, генерируемый собственной емкостью линии или ее участка, значительно меньше полного тока замыкания на землю всей сети, генерируемого ее емкостью за спиной без учета компенсации. В этом случае, как в голове линии, так и на сетевых пунктах

секционирования для селективной защиты может применяться ЗНЗ по высшим гармоникам тока нулевой последовательности. Условия примера 4 ориентированы на достаточно длинные линии или их участки. При этом может применяться ЗНЗ с блокирующими органами сопротивления и направления мощности нулевой последовательности, если частичный ток замыкания на землю защищаемых участков линии превышает максимальное значение тока замыкания на землю в режиме перекомпенсации не менее чем в 2,5 раза. Таким образом, для коротких участков линий после места установки защиты обычно может применяться ЗНЗ по высшим гармоникам, а для длинных – ЗНЗ с блокирующими органами. Достаточно редко, при определенном сочетании частичного и полного тока замыкания на землю, а также тока в режиме перекомпенсации, может оказаться невозможным применение обоих рассматриваемых способов ЗНЗ. Такая вынужденная ситуация иногда может возникнуть только на сетевых пунктах секционирования, а в голове линий, отходящих от общей секции шин подстанции, всегда применима ЗНЗ по высшим гармоникам с зависимыми время токовыми характеристиками. В этих редких случаях при указанной вынужденной ситуации на пунктах секционирования придется довольствоваться неселективной сигнализацией или отсутствием земляной защиты. При этом селективная работа ЗНЗ в голове линии минимизирует проблемы и неудобства, связанные с отсутствием селективной ЗНЗ на пункте секционирования.

Литература

1.А. Эрдэнэбилэг, А. Манбеджанов и др. Оценка составляющих тока однофазного замыкания на землю при проведении натуральных экспериментов в сетях среднего класса напряжений различного назначения. Вестник Чувашского университета, 2016, №3.

2.Т.Ю. Винокурова, Е.С. Шагурина, В.А. Шуин. Методика выбора параметров срабатывания максимальных токовых защит от замыканий на землю на основе высших гармоник в компенсированных кабельных сетях 6-10кВ. Вестник ИГЭУ, выпуск 3, 2015г.

3.М.А. Шабад. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. Петербургский энергетический институт повышения квалификации... 2003г.

**Методические указания по выбору уставок токовой защиты
обратной последовательности (ТЗОП) всех типов терминалов серий
PC83 и PC830 для сетей 6-110 кВ**

Список сокращений:

ТЗОП – токовая защита обратной последовательности;

МТЗ – максимальная токовая защита;

КЗ – короткое замыкание.

Организация токовых защит обратной последовательности (ТЗОП) устройств серий РС83 и РС830. Особенности выбора уставок при разном назначении ТЗОП

Токовые защиты обратной последовательности (ТЗОП) в устройствах серии РС83 и РС830 выполнены ненаправленными. Во всех устройствах серии РС83 и в устройстве защиты двигателя серии РС830 ступени ТЗОП могут иметь зависимую или независимую ампер секундную характеристику. В других устройствах серии РС830 ступени ТЗОП выполнены с независимой ампер секундной характеристикой. Пуск ступеней ТЗОП в устройствах серии РС83 осуществляется по току обратной последовательности I_2 , а в устройствах серии РС830 – по току обратной последовательности или отношению токов обратной и прямой последовательности I_2/I_1 (выбирается уставкой). Вариант защиты с пуском по отношению I_2/I_1 предназначен для выполнения защиты от обрыва провода на нагруженном участке линии.

ТЗОП может применяться в качестве защиты присоединений сети с повышенной чувствительностью к несимметричным КЗ, в качестве защиты от обрыва провода на нагруженном участке линии и в качестве эффективной защиты нагруженных двигателей от неполнофазных режимов (л.1). Во всех случаях ток срабатывания ТЗОП должен выбираться по условиям отстройки от небаланса фильтра и несимметрии нагрузок защищаемого присоединения. Кроме того, так как в рассматриваемых устройствах ТЗОП выполнена не направленной, то с целью обеспечения селективности она должна быть отстроена от несимметричных КЗ на других присоединениях сети (л.1). Для случая применения ТЗОП в качестве защиты присоединения сети с повышенной чувствительностью к несимметричным КЗ указанная отстройка может осуществляться по времени (от времени действия защит смежных присоединений) или по току (от тока обратной последовательности в нагрузке защищаемого присоединения, возникающего под действием напряжения обратной последовательности, вызванного несимметричным КЗ на другом присоединении). Для случаев применения ТЗОП в качестве защиты от обрыва провода на нагруженном участке линии и от неполнофазных режимов двигателей указанная отстройка должна выполняться только по времени. Отстройка по времени от режима несимметричного КЗ на другом присоединении получается лучше в случае применения на всех присоединениях ТЗОП с зависимой ампер секундной характеристикой, так как поврежденное присоединение обтекает максимальным током обратной последовательности (л.1). При этом на всех присоединениях должны применяться защиты по I_2 с одинаковыми видами ампер секундных характеристик и максимально близкими значениями токов срабатывания в первичных единицах.

ТЗОП также должна согласовываться по чувствительности и по времени с предыдущими защитами.

Чувствительность ТЗОП, применяемой в качестве защиты присоединений сети с повышенной чувствительностью к несимметричным КЗ, определяется при указанном виде КЗ в удаленной точке сети через переходное сопротивление. При этом расчетным видом КЗ с минимальным током часто может оказаться двойное замыкание на землю через два переходных сопротивления.

Чувствительность ТЗОП, применяемой в качестве защиты от неполнофазных режимов двигателей, проверяется при значении напряжения обратной последовательности, равного 0,5 номинального напряжения сети в точке установки двигателя с учетом сопротивления обратной последовательности рассматриваемого двигателя в нагруженном режиме.

1.ТЗОП как защита присоединения сети с повышенной чувствительностью к несимметричным коротким замыканиям.

1.1. Уставка по току срабатывания I_{2cp} по условию отстройки от небаланса фильтра и не симметрии нагрузки

$$I_{2cp} \geq 0,1 I_{раб\ max} / n_{тт},$$

где $I_{раб\ max}$ – максимальный рабочий ток защищаемого присоединения (первичное значение).

1.2. Отстройка по току от не симметричных КЗ на других присоединениях выполняется для случая возникновения максимального напряжения обратной последовательности в точке повреждения, равного 0,5 номинального напряжения.

1.2.1. Уставка по току срабатывания I_{2cp} по условию отстройки от несимметричных КЗ на других присоединениях

$$I_{2cp} \geq 0,5 I_{раб\ max} \cdot U_n / Z_{2н\ о.е} n_{тт},$$

где:

- $I_{раб\ max}$ – максимальный рабочий ток присоединения, от которого выполняется отстройка (первичное значение);

- U_n – номинальное напряжение присоединения, от которого выполняется отстройка;

- U_n – номинальное напряжение рассматриваемого присоединения;

- $n_{тт}$ – коэффициент трансформации трансформаторов тока рассматриваемого присоединения;

- $Z_{2н\ о.е.}$ сопротивление обратной последовательности нагрузки в относительных единицах.

1.2.2. Сопротивление обратной последовательности нагрузки в относительных единицах $Z_{2н\ о.е.}$ принимается:

- для чисто двигательной нагрузки – 0,25 или по паспортным данным двигателей;

- для чисто статической нагрузки – 1;

- для обобщенной нагрузки с большим содержанием двигателей – 0,35 (л.1).

1.3. Согласование по чувствительности с предыдущими защитами.

1.3.1. Условие согласования по чувствительности ТЗОП по I_2 с предыдущей ТЗОП по I_2

$$I_{2cp} \geq K_n I_{2cp\ пред} n_{тт\ пред} / n_{тт},$$

где:

- I_{2cp} – ток срабатывания рассматриваемой защиты;

- $I_{2cp\ пред}$ – ток срабатывания предыдущей защиты;

- K_n – коэффициент надежности согласования, $K_n = 1,2$;

- $n_{тт\ пред}$ – коэффициент трансформации трансформаторов тока предыдущего присоединения;

- птт – коэффициент трансформации трансформаторов тока рассматриваемого присоединения.

1.3.2. Условие согласования по чувствительности ТЗОП по $I_{2ср}$ с предыдущей МТЗ по фазному току

$$I_{2ср} \geq K_{нср} \text{ пред птт пред } / \sqrt{3} \text{ птт,}$$

где:

- $I_{ср}$ пред – ток срабатывания предыдущей МТЗ;

1.4. Если отстройка от несимметричных КЗ на других присоединениях по току в соответствии с пунктом 1.2 приводит к недопустимому заглублению защиты, то указанную отстройку можно выполнить по времени. При этом время действия ТЗОП должно приниматься на ступень селективности больше максимального времени действия защит от КЗ любого другого присоединения.

1.5. Если на всех связанных присоединениях может быть применена ТЗОП с зависимой ампер секундной характеристикой то взаимная отстройка от несимметричных КЗ на других присоединениях должна выполняться путем использования на всех присоединениях одинаковых видов ампер секундных характеристик и выбора одинакового значения приведенных токов срабатывания этих защит.

1.6. Для выполнения одинаковых приведенных токов срабатывания защит по пункту 1.5 принимают одно из присоединений за базисное, приводят все токи срабатывания защит к параметрам базисного присоединения, выбирают максимальный из приведенных токов срабатывания ТЗОП и принимают его в качестве приведенного тока срабатывания для всех присоединений. Приведенный ток срабатывания для любого присоединения $I_{2ср}$ пр определяется выражением

$$I_{2ср} \text{ пр} = I_{2ср} \text{ р птт } U_{нб} / \text{ птт б } U_{нб},$$

где:

$I_{2ср} \text{ р}$ – расчетный ток срабатывания защиты на рассматриваемом присоединении;

птт б – коэффициент трансформации трансформаторов тока на базисном присоединении;

$U_{нб}$ – номинальное напряжение на базисном присоединении;

птт – коэффициент трансформации трансформаторов тока на рассматриваемом присоединении;

$U_{н}$ – номинальное напряжение на рассматриваемом присоединении.

1.7. Для определения реального тока срабатывания защиты на любом присоединении $I_{2ср}$ выбирается максимальный из приведенных токов срабатывания присоединений $I_{2ср} \text{ пр}$ мах, определяемых по пункту 1.6, и выполняется его приведение к параметрам данного присоединения в соответствии с выражением

$$I_{2ср} = I_{2ср} \text{ пр мах птт б } U_{нб} / \text{ птт } U_{н}$$

1.8. В качестве уставки принимается максимальный из токов срабатывания по пунктам 1.1, 1.3.1, 1.3.2 и 1.2.1 или 1.7.

1.9. Время срабатывания ТЗОП как защиты присоединений сети с повышенной чувствительностью к несимметричным КЗ $T_{ср}$ должно быть на ступень селективности больше времени действия предыдущей защиты $T_{ср} \text{ пред}$, с которой выполняется согласование:

$$T_{ср} \geq T_{ср \text{ пред}} + \Delta T.$$

1.10. Время срабатывания ТЗОП как защиты присоединений сети с повышенной чувствительностью к несимметричным КЗ $T_{ср}$ должно быть на ступень селективности больше времени действия защиты $T_{ср}'$ на других присоединениях, от которых не выполнена отстройка по току согласно пункту 1.2.1:

$$T_{ср} \geq T_{ср}' + \Delta T.$$

1.11. Если для группы присоединений действие защит взаимно согласовывается путем использования зависимых характеристик согласно пунктов 1.5-1.7, то уставка по времени зависимой характеристики T_y з должна выбираться на ступень селективности больше времени действия других МТЗ или защит по I_2 , не имеющих зависимой характеристики $T_{ср \text{ нз}}$:

$$T_y \geq T_{ср \text{ нз}} + \Delta T.$$

1.12. В качестве уставки следует принимать максимальное из значений по пунктам 1.9-1.11.

1.13. Коэффициент чувствительности ТЗОП, используемой в качестве защиты от несимметричных КЗ с повышенной чувствительностью, в зависимости от назначения защиты определяется при металлическом двухфазном КЗ в удаленной точке сети, при двухфазном КЗ через дугу или при двойном замыкании на землю через два сопротивления заземляющих устройств опор

$$K_{ч} = I_{к^{(2)}} / \sqrt{3} I_{2y},$$

где:

- $I_{к^{(2)}}$ – ток двухфазного КЗ в расчетной точке (вторичное значение);
- I_{2y} – принятая уставка по току ТЗОП.

1.14. Если ТЗОП предназначена для работы при дуговых КЗ, то при определении тока КЗ $I_{к^{(2)}}$ по пункту 1.13 следует учитывать активное сопротивление дуги. Величина сопротивления дуги (первичное значение) может приниматься в соответствии с выражением (л.1)

$$R_{д} = 1050 L_{д} / I_{д},$$

где:

- $L_{д}$ – длина дуги, м;
- $I_{д}$ – ток в дуге, А.

С учетом возможного вытягивания дуги ветром за время действия ступени $L_{д}$ рекомендуется принимать равным:

- при времени действия ступени 0 с – расстоянию между проводами линии;
- при времени действия ступени 0.5-1 с – 3-5 расстояний между проводами линии;
- при времени действия ступени 1,5 с и более – 7-10 расстояний между проводами линии.

Ток в дуге $I_{д}$ для определения коэффициента чувствительности принимается на пороге срабатывания ТЗОП в соответствии с выражением

$$I_{д} = \sqrt{3} I_{2y} \text{ птт.}$$

Для расчета тока двухфазного КЗ с учетом сопротивления дуги при определении сопротивления одной фазы цепи КЗ следует подставлять половину рассчитанного по этой методике сопротивления дуги.

1.15. Если ТЗОП предназначена для работы при двойных замыканиях на землю, то сопротивление каждой из двух опор, участвующих в расчетной схеме режима КЗ, может приниматься 10-30 Ом первичных (л.1).

2. ТЗОП как защита двигателя от неполнофазных режимов.

Неполнофазный режим опасен для нагруженного двигателя возрастанием тока в неповрежденных фазах до величины 1,5 – 2 номинального (л.2). Анализ способов защиты двигателей от неполнофазных режимов дает следующее. В неполнофазном режиме возникает напряжение обратной последовательности U_2 , величиной около 0,5 номинального. Сопротивление обратной последовательности обобщенной нагрузки с большим содержанием двигателей $Z_{2н}$ в относительных единицах составляет 0,35 (л.1). При этом ток обратной последовательности такой двигательной нагрузки составит $I_2=0,5/0,35=1,43$ номинального. Для чисто двигательной нагрузки эта величина еще больше. Таким образом, при неполнофазном режиме возникает напряжение и ток обратной последовательности, по которым указанный режим может быть выявлен. Причем ток обратной последовательности возникает именно в нагруженном двигателе, для которого опасен неполнофазный режим. Кроме того, относительное возрастание тока (1,43) почти втрое больше относительного возрастания напряжения (0,5). Поэтому защита от неполнофазного режима нагруженных двигателей эффективно получается именно в виде ТЗОП.

2.1. Уставка по току срабатывания $I_{2ср}$ по условию отстройки от небаланса фильтра и не симметрии нагрузки

$$I_{2ср} \geq 0,1 I_{раб\ max} / n_{тт},$$

где $I_{раб\ max}$ – максимальный рабочий ток защищаемого двигателя (двигателей) – первичное значение.

2.2. Если ТЗОП предназначена для отключения двигателей при неполнофазных режимах независимо от их загрузки (например, по условиям технологического процесса) то определяющим для выбора уставки по I_2 является условие 2.1. Если ТЗОП предназначена для предотвращения недопустимой перегрузки двигателя по току в неполнофазном режиме, то рекомендуется принимать значение уставки

$$I_{2ср} = 0,6 I_{раб\ max} / n_{тт}.$$

В этом случае ток нагрузки в неповрежденных фазах двигателя в неполнофазном режиме не будет превышать 1,1 номинального.

2.3. Время срабатывания ТЗОП как защиты двигателей от неполнофазных режимов $T_{ср}$ должно быть на ступень селективности больше времени действия защиты от КЗ $T_{ср}^`$ на всех связанных с данным присоединениях:

$$T_{ср} \geq T_{ср}^` + \Delta T.$$

2.4. Коэффициент чувствительности ТЗОП как защиты от неполнофазных режимов нагруженного двигателя

$$K_{\text{ч}}=0,5I_{\text{н}}/ I_{2\text{ср}} Z_{2\text{н}} \text{ птт,}$$

где:

- $I_{\text{н}}$ – ток нагруженного двигателя (первичное значение);
- $Z_{2\text{н}}$ – сопротивление обратной последовательности нагруженного двигателя в относительных единицах, приведенное к его номинальным параметрам. Обычно $Z_{2\text{н}}=0,25-0,3$.

3. ТЗОП с пуском по отношению I_2/I_1 как защита от обрыва провода на нагруженном участке линии.

ТЗОП с пуском по отношению I_2/I_1 в зависимости от соотношения нагрузок за поврежденным участком и на головном участке линии может обеспечить или нет выявление указанного вида повреждения.

3.1. Уставка по относительной величине тока срабатывания $(I_2/ I_1)_{\text{ср}}$ по условию отстройки от небаланса фильтра и не симметрии нагрузки

$$(I_2/ I_1)_{\text{ср}} \geq 0,1.$$

3.2. Время срабатывания ТЗОП как защиты от обрыва провода на нагруженном участке линии $T_{\text{ср}}$ должно быть на ступень селективности больше времени действия защиты от КЗ $T_{\text{ср}}^{\text{`}}$ на всех связанных с данным присоединениях:

$$T_{\text{ср}} \geq T_{\text{ср}}^{\text{`}} + \Delta T.$$

3.3. Коэффициент чувствительности ТЗОП как защиты от обрыва провода на нагруженном участке линии по отношению I_2/ I_1 для случая обрыва на конкретном участке

$$K_{\text{ч}}=0,5 I_{\text{нп}}/ Z_{2\text{н}} I_{\text{нг}}(I_2/ I_1)_{\text{ср}},$$

где:

- $I_{\text{нп}}$ – расчетный ток нагрузки в нормальном режиме после точки повреждения;
- $Z_{2\text{н}}$ – сопротивление обратной последовательности нагрузки после точки повреждения в относительных единицах, для обобщенной нагрузки $Z_{2\text{н}}=0,35$, для статической нагрузки (без двигателей) $Z_{2\text{н}}=1$;
- $I_{\text{нг}}$ – расчетный ток нагрузки на головном участке.

Коэффициент чувствительности может быть определен для случая обрыва на каждом из участков линии. Для участков, при повреждениях на которых $K_{\text{ч}} \geq 1,2$, с учетом погрешностей работы устройства и необходимого запаса можно утверждать, что защита срабатывает. Для повреждения на других участках следует считать защиту не чувствительной.

Литература

1. Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем. Учебник для вузов. М. «Энергия», 1976.
2. Беркович М.А. и др. Основы техники релейной защиты. М. Энергоатомиздат, 1984.
3. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. Ленинград, «Энергоатомиздат», 1985.

**Методические указания по выбору уставок защит устройства
РС830-В2**

Список сокращений:

ЗМН – защита минимального напряжения;

ЗПН – защита максимального напряжения (от повышения напряжения);

ЗНЗ – защита от замыканий на землю;

БНН – блокировка при неисправности цепей напряжения;

АВР – автоматическое включение резерва;

Состав защит по напряжению устройства РС830-В2 и особенности выбора уставок при их различном назначении

Устройство РС830-В2 содержит 4 ступени защиты минимального напряжения (ЗМН), 4 ступени защиты от повышения напряжения (ЗПН), 2 ступени защиты по напряжению обратной последовательности U_{2max} , 4 ступени защиты от замыканий на землю (ЗНЗ) по напряжению нулевой последовательности $3U_0$, блокировку при неисправности цепей напряжения по схеме треугольник/звезда БНН1 и блокировку при неисправности цепи $3U_0$ БНН2.

Каждая из защит устройства в зависимости от необходимости может быть использована по разному назначению. Выбор уставок перечисленных защит непосредственно связан с назначением, по которому используется каждая из них.

1.ЗМН.

ЗМН может быть использована:

- как защита, предотвращающая работу оборудования при недопустимом снижении напряжения;
- как защита, запрещающая самозапуск двигателей по условиям технологического процесса или условиям безопасности;
- как защита, обеспечивающая самозапуск ответственных двигателей путем отключения части неответственных (л.2);
 - для пуска токовых защит с пуском минимального напряжения;
 - для пуска АВР.

1.1. ЗМН как защита, предотвращающая работу оборудования при недопустимом снижении напряжения

1.1.1. Напряжение срабатывания ЗМН (вторичное значение)

$$U_{ср} \geq U_{доп \min} / K_{тн},$$

где:

- $U_{доп \min}$ – допустимое минимальное напряжение на защищаемом оборудовании;
- $K_{тн}$ – коэффициент трансформации трансформаторов напряжения.

1.1.2. Вводят блокировку по БНН 1.

1.1.3. В зависимости от режима нейтрали и схемы подключения оборудования, защищаемого от недопустимого снижения напряжения, вводят работу ЗМН с параметром:

- Вкл ЗМНф – если защищаемое оборудование чувствительно к снижению фазных напряжений;
- Вкл ЗМНл – если защищаемое оборудование чувствительно к снижению линейных напряжений.

1.1.4. Логика работы ЗМН назначают по «ИЛИ» (срабатывание при снижении любого из контролируемых напряжений).

1.1.5. Время срабатывания ЗМН $T_{ср}$ выбирают по условиям отстройки от времени действия защит от коротких замыканий $T_{ср \text{ кз}}$:

$$T_{ср} = T_{ср\ кз} + \Delta T,$$
$$\Delta T = 0,5 \text{ с.}$$

1.2. ЗМН как защита, запрещающая самозапуск отдельных двигателей по условиям технологического процесса или условиям безопасности

При снижении напряжения ниже уставки ЗМН отключает защищаемые двигатели.

1.2.1. Напряжение срабатывания ЗМН (вторичное значение) по условиям срабатывания при самозапуске

$$U_{ср} \geq U_{сз} / K_{тн},$$

где $U_{сз}$ – значение, до которого снижается напряжение в данной сети при самозапуске двигателей.

1.2.2. Вводят блокировку по БНН 1.

1.2.3. Напряжение срабатывания ЗМН (вторичное значение) по условиям несрабатывания при отклонениях напряжения в нормальном режиме

$$U_{ср} < U_{\min} / K_{тн},$$

где U_{\min} – минимальное напряжение в нормальном режиме (без учета самозапуска).

1.2.4. С учетом условий 1.2.1 и 1.2.3 напряжение срабатывания ЗМН при значительном содержании двигателей в нагрузке обычно составляет около 0,7 номинального напряжения.

1.2.5. Выбирают уставку Вкл ЗМНл.

1.2.6. Логiku работы ЗМН назначают по «И» (срабатывание при снижении всех контролируемых напряжений).

1.2.7. Время срабатывания ЗМН $T_{ср}$ выбирают по условиям отстройки от времени действия защит от коротких замыканий $T_{ср\ кз}$:

$$T_{ср} = T_{ср\ кз} + \Delta T,$$
$$\Delta T = 0,5 \text{ с.}$$

1.3. ЗМН как защита, обеспечивающая самозапуск ответственных двигателей путем отключения части неответственных

При таком назначении уставки ЗМН выбираются так же как уставки ЗМН, запрещающей самозапуск отдельных двигателей по условиям технологического процесса или условиям безопасности согласно 1.2, но действие защиты выполняется не на отключение защищаемого двигателя, а на отключение других присоединений, содержащих неответственные двигатели.

1.4. ЗМН для пуска токовых защит с пуском минимального напряжения

ЗМН действует на разрешение работы токовых защит, пускаемых по напряжению.

1.4.1. Напряжение срабатывания ЗМН (вторичное значение) выбирается по условиям отстройки от самозапуска двигательной нагрузки (л.3)

$$U_{ср} \leq U_{сз} / K_{н} K_{в} K_{тн},$$

где $K_{н}$, $K_{в}$ – соответственно коэффициент надежности и коэффициент возврата.

С учетом реальных характеристик устройства РС830-В2 можно принять минимальное значение $K_{в} = 1,1$ (л.2), необходимое для повышения чувствительности защиты по напряжению.

1.4.2. Вводят блокировку по БНН 1.

1.4.3. Работу ЗМН вводят с параметром:

- Вкл ЗМНф – если пускаемая токовая защита предназначена для работы при однофазных КЗ;
- Вкл ЗМНл – если пускаемая токовая защита предназначена для работы при междуфазных КЗ.

1.4.4. Логику работы ЗМН назначают по «ИЛИ» (срабатывание при снижении любого из контролируемых напряжений).

1.4.5. Время срабатывания ЗМН Т_{ср} выбирают

$$T_{ср}=0$$

1.5. ЗМН для пуска АВР

1.5.1. Напряжение срабатывания ЗМН (вторичное значение) выбирается по условиям отстройки от самозапуска двигателей нагрузки

$$U_{ср} \leq U_{сз} / K_n K_v K_{тн}$$

В соответствии с приведенным условием, а также с учетом допустимости по условиям чувствительности выполнения повышенных запасов, напряжение срабатывания ЗМН может составить 0,3-0,4 номинального напряжения.

1.5.2. Вводят блокировку по БНН 1.

1.5.3. Работу ЗМН вводят с параметром:

- Вкл ЗМНл.

1.5.4. Логику работы ЗМН назначают по «ИЛИ».

1.5.5. Время срабатывания ЗМН может приниматься Т_{ср}=0 если не срабатывание при КЗ в защищаемой сети предусматривается самой логикой работы АВР.

1.5.6. Если не срабатывание АВР при КЗ в сети не предусмотрено его логикой, то время срабатывания ЗМН Т_{ср} выбирают по условиям отстройки от времени действия защит от коротких замыканий Т_{ср} кз:

$$T_{ср} = T_{ср\ кз} + \Delta T,$$

$$\Delta T = 0,5 \text{ с.}$$

1.5.7. Если присоединения, для которых восстанавливается питание с помощью АВР, оборудованы АПВ и время срабатывания АВР определяется выдержкой ЗМН, то время срабатывания ЗМН должно быть отстроено от длительности полного цикла действия защиты - отключения выключателя - действия АПВ - включения выключателя.

1.6. Уставки ступеней ЗМН сводятся в таблицу

Таблица 1 – Уставки ЗМН

Наименование уставки	Диапазон	Значение
Разрешение защиты	Вкл ЗМНф, Вкл ЗМНл, Вкл U1л, Откл	
Логика работы	«И», «ИЛИ»	
Усраб., В	от 1 до 150, с шагом 0,01	
Коэф. возврата при ЗМНл, ЗМНф, U1min	1,05	
Тср., с	от 0 до 300, с шагом 0,01	
Разрешение блокировки по пуску БНН1	Вкл, Откл	

2.3ПН.

ЗПН может быть использована:

- как защита, предотвращающая работу оборудования при недопустимом повышении напряжения;
- для пуска восстановления нормального режима после АВР.

2.1. ЗПН как защита, предотвращающая работу оборудования при недопустимом повышении напряжения

ЗПН действует на отключение оборудования, критичного к повышению напряжения.

2.1.1. Напряжение срабатывания ЗПН (вторичное значение)

$$U_{ср} \leq U_{доп \max} / K_{тн},$$

где:

- $U_{доп \max}$ – допустимое максимальное напряжение на защищаемом оборудовании;
- $K_{тн}$ – коэффициент трансформации трансформаторов напряжения.

2.1.2.С целью предотвращения избыточного срабатывания ЗПН за счет перекоса напряжений при неисправности цепей напряжения вводят блокировку по БНН1.

1.1.3. В зависимости от режима нейтрали и схемы подключения оборудования, защищаемого от недопустимого повышения напряжения, вводят работу ЗПН с параметром:

- Вкл ЗПНф – если защищаемое оборудование чувствительно к повышению фазных напряжений;
- Вкл ЗПНл – если защищаемое оборудование чувствительно к повышению линейных напряжений.

1.1.4. Логика работы ЗПН назначают по «ИЛИ» (срабатывание при повышении любого из контролируемых напряжений).

1.1.5. Время срабатывания ЗПН выбирается не превосходящим допустимое время нахождения защищаемого оборудования под напряжением, равном предельному.

2.2. ЗПН для пуска восстановления нормального режима после АВР

2.2.1. Напряжение срабатывания ЗПН $U_{ср}$ (вторичное значение) выбирается по условию надежного срабатывания при минимальном значении напряжения U_{\min} в нормальном режиме

$$U_{ср} \leq U_{\min} / K_{н} K_{тн}$$

При реальных значениях параметров может быть получено значение напряжения срабатывания меньше или равно 0,8 номинального напряжения.

2.2.2. Для предотвращения действия восстановления нормального режима при неисправности цепей напряжения вводят блокировку по БНН1.

2.2.3. Работу ЗПН вводят с параметром Вкл ЗПНл.

2.2.4. Логика работы ЗПН назначают по «И».

2.2.5. Время срабатывания ЗПН в функции пуска восстановления нормального режима может приниматься любым. С целью повышения помехоустойчивости его рекомендуется принимать не менее 0,5 с.

2.3. Уставки ступеней ЗПН сводятся в таблицу

Таблица 2 – Уставки ЗПН

Наименование уставки	Диапазон	Значение
Разрешение защиты	Вкл ЗПНф, Вкл ЗПНл, Откл	
Логика работы	«И», «ИЛИ»	
Усраб., В	от 1 до 150, с шагом 0,01	
Коэф. возврата	0,95	
Тср., с	от 0 до 300, с шагом 0,01	
Разрешение блокировки по пуску БНН1	Вкл, Откл	

3. Защита по напряжению обратной последовательности U_{2max}

Защита по напряжению обратной последовательности может быть использована:

- для пуска при несимметричных КЗ токовой защиты с пуском по напряжению;
- как защита от неполнофазного режима.

3.1. Защита по напряжению обратной последовательности для пуска при несимметричных КЗ токовой защиты с пуском по напряжению

3.1.1. Напряжение срабатывания защиты выбирается по условию отстройки от небаланса фильтра (л.3)

$$U_{2cp} \geq 0,07U_n,$$

где U_n – номинальное напряжение.

3.1.2. Вводят блокировку по БНН 1.

3.1.3. Время срабатывания защиты принимается $T_{ср}=0$.

3.2. Защита по напряжению обратной последовательности как защита от неполнофазного режима

3.2.1. Напряжение срабатывания защиты выбирается по условию отстройки от небаланса фильтра

$$U_{2cp} \geq 0,07U_n$$

3.2.2. Вводят блокировку по БНН 1.

3.2.3. Время срабатывания защиты $T_{ср}$ выбирают по условиям отстройки от времени действия защит от коротких замыканий $T_{ср} кз$:

$$T_{ср} = T_{ср кз} + \Delta T,$$

$$\Delta T = 0,5 \text{ с.}$$

3.3. Уставки защиты сводятся в таблицу

Таблица 3 – Уставки U_{2max}

Наименование уставки	Диапазон	Значение
Разрешение защиты	Вкл, Откл	
Усраб., В	от 1 до 150, с шагом 0,01	
Коэф. возврата	0,95	
Тср., с	от 0 до 300, с шагом 0,01	
Разрешение блокировки по пуску БНН1	Вкл, Откл	

4.Защита от замыканий на землю (ЗНЗ) по напряжению нулевой последовательности

Защита используется для неселективной сигнализации замыканий на землю в сетях с малыми токами замыкания на землю.

4.1. Напряжение срабатывания защиты рекомендуется принимать 0,15 номинального напряжения обмотки ЗУО трансформатора напряжения (л.4).

4.2. Вводят блокировку по БНН 2.

4.3. Время срабатывание защиты $T_{ср}$ выбирают по условиям отстройки от времени срабатывания защит $T_{ср}$ откл, действующих на отключение в режимах, сопровождающихся появлением напряжения нулевой последовательности (например, двойных замыканиях на землю):

$$T_{ср} = T_{ср \text{ откл}} + \Delta T, \\ \Delta T = 0,5 \text{ с.}$$

4.4. Уставку по напряжению для определения поврежденной фазы рекомендуется принимать равной 0,7-0,8 номинального фазного напряжения вторичной обмотки трансформатора напряжения.

4.5. Уставки защиты сводятся в таблицу.

Таблица 4 – Уставки ЗНЗ

Наименование уставки	Диапазон	Значение
Разрешение защиты	Вкл, Откл	
Усраб., В	от 1 до 150, с шагом 0,01	
Коэф. возврата	0,95	
$T_{ср}$, с	от 0 до 300, с шагом 0,01	
Разрешение блокировки по пуску БНН2	Вкл, Откл	
Определение поврежденной фазы, В	от 0 до 50, с шагом 0,01	

5.Блокировка при неисправности цепей напряжения

Функция блокировки при неисправности цепей напряжения имеет две ступени:

- БНН1 – блокировка при неисправности цепей звезды фазных напряжений;
- БНН2 – блокировка при неисправности цепей разомкнутого треугольника.

БНН1 работает по схеме треугольник-звезда и по алгоритму с внешним пуском при снижении контролируемых напряжений ниже 0,7 номинального.

БНН2 может быть назначена на работу по снижению третьей гармоники напряжения в цепи ЗУО при неисправности этой цепи или по контролю протекания тока, возникающего в этой цепи от напряжения небаланса при периодическом подключении добавочного сопротивления 150 Ом.

5.1. Блокировка при неисправности цепей звезды фазных напряжений БНН1

5.1.1. Уставка по напряжению срабатывания БНН1 при работе по схеме треугольник-звезда выбирается по условию отстройки от небалансов и обеспечения необходимой

чувствительности при неисправности цепей напряжения. Значение уставки рекомендуется принимать 10 В вторичных (л.5).

5.1.2. Контроль дополнительной обмотки разомкнутого треугольника (НИ) следует вводить если она имеется в схеме трансформатора напряжения и не вводить только если ее нет.

5.1.3.С целью обеспечения срабатывания БНН1 при отключении автомата цепей напряжения во всех случаях, когда не введен контроль дополнительной обмотки разомкнутого треугольника следует организовывать внешний пуск БНН1 от блок-контакта автомата.

5.1.4. Если работа выходного органа БНН1устройства РС830-В2 не используется для блокирования защит других устройств, то уставку по времени Тср БНН1 следует принимать по условиям работы сигнализации неисправности цепей напряжения. При этом значение этой уставки не влияет на работу блокируемых от БНН1 ступеней защит устройства РС830-В2 так как блокирование осуществляется по факту срабатывания пускового органа БНН1.

5.1.5. Если работа выходного органа БНН1 устройства РС830-В2 используется для блокирования защит других устройств, то уставку по времени Тср БНН1 следует принимать равной нулю.

5.2. Блокировка при неисправности цепей разомкнутого треугольника БНН2

5.2.1. По данным разных источников минимальное значение напряжения третьей гармоники цепи 3U0 в нормальном режиме может составлять от 0,15 В (л.6) до 0,5 В (л.7). Поэтому если отсутствуют данные о реальном уровне напряжения третьей гармоники цепи 3U0 в данной сети, то уставку по минимальному напряжению нулевой последовательности 150 Гц рекомендуется принимать 0,1 В.

5.2.2. Если БНН2 предполагается использовать для блокировки ступеней ЗНЗ, то рекомендуется вводить БНН2 по третьей гармонике напряжения нулевой последовательности, а если только для сигнализации неисправности цепи 3U0, то по току основной гармоники в резисторе 150 Ом, включенного в цепь 3U0.

5.2.3.С учетом реальных уровней напряжения небаланса в цепи 3U0 (л.6) уставку по минимальному току нулевой последовательности в цепи 3U0 рекомендуется принимать 0,005-0,007 А.

5.2.4. Время срабатывания БНН2 если она назначена на работу по третьей гармонике напряжения 3U0 принимается по условиям работы сигнализации.

5.2.5. Время срабатывания БНН2 если она назначена на работу по минимальному току основной гармоники нулевой последовательности, следует принимать не менее 2000 с, что с целью повышения достоверности обеспечивает не менее трехкратного повторения измерения тока при времени срабатывания таймера ввода замера 10 минут.

5.3. Уставки БНН сводятся в таблицу.

Таблица 5 – Уставки БНН

Наименование уставки	Диапазон
Разрешение работы БНН1	Вкл, Откл
Уставка по напряжению небаланса Uбнн, В	от 5 до 25, с шагом 1
Разрешение учета в алгоритме БНН1 контроля дополнительной измерительной обмотки разомкнутого тр-ка (НИ)	Вкл, Откл
Тср. БНН1, с	от 0 до 300, с шагом 0,01

Разрешение работы БНН2	Вкл, Откл
Разрешение работы БНН2 по 3-й гармонике напряжения	Вкл, Откл
Разрешение работы БНН2 по току основной гармоники нулевой последовательности	Вкл, Откл
Разрешение работы БНН2 по DI	Вкл, Откл
Уставка по минимальному напряжению нулевой последовательности 150 Гц, В	от 0,02 до 10, с шагом 0,01
Уставка по минимальному току нулевой последовательности в цепи 3U0, А	от 0,002 до 1, с шагом 0,001
Время срабатывания таймера ввода замера тока нулевой последовательности*, мин	10
Тср БНН2, с	от 0 до 3000, с шагом 0,01

Литература

1. Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем. Учебник для вузов. М. «Энергия», 1976.
2. Беркович М.А. и др. Основы техники релейной защиты. М. Энергоатомиздат, 1984.
3. Гельфанд Я.С. Релейная защита распределительных сетей. М. Энергоатомиздат, 1987.
3. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. Ленинград, «Энергоатомиздат», 1985.
4. Булычев А.В., Наволочный А.А. Релейная защита распределительных сетей в примерах и задачах с решениями. Чебоксары, ЧГУ, 2010.
5. Рекомендации по выбору уставок дистанционных защит от всех видов КЗ и токовых защит терминала РС830-ДЗ «РЗА СИСТЕМ3» при использовании их в качестве основной/резервной защиты от всех видов КЗ на ВЛ110-150 кВ, согласованные главным диспетчером ГП «НЭК Укрэнерго». Киев, 2016.
6. Андрей Арсентьев. Вопросы реализации контроля цепей напряжения в современных МП УРЗА. ООО «АББ Силовые и Автоматизированные системы». М. 2016.
7. ИЦ Бреслер. Микропроцессорная защита линий 110-220 кВ типа «Бреслер ШЛ2606». Рекомендации по выбору уставок. Чебоксары, 2008.

**Методические указания по выбору уставок защит
двигателей, реализуемых при помощи устройств РС830-М1**

Условные обозначения

$n_{тт}$ – коэффициент трансформации трансформаторов тока

I_n дв – номинальный ток двигателя

$I_{пуск}$ – пусковой ток электродвигателя

$k_{пуск}$ – кратность пускового тока

$T_{пуск}$ – длительность пуска двигателя

$I_{мах}$ – максимальный ток двигателя, используемый для вычисления небаланса

$K_{сх}^{(3)}$ – коэффициент схемы соединения трансформаторов тока и реле

$I_{т0}$ – начальный ток торможения 2ст защиты

K_n (K_k) – коэффициент участия тока стороны начала (конца) в токе торможения

$I_{т\text{огр}}$ – уставка ограничения тока торможения 2ст защиты

$I_{огр}$ – ток срабатывания 2ст защиты в точке ограничения торможения

$I_{нб}$ – ток небаланса

ε – относительная погрешность трансформаторов тока

$k_{ч\text{дт}}$ – коэффициент чувствительности дифференциальной защиты с торможением

$I_{т\text{ч}}$ – ток торможения, при котором определяется коэффициент чувствительности, при повреждении в зоне защиты

$I_{д\text{ср}\text{ч}}$ – ток срабатывания защиты в точке характеристики, в которой определяется коэффициент чувствительности

k_t – уставка коэффициента торможения в относительных единицах

$I_{до}$ – уставка тока срабатывания дифференциальной отсечки (1ст)

$k_{ч\text{до}}$ – коэффициент чувствительности отсечки

$I_{дн}$ – уставка тока срабатывания дифференциальной защиты от небаланса

$T_{дн}$ – уставка времени срабатывания дифференциальной защиты от небаланса

ΔT – степень селективности по времени

1. Определение исходных величин

1.1. Пусковой ток двигателя

1.1.1. Пусковой ток при прямом пуске асинхронного и синхронного двигателя

$$I_{\text{пр пуск}} = k_{\text{пуск}} I_{\text{н дв}}, \quad (1.1)$$

где:

- $k_{\text{пуск}}$ – кратность пускового тока;

- $I_{\text{н}}$ – номинальный ток двигателя.

Кратность пускового тока составляет 5 – 8. Ее точное значение определяется заводскими характеристиками двигателя и приводимого механизма.

1.1.2. Пусковой ток при реакторном пуске двигателя

$$I_{\text{р пуск}} = U_{\text{н}} / \sqrt{3} (X_{\text{с}} + X_{\text{д}} + X_{\text{р}}), \quad (1.2)$$

где:

- $U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение двигателя;

- $X_{\text{с}}$, $X_{\text{д}}$, $X_{\text{р}}$ – реактивные сопротивления питающей системы, двигателя и реактора.

$$X_{\text{д}} = U_{\text{н}} / \sqrt{3} I_{\text{пр пуск}} \quad (1.3)$$

1.1.3. Пусковой ток при использовании систем плавного пуска определяется параметрами указанных систем.

1.2. Максимальный ток для определения небалансов

1.2.1. При участии двигателя в самозапуске

$$I_{\text{макс}} = (1,3-1,4) I_{\text{пр пуск}}. \quad (1.4)$$

1.2.2. При неучастии синхронного двигателя в самозапуске определяющим является ток подпитки от двигателя внешнего КЗ

$$I_{\text{макс}} = 1,1 I_{\text{пр пуск}}. \quad (1.5)$$

1.2.3. Для асинхронного двигателя, не участвующего в самозапуске максимальный ток, принимается равным пусковому току

$$I_{\text{макс}} = I_{\text{пуск}}. \quad (1.6)$$

1.3. Погрешность трансформаторов тока

1.3.1. Если выполняются условия проверки трансформаторов тока на 10% погрешность, то в установленном режиме относительную погрешность принимают

$$\varepsilon = 0,1 \quad (1.7)$$

1.3.2. В переходном режиме погрешность значительно больше, но если вводится блокировка, действующая при переходном процессе, то относительную погрешность принимают в соответствии с выражением (1.7).

1.3.3. Если не вводится блокировка, действующая при переходном процессе, то относительную погрешность следует принимать

$$\varepsilon = 0,7-0,9 \quad (1.8)$$

2. Дифференциальная защита двигателя

2.1. Реализация дифференциальной защиты

Дифференциальная защита в устройстве имеет 3 ступени:

- дифференциальная отсечка (ДО);
- дифференциальная защита с торможением (ДТ);
- дифференциальная защита от небаланса (ДН).

Дифференциальная отсечка является ступенью защиты с максимальным быстродействием, не имеет блокировок, действующих в переходных режимах, и должна отстраиваться от всех видов небалансов по величине тока срабатывания.

Дифференциальная защита с торможением имеет максимальную чувствительность, за счет торможения может изменять ток срабатывания и чувствительность при изменении нагрузки двигателя, в случае выполнения блокировок, действующих в переходном режиме, может не отстраиваться от повышенного небаланса этого режима, но в таком случае действие защиты автоматически замедляется до затухания переходного процесса*.

Дифференциальная защита от небаланса предназначена для выявления неисправности цепей тока, по току срабатывания отстраивается только от небаланса тока нагрузки, за счет чего имеет повышенную чувствительность, от других видов небаланса отстраивается по времени и действует на сигнал.

Различают два способа выполнения дифференциальной защиты двигателя:

1.С током срабатывания меньше номинального тока двигателя. В таком варианте защита имеет максимальную чувствительность, позволяющую минимизировать разрушения при внутренних повреждениях в обмотках двигателя, но отсутствует возможность во всех случаях исключить избыточные срабатывания при неисправности цепей тока. Если режим двигателя по нагрузке оказывается таким, что при неисправности цепей тока не происходит избыточного срабатывания ДТ, то появление указанной неисправности сигнализируется действием ступени ДН.

2.С током срабатывания больше номинального тока двигателя. В таком варианте чувствительность защиты меньше, при появлении неисправности цепей тока в режиме работы двигателя под нагрузкой (наиболее длительный режим) не происходит избыточного срабатывания защиты, появление неисправности выявляется действием ступени ДН. Ограничение возможности использования такого способа защиты может возникать, если достигаемая чувствительность оказывается меньше нормируемой.

*В первом исполнении устройства блокировка, действующая в переходном режиме, отсутствует.

2.2. Дифференциальная защита с торможением (ДТ), с током срабатывания меньше номинального тока двигателя

2.2.1. Распределение токов торможения между сторонами начала и конца.

С учетом схемы подключения токовых цепей устройства (рис.2.1)

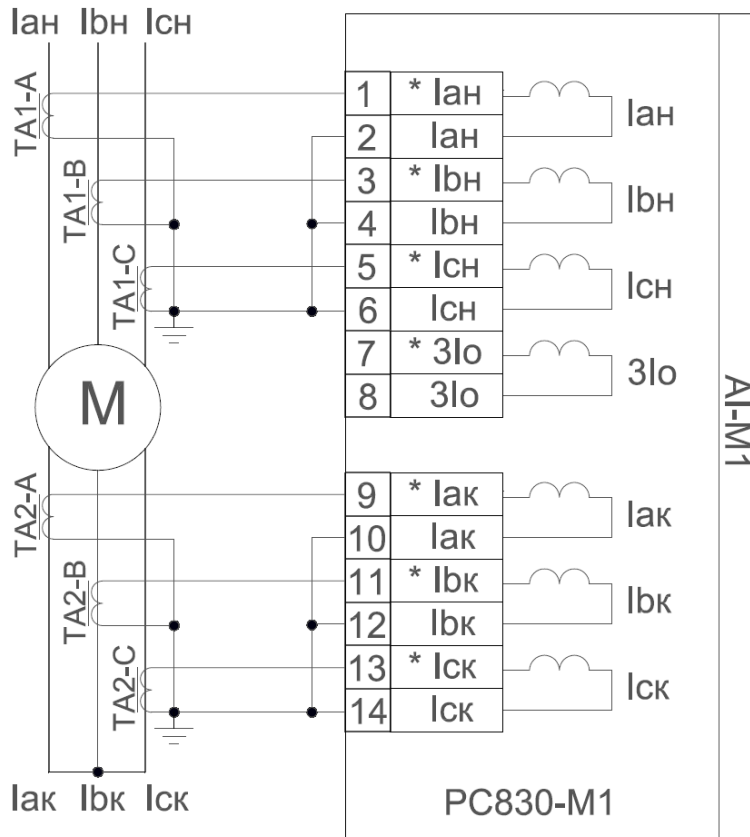


Рис.2.1. Схема подключения токовых цепей устройства

если отсутствуют особые соображения, то коэффициенты участия тока начала K_n и тока конца в токе торможения следует выбирать так, чтобы торможение осуществлялось только током конца, т.е:

$$K_n=0, K_k=1. \quad (2.1)$$

Это позволит при внутренних КЗ в обмотках двигателя исключить торможение и повысить чувствительность ДТ.

2.2.2. Ток срабатывания ДТ на начальном участке тормозной характеристики $I_{дт0}$ (рис.1.2)

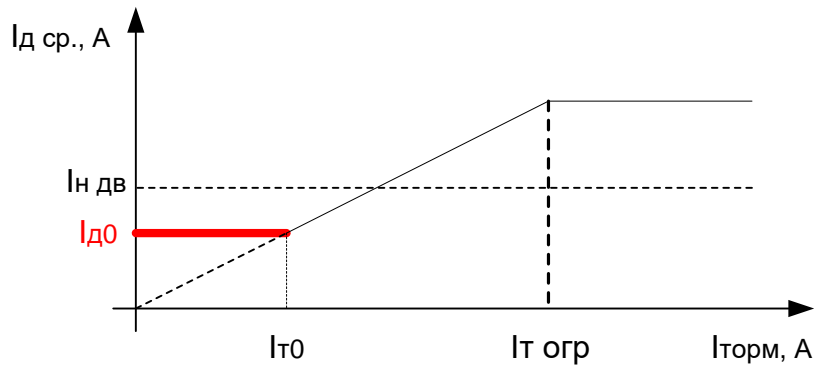


Рис.1.2. Начальный участок тормозной характеристики

рекомендуется принимать

$$I_{д0} = (0,4-0,6) I_{н дв} / \eta_{тт}, \quad (2.2)$$

где:

- $I_{н дв}$ - номинальный ток двигателя (первичное значение);
- $\eta_{тт}$ - коэффициент трансформации трансформаторов тока.

2.2.3. Коэффициент торможения

$$K_T = K_N (K_{пер} \varepsilon + \delta), \quad (2.3)$$

где:

- K_N – коэффициент надежности, $K_N = 1,2$;
- $K_{пер}$ – коэффициент снижения тормозного тока за счет насыщения периодической составляющей, $K_{пер} = 2,5$;
- ε – погрешность трансформаторов тока в соответствии с пунктами 1.3.2 и 1.3.3;
- δ – параметр, учитывающий погрешность измерения тока устройством с необходимыми запасами, для устройств серии РС830 рекомендуется $\delta = 0,05$.

2.2.4. Начальный ток торможения выбирают так, чтобы отстройка от небалансов во всех точках тормозной характеристики была одинаковой, что соответствует прохождению продолжения участка торможения через начало координат

$$I_{т0} = I_{д0} / K_T. \quad (2.4)$$

Если полученное в соответствии с выражением (2.4) значение $I_{т0}$ выходит за пределы допустимых величин уставок (1,5...4А), то следует принять $I_{т0}$ равное ближайшему допустимому значению уставки (1,5 или 4А).

2.2.5. Ток ограничения торможения $I_{т огр}$ (рис.1.3)

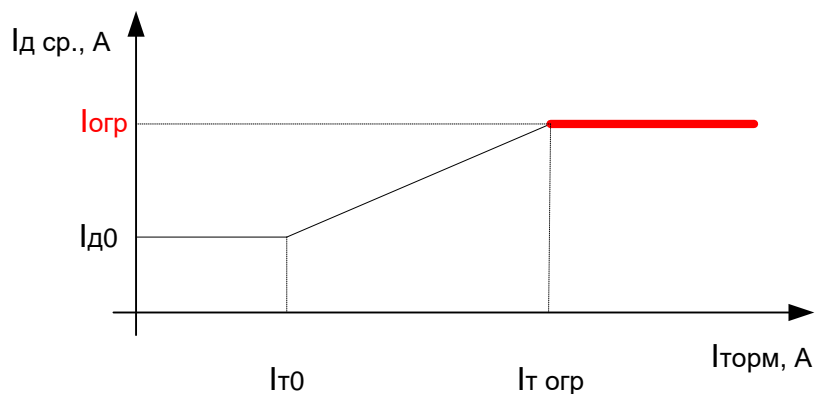


Рис.1.3. Участок ограничения торможения

выбирается по максимальному току $I_{\text{МАХ}}$, определяемому согласно пункта 1.2

$$I_{\text{т огр}} = I_{\text{МАХ}} / n_{\text{тТ}} \quad (2.5)$$

2.2.6. Коэффициент чувствительности определяется при минимальном токе КЗ на выводах питания двигателя $I_{\text{К МИН}}$ (стороны начала).

Если в соответствии с (2.1) принято $K_{\text{н}}=0$ и торможение осуществляется только током конца то режим, при котором определяется коэффициент чувствительности, соответствует начальному участку тормозной характеристики (рис. 1.4)

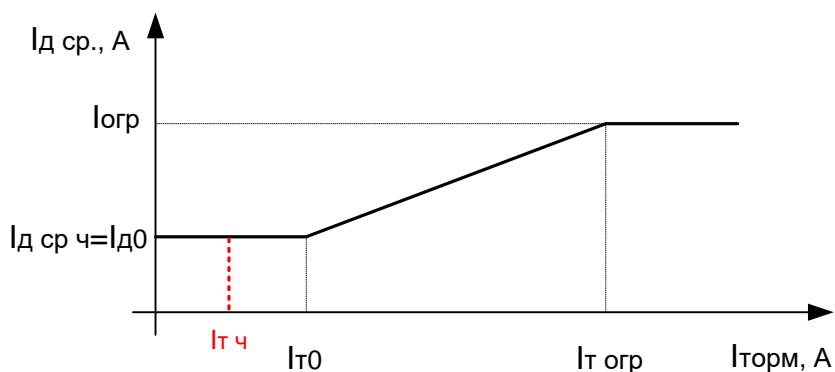


Рис.1.4

$$K_{\text{ч дТ}} = I_{\text{д0}} / n_{\text{тТ}} I_{\text{к мин}} \quad (2.6)$$

Если по любым причинам условие (2.1) не принято, то коэффициент чувствительности должен приниматься как худшее значение для начального участка (рис.1.4) и участка торможения (рис.1.5)

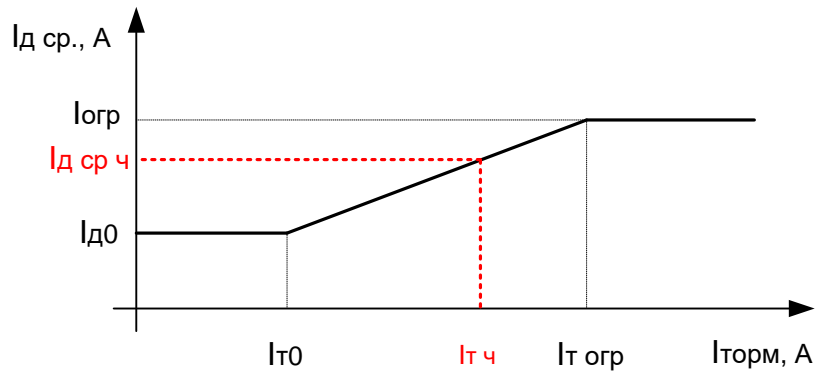


Рис.1.5

$$K_{ч ДТ} = I_{к мин} / n_{ТТ} I_{д ср ч}, \quad (2.7),$$

где:

$$I_{д ср ч} = I_{д 0} + K_{Т}(I_{мин} / n_{ТТ} - I_{Т 0})$$

Т.е, как худшее значение по выражениям 2.6 и 2.7.

2.2.7. Значение коэффициента чувствительности дифференциальной защиты должно быть не менее 2

2.3. Дифференциальная защита с торможением (ДТ), с током срабатывания больше номинального тока двигателя

2.3.1. Дифференциальная защита с током срабатывания больше номинального тока двигателя может выполняться с целью предотвращения ее избыточного срабатывания при повреждении цепей тока, если при этом обеспечивается нормируемое значение коэффициента чувствительности согласно пункту 2.2.7. При этом обязательным является выполнение сигнализации повреждения цепей тока дифференциальной защиты при помощи ступени дифференциальной защиты от небаланса (ДН).

2.3.2. Ток срабатывания ДТ на начальном участке тормозной характеристики $I_{д0}$ (рис.1.6)

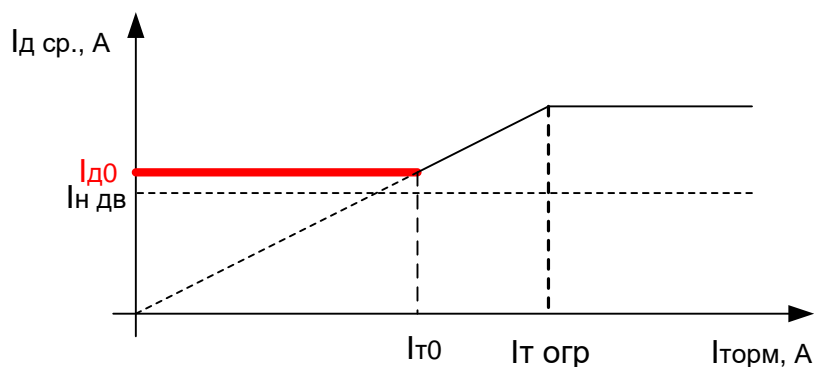


Рис.1.6. Начальный участок тормозной характеристики при токе срабатывания больше номинального тока

рекомендуется принимать

$$I_{д0}=1,1I_{н\text{ дв}}/n_{тт}, \quad (2.8)$$

2.3.3. Остальные параметры дифзащиты при выборе тока срабатывания больше номинального тока двигателя принимаются в соответствии с пунктами 2.2.3-2.2.7 настоящих методических указаний без изменений.

2.3.4. Уставка по времени ДТ, если отсутствуют особые соображения, принимается равной нулю.

2.4. Дифференциальная отсечка (ДО)

2.4.1. Ток срабатывания дифференциальной отсечки определяется условиями отстройки от небаланса при максимальном токе $I_{МАХ}$, определяемом согласно пункта 1.2

$$I_{до}=k_{отс} \epsilon I_{МАХ}/n_{тт}, \quad (2.9)$$

где:

- $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, $k_{отс}=1,5$;

- ϵ – погрешность трансформаторов тока в переходном режиме, принимается согласно пункта 1.3.3, $\epsilon=0,7-0,9$.

2.4.2. Коэффициент чувствительности ДО определяется при минимальном токе КЗ на выводах двигателя (стороны начала)

$$K_{ч\ до}= I_{к\ мин} / n_{тт} I_{до}, \quad (2.10).$$

2.4.3. Уставка по времени ДО, если отсутствуют особые соображения, принимается равной нулю.

2.5. Дифференциальная защита от небаланса (ДН).

2.5.1. Ток срабатывания ДН $I_{дн}$, предназначенной для выявления неисправности цепей тока дифзащиты, определяется по условиям отстройки от небаланса, вызванного током нагрузки двигателя

$$I_{дн}=k_{н} \epsilon I_{нг}/n_{тт}, \quad (2.11)$$

- $k_{н}$ – коэффициент надежности, $k_{н}=1,2$;

- ϵ – погрешность трансформаторов тока в установившемся режиме, принимается согласно пункта 1.3.1, $\epsilon=0,1$;

- $I_{нг}$ – ток нагрузки двигателя, при отсутствии данных о реальной нагрузке двигателя вместо $I_{нг}$ можно использовать номинальный ток двигателя $I_{н\text{ дв}}$.

2.5.2. Уставка по времени ДН $T_{дн}$ выбирается по условиям отстройки от максимального времени переходного режима, в качестве которого следует принимать время пуска двигателя $T_{пуск}$

$$T_{дн}= T_{пуск} + \Delta T, \quad (2.12)$$

где ΔT – степень отстройки, $\Delta T=1$ с.

3. Максимальная токовая защита

Максимальная токовая защита (МТЗ) используется для организации токовой отсечки (ТО) и защиты от перегрузки.

3.1. Токовая отсечка

3.1.1. Токовая отсечка (ТО) используется в качестве защиты от междуфазных КЗ двигателя и выполняется без выдержки времени.

3.1.2. Ток срабатывания ТО $I_{ТО}$ выбирается по условиям отстройки от максимального тока двигателя $I_{МАХ}$ при пуске, самозапуске или подпитке внешнего КЗ от двигателя (пункт 1.2)

$$I_{ТО} = k_N k_A I_{МАХ} / n_{ТТ}, \quad (3.1)$$

где:

- k_N – коэффициент надежности, $k_N = 1,2$;

- k_A – коэффициент, учитывающий увеличение погрешности за счет апериодической составляющей $k_A = 1,2$;

3.1.3. Коэффициент чувствительности ТО определяется при минимальном токе КЗ на выводах питания двигателя (стороны начала)

$$K_{ч\ то} = I_{к\ мин} / n_{ТТ} I_{то}, \quad (3.2).$$

3.2. Защита от перегрузки

При наличии отдельной защиты от неполнофазных режимов, защиты от асинхронного хода и защиты от блокировки ротора, защита от перегрузки, предназначенная в общем случае для реагирования и на эти режимы, на работу в них может не проверяться. В таком случае защиту от перегрузки рекомендуется выполнять двухступенчатой.

3.2.1. Первую ступень защиты от перегрузки рекомендуется выполнять в виде МТЗ с зависимой характеристикой, согласованной с тепловой характеристикой двигателя. При этом обычно наиболее близкой к тепловой характеристике двигателя оказывается ампер-секундная характеристика 7 (тепловая характеристика без памяти) с видом зависимости

$$t_{cp} = 35T_y / (I/I_y - 1).$$

3.2.2. Ток срабатывания первой ступени защиты от перегрузки $I_{пер1}$ рекомендуется принимать равным 1,15 номинального тока двигателя I_n :

$$I_{пер1} = 1,15 I_n / n_{ТТ} \quad (3.3).$$

3.2.3. Если отсутствуют подробные данные по тепловой характеристике двигателя и принята ампер-секундная характеристика МТЗ в соответствии с рекомендациями пункта 3.2.1, то уставку по времени указанной характеристики T_y рекомендуется принимать

$$T_y = A / 54,$$

где:

- A – постоянная времени охлаждения двигателя.

3.2.4. Если отсутствуют данные о постоянном времени охлаждения двигателя, то ее значение можно приближенно определить по эмпирической формуле

$$A = T_{доп} (I_{доп}^2 / I_n^2 - 1),$$

где:

- $T_{доп}$ – допустимое время работы при токе $I_{доп}$;

- I_n – номинальный ток двигателя.

3.2.5. Действие первой ступени защиты от перегрузки должно осуществляться на разгрузку приводимого агрегата или на отключение двигателя.

3.2.6. Вторая ступень защиты от перегрузки может выполняться в виде МТЗ с независимой характеристикой, отстроенной от времени пуска двигателя.

3.2.7. Ток срабатывания второй ступени защиты от перегрузки $I_{пер2}$ рекомендуется принимать равным $1,1$ номинального тока двигателя I_n :

$$I_{пер2}=1,1 I_n/n_{тт} \quad (3.4).$$

3.2.8. Время срабатывания второй ступени защиты от перегрузки во всех случаях должно выбираться по условию отстройки от времени пуска двигателя, а для двигателя, приводимый механизм которого может подвергаться допустимой технологической перегрузке, вызывающей превышение тока больше уставки второй ступени, ее время срабатывания дополнительно должно отстраиваться от времени допустимой перегрузки.

3.2.9. Действие второй ступени защиты от перегрузки должно осуществляться на сигнал.

4. Защита от затяжного пуска (ЗЗП) и блокировки ротора (ЗБР)

4.1. Ток срабатывания ЗЗП и ЗБР $I_{ззп}$, $I_{збр}$ выбирается больше тока максимально допустимой перегрузки $I_{д пер}$ и меньше пускового тока двигателя $I_{пуск}$

$$I_{д пер}/n_{тт} < I_{ззп, збр} < I_{пуск}/n_{тт} \quad (4.1).$$

4.2. Уставка ЗЗП по времени пуска двигателя выбирается больше максимального времени нормального пуска, что обеспечивает срабатывание ЗЗП при затянувшемся пуске и ее несрабатывание при нормальном пуске.

4.3. Уставка по времени ЗБР выбирается больше максимального времени любого возможного затянувшегося пуска, что обеспечивает срабатывание ЗБР только при блокировке ротора и ее несрабатывание при затянувшемся пуске.

5. Защита от неполнофазных режимов

Неполнофазный режим для двигателя опасен токовой перегрузкой. Перегрузка при неполнофазном режиме вызвана тем, что сопротивление обратной последовательности двигателя в несколько раз меньше номинального сопротивления прямой последовательности и соответственно ток обратной последовательности, вызванный напряжением обратной последовательности в этом режиме, может превышать номинальный ток двигателя. Поэтому в качестве защиты от неполнофазного режима двигателя наиболее эффективно использовать защиту по току обратной последовательности.

5.1.С целью максимального повышения чувствительности защиту от неполнофазного режима по току обратной последовательности следует использовать с пуском по отношению I_2/I_1

5.2. Уставку по отношению I_2/I_1 по условиям отстройки от естественной несимметрии и небаланса фильтра рекомендуется принимать

$$(I_2/I_1)_y=0,15 \quad (5.1).$$

5.3. Уставку по времени защиты от неполнофазных режимов следует выбирать по условиям отстройки от максимального времени срабатывания защит от КЗ в связанной с двигателем сети и времени пуска двигателя.

6. Защита от замыканий на землю (ЗНЗ)

Защита от замыканий на землю в обмотках статора двигателя выполняется по току нулевой последовательности с дополнительным пуском по напряжению нулевой последовательности, что повышает надежность выявления наличия замыкания на землю. Защита выполняется так, что она селективно действует при однофазных замыканиях в статорной обмотке и при двойных замыканиях на землю, когда одна из точек замыкания находится в статорной обмотке двигателя.

6.1. Защита от однофазных замыканий должна выполняться 1 ступенью направленной ЗНЗ1 с углом максимальной чувствительности 90° и ширенной зоны срабатывания 160° .

6.2. С целью исключения неправильной работы ступени направленной ЗНЗ1 от перезаряда емкостей в момент наступления замыкания на землю ее выдержку времени следует принять 0,1с.

6.3. В соответствии с требованиями ПУЭ (л.) при токах замыкания на землю больше 10А для двигателей номинальной мощностью до 2МВт или больше 5А для двигателей номинальной мощностью более 2МВт, ЗНЗ1 должна действовать на отключение. В других случаях действие ЗНЗ1 можно выполнять на сигнал. При действии на сигнал можно рекомендовать увеличение выдержки времени ЗНЗ1 до 1-2с.

6.4. Уставку пуска по ЗУ0 следует принимать равной 0,25 номинального напряжения нулевой последовательности, возникающего при полном замыкании на землю.

6.5. Ступень направленной ЗНЗ1 можно не отстраивать от небалансов З10 и частичного тока замыкания на землю, генерируемого емкостью присоединения защищаемого двигателя, так как пуск по ЗУ0 исключает срабатывание при отсутствии замыкания на землю, а направленность ступени обеспечивает селективность действия при замыкании на землю на других присоединениях. Поэтому уставку по току З10 следует выбирать по условию обеспечения чувствительности при полноте замыкания на землю, соответствующей пуску по ЗУ0, т.е. 0,25:

$$З10ср1=0,25 I_{ЗНЗ \Sigma} / n_{ТТ0}, \quad (6.1)$$

где:

- $I_{ЗНЗ \Sigma}$ – суммарное значение емкостного тока замыкания на землю всей электрически связанной сети, к которой присоединен двигатель;

- $n_{ТТ0}$ – коэффициент трансформации трансформатора тока нулевой последовательности.

6.6. Защита от двойных замыканий на землю реализуется 2 ступенью ЗНЗ2, которая выполняется не направленной.

6.7. Ток срабатывания защиты от двойных замыканий на землю З10ср2 выбирается по условию отстройки от небаланса, вызванного максимальным током двигателя:

$$З10ср2= k_n k_{НС} I_{МАХ} / n_{ТТ0}, \quad (6.2)$$

где:

- k_n – коэффициент надежности, $k_n=1,2$;

- $k_{НС}$ – коэффициент несимметрии, $k_{НС}=0,015$;

- $I_{МАХ}$ – максимальный ток двигателя при пуске, самозапуске или подпитке внешнего КЗ в соответствии с пунктом 1.2.

6.8. Время срабатывания защиты от двойных замыканий на землю принимается равным нулю, действие защиты выполняется на отключение.

7. Защиты по напряжению (ЗН)

7.1. Защита минимального напряжения (ЗМН)

Защиту минимального напряжения ответственного двигателя рекомендуется выполнять двухступенчатой. Первая ступень ЗМН1 предназначена для отключения других неответственных двигателей с целью обеспечения возможности самозапуска защищаемого ответственного двигателя. Вторая ступень ЗМН2 предназначена для отключения защищаемого ответственного двигателя по условиям технологического процесса или по требованиям безопасности при полном исчезновении или глубокой просадке напряжения.

7.1.1. Напряжение срабатывания первой ступени $U_{ЗМН1}$ выбирают больше напряжения, при котором гарантируется самозапуск защищаемого ответственного двигателя и обычно составляет 0,6-0,7 номинального напряжения двигателя U_n :

$$U_{ЗМН1}=(0,6-0,7) U_n/K_{ТН} , \quad (7.1)$$

где:

- $K_{ТН}$ – коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

7.1.2. Время срабатывания первой ступени ЗМН1 выбирается меньше времени действия защиты от КЗ, после действия которой осуществляется самозапуск, и составляет 0,5-0,8с.

7.1.3. Действие первой ступени ЗМН1 назначается на отдельное выходное реле терминала, от которого осуществляется отключение неответственных двигателей.

7.1.4. Напряжение срабатывания второй ступени $U_{ЗМН2}$ выбирают так, чтобы гарантировался ее возврат при напряжении самозапуска защищаемого ответственного двигателя и обычно составляет 0,4-0,5 номинального напряжения двигателя:

$$U_{ЗМН2}=(0,4-0,5) U_n/K_{ТН} , \quad (7.2)$$

7.1.5. Время срабатывания второй ступени ЗМН2 выбирается больше времени срабатывания защиты от КЗ, после действия которой осуществляется самозапуск, и обычно составляет 3-8с.

7.1.6. Действие защиты должно назначаться по междуфазным напряжениям с логикой «ИЛИ»

7.2. Защита от недопустимого повышения напряжения (ЗПН)

7.2.1. Уставки по напряжению и времени срабатывания ЗПН определяются значениями максимального допустимого напряжения для двигателя и времени его действия в соответствии с паспортными данными двигателя.

7.2.2. Действие ЗПН должно назначаться по междуфазным напряжениям с логикой «ИЛИ».

7.3. Защита по напряжению обратной последовательности

Защита по напряжению обратной последовательности может использоваться как защита от неполнофазных режимов. Но более эффективной защитой от неполнофазных режимов для двигателя является защита по току обратной последовательности, рекомендации по выбору уставок которой приведены в пункте 5. Применение в качестве защиты от неполнофазных режимов защиты по напряжению обратной последовательности оправдано в случае замены готовых решений, ориентированных на применение другого оборудования, в процессе реконструкции без пересчета уставок защит. При этом уставки защиты по напряжению обратной последовательности принимаются такими же, как ее уставки в устройствах заменяемых защит.

7.4. Защита по напряжению нулевой последовательности

Защита по напряжению нулевой последовательности может применяться для неселективной сигнализации повреждения изоляции в сети, к которой подключен двигатель.

7.4.1. Уставку пуска по ЗУ0 следует принимать равной 0,25 номинального напряжения нулевой последовательности, возникающего при полном замыкании на землю в сети.

7.4.2. Уставку по времени защиты по напряжению нулевой последовательности следует принимать по условиям работы сигнализации на объекте, обычно 1-10с.

8. Защита минимального тока (ЗМТ)

Защита минимального тока используется как защита от аварийной потери нагрузки двигателя. Ток и время срабатывания ЗМТ определяются параметрами приводимого механизма и технологического процесса.

8.1. Ток срабатывания ЗМТ выбирается меньше минимального тока нагрузки двигателя в любом нормальном режиме его работы и обычно составляет 0,2-0,6 номинального тока двигателя.

8.2. Время срабатывания ЗМТ выбирается по условиям отстройки от времени действия защит минимального напряжения и защиты от потери питания и обычно составляет 2-5с.

9. Защита от выпадения из синхронизма (ЗВС)

Защита от выпадения из синхронизма или от потери возбуждения для синхронного двигателя работает по снижению его $\cos\varphi$.

9.1. Уставка по снижению $\cos\varphi$ выбирается отдельно для емкостного и индуктивного $\cos\varphi$ по условиям отстройки от возможных нормальных изменений указанного параметра во всех эксплуатационных режимах с учетом настроек системы регулирования возбуждения.

10. Защита от асинхронного хода

Асинхронный ход синхронного двигателя характеризуется изменениями тока статора почти от нуля при совпадении фазы ЭДС двигателя и питающего напряжения вплоть до удвоенного тока КЗ при их встречном направлении. Защита от асинхронного хода может выполняться ступенью МТЗ с временем срабатывания меньше периода изменения тока при асинхронном ходе и временем возврата больше указанного периода.

10.1. Ток срабатывания защиты выбирается по условиям отстройки от тока статора при форсировке возбуждения.

10.2. Работа защиты должна блокироваться сигналом «Пуск двигателя». Для этого сигнал «Пуск двигателя» назначают на одно из КЛ. Выход последнего назначают на вход ДФ в инверсном режиме. На другой вход ДФ назначают выход принятой ступени МТЗ. Объединение входов ДФ назначают по логике «И». Дополнительной функции ДФ присваивают пользовательское имя «З Ас Х» (защита от асинхронного хода).

10.3. Время срабатывания дополнительной функции «З Ас Х» устанавливают равным нулю (она будет срабатывать с выдержкой ступени МТЗ и задержкой до завершения режима пуска двигателя), а время возврата – равным необходимому времени возврата защиты от асинхронного хода (больше периода изменения тока при асинхронном ходе).

11. Защита от потери питания (ЗПП)

Защита от потери питания синхронного двигателя предназначена для отключения двигателя от шин при потере питания и предотвращения подпитки других потребителей от продолжающего вращаться по инерции двигателя. ЗПП действует на отключение двигателя и гашение поля. Дополнительным эффектом от работы ЗПП может быть ускорение снижения напряжения на шинах и уменьшение времени действия АВР.

11.1. ЗПП выполняется на основе защиты по частоте (ЗЧ) на понижение, блокируемой функцией контроля активной мощности (КАМ) при направлении и величине мощности, соответствующих режиму нормального питания двигателя от шин.

11.2. Для организации блокирования ЗЧ от ступени КАМ выход «Пуск КАМ» назначают на КЛ, логическим выходом которого осуществляют блокировку ЗЧ.

11.3. Частоту срабатывания ЗЧ выбирают меньше уставки первой очереди АЧР.

11.4. Направленность КАМ должна быть выбрана «Вперед».

11.5. Уставку по нижней границе активной мощности $P_{нг}$ выбирают меньше минимального значения активной мощности $P_{мин}$, которая может потребляться двигателем по режиму работы приводимого механизма с учетом коэффициентов трансформации по току $n_{тт}$ и напряжению $K_{тн}$:

$$P_{нг} < P_{мин} / n_{тт} K_{тн}. \quad (11.1)$$

11.6. Уставку по верхней границе активной мощности $P_{вг}$ выбирают больше максимального значения активной мощности $P_{мах}$, которая может генерироваться вращающимся по инерции без питающего напряжения двигателем на его выбеге:

$$P_{вг} > P_{мах} / n_{тт} K_{тн}. \quad (11.2)$$

11.7. Коэффициенты возврата по нижней и верхней границе активной мощности принимают равными 1.

11.8. Уставку минимального порога контроля активной мощности принимают равной нулю.

12. Защита от обратного вращения (ОБВ)

Защита от обратного вращения используется для блокировки включения двигателя до его полной остановки после отключения выключателя. Уставка по времени защиты $T_{обв}$ выбирается больше максимального времени остановки двигателя совместно с приводимым

механизмом и определяется их характеристиками. Значение этого времени может быть определено экспериментальным путем при выполнении пуско-наладочных работ.

13. Идентификация пуска двигателя (ИПД)

13.1. Уставка по току нижней границы $I_{нг}$ функции ИПД выбирается по условию превышения номинального тока двигателя $I_{н дв}$ с учетом коэффициента трансформации трансформаторов тока $n_{тт}$

$$I_{нг} = 1,1 I_{н дв} / n_{тт} \quad (13.1)$$

13.2. Уставка по току верхней границы $I_{вг}$ выбирается с запасом меньше минимально возможного значения пускового тока $I_{пуск мин}$

$$I_{вг} = 0,8 I_{пуск мин} / n_{тт} \quad (13.2)$$

13.3. Уставка по времени контроля пускового тока $T_{кп}$ принимается по условию отстройки от разбросов времени включения выключателя и переключения его блк-контактов. Ее можно принять $T_{кп} = 0,5с$.

13.4. Уставку по длительности пуска принимают равной времени протекания пускового режима для данного двигателя с данным приводимым механизмом.

13.5. Разрешение контроля блок-контактов выключателя рекомендуется включать, если доверяют надежности указанных блок-контактов.

14. Защита от перегрева (тепловая защита ТЗ) на основании тепловой модели

Выбор уставок защиты от перегрева сводится к определению постоянной времени нагрева при включенном двигателе $T_{вкл}$, постоянной времени охлаждения при отключенном двигателе $T_{откл}$ и трех уставок ступеней защиты по относительному перегреву: уставки предупредительной сигнализации $E_{пред}$, уставки аварийного отключения $E_{откл}$, уставки возврата защиты $E_{возв}$, после которого снимается запрет на включение отключенного тепловой защитой двигателя.

Кроме того, по паспортным данным двигателя и исходя из конкретных параметров окружающей среды задаются уставками номинальный ток двигателя $I_{н дв}$, номинальная температура окружающей среды, при которой заданы номинальные параметры двигателя $t_{окр ном}$, температура окружающей среды, при которой реально работает двигатель $t_{окр}$, начальная температура двигателя в момент начала работы тепловой модели $t_{нач}$. Если температура окружающей среды в месте работы двигателя меняется в течение года, то значение $t_{окр}$ надо задавать как среднее значение для сезона и изменять его при смене сезонов. Если двигатель включается после того как длительное время не работал, то значение $t_{нач}$ принимается равным температуре воздуха в месте установки двигателя в момент его включения.

14.1. Постоянная времени нагрева приближенно может быть определена выражением

$$T_{вкл} = t_{доп} (K^2 - 1) / 60 \ln[(K^2 - 1) / (K^2 - K_{мах})] , \quad (14.1)$$

где:

- $t_{доп}$ – допустимое время работы двигателя с кратностью тока по отношению к номинальному, равной K ;

- K_{MAX} – предельная кратность перегрева по отношению к перегреву при номинальных параметрах двигателя.

Значение K_{MAX} можно определить в зависимости от класса изоляции двигателя согласно таблице 14.1 (л4)

Таблица14.1

Класс изоляции	A	E	B	F	H
K_{MAX}	-	1,231	1,125	1,278	1,217

14.2.Значени постоянной времени охлаждения $T_{\text{откл}}$ зависит от организации системы охлаждения двигателя. Если двигатель имеет охлаждение, независимое от скорости вращения двигателя, постоянная времени охлаждения принимается равной постоянной времени нагрева

$$T_{\text{откл}} = T_{\text{вкл}} \quad (14.2)$$

Если охлаждение осуществляется вентилятором на валу двигателя

$$T_{\text{откл}} = (2-4)T_{\text{вкл}} \quad (14.3)$$

14.3.Значения постоянных времени нагрева и охлаждения двигателя, приближенно определенные по выражениям 14.1 - 14.3, можно уточнить путем экспериментальных измерений при пуско-наладочных работах.

14.4.Для определения постоянной времени нагрева $T_{\text{вкл}}$ экспериментальным путем двигатель включают на время $t_{\text{раб}}$, соизмеримое с величиной $T_{\text{вкл}}$ по выражению 14.1. При этом нагрузка двигателя должна быть фиксированной (от 50% до 100% номинальной величины). При этом напряжение сети должно соответствовать номинальному напряжению ЭД (паспортные данные). В процессе эксперимента производится измерение величины потребляемого тока $I_{\text{раб}}$, а также начальной τ_0 (перед началом эксперимента) и конечной τ_k (по истечении времени $t_{\text{раб}}$) температуры обмоток ЭД, температуры окружающей среды $\tau_{\text{окр}}$. На основании полученных данных (а также на основании паспортных данных о номинальном токе ЭД $I_{\text{н дв}}$, критической температуре обмоток $\tau_{\text{кр}}$ и номинальной температуре окружающей среды $\tau_{\text{окр.ном}}$) тепловая постоянная времени $T_{\text{вкл}}$ может быть вычислена следующим образом:

$$T_{\text{вкл}} = - \frac{t_{\text{раб}}}{\ln \left(1 - \frac{\tau_k - \tau_0}{(\tau_{\text{кр}} - \tau_{\text{окр.ном}}) \cdot \left(\frac{I_{\text{раб}}}{I_{\text{н дв}}} \right)^2 + \tau_{\text{окр}} - \tau_0} \right)} \quad (14.4)$$

Значение $\tau_{\text{кр}}$ определяется классом изоляции в соответствии с таблицей 14.2 (л5)

Таблица 14.2

Класс	Y	A	E	B	F	H	C
$\tau_{\text{кр}}, \text{K}$	363	378	393	403	428	453	473

14.5. Постоянная времени охлаждения $T_{откл}$ определяет инерционность процесса остывания ЭД. Может быть вычислена опытным путем после проведения эксперимента по определению постоянной времени нагрева $T_{вкл}$. В процессе эксперимента производится наблюдение за двигателем в отключенном состоянии (после предварительного нагрева в процессе длительной работы) с измерением начальной τ_0 (перед началом эксперимента) и конечной τ_k (по истечении времени $t_{откл}$) температуры обмоток ЭД, при температуре окружающей среды $\tau_{окр}$.

$$T_{откл} = - \frac{t_{откл}}{\ln\left(1 - \frac{\tau_0 - \tau_k}{\tau_0 - \tau_{окр}}\right)} \quad (14.5)$$

14.6. Для определения уставок предупредительной сигнализации $E_{уст\ пред}$, аварийного отключения $E_{откл}$ и возврата защиты $E_{возв}$, после которого снимается запрет на включение, рассмотрим поведение двигателя и его тепловой модели в установившемся режиме при длительном протекании по обмоткам неизменного тока. При этом длительность протекания тока во много раз превышает постоянную времени нагрева $T_{вкл}$, чем и определяется установившийся характер процесса. В таком режиме установившееся значение перегрева E при номинальном токе и значении других параметров, соответствующих номинальному режиму двигателя, $E_{уст\ ном}=100\%$. При прочих неизменных факторах и токе I отличном от номинального установившееся значение перегрева (в соответствии с общими физическими свойствами нагревания проводников током) определится выражением

$$E_{уст}=100(I/I_{н\ дв})^2 \quad (14.6)$$

14.7. Уставку предупредительной сигнализации $E_{пред}$ рекомендуется выбирать соответствующей длительной работе с током 0,9 номинального

$$E_{пред}=100(I/I_{н\ дв})^2=100 \times 0,9^2 \approx 80\%.$$

14.8.С учетом того, что в соответствии с отечественными стандартами для любого двигателя допустима работа при токе, 1,05 номинального без ограничения длительности, уставку аварийного отключения $E_{откл}$ рекомендуется выбирать соответствующей длительной работе с током 1,1 номинального

$$E_{откл}=100(I/I_{н\ дв})^2=100 \times 1,1^2 \approx 120\%.$$

При выборе уставок для импортных двигателей следует руководствоваться конкретными значениями токов допустимой длительной работы для этих двигателей.

Если конкретные образцы защиты двигателя не позволяют установить рассчитанное значение уставки, то рекомендуется ставить ближайшее возможное значение, но действие ступени выполнять не на отключение, а на сигнал.

14.9. Уставку возврата защиты $E_{возв}$, после которого снимается запрет на включение, рекомендуется выбирать так, чтобы после возврата защиты пуск двигателя не вызывал увеличение значения перегрева больше, чем до 100%. Перегрев $E_{пуск}$, возникающий в результате действия пускового тока $I_{пуск}$ на протяжении времени пуска $T_{пуск}$ определится выражением

$$E_{\text{пуск}} = 100 \left(\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{н дв}}} \right)^2 \left(1 - e^{-\frac{T_{\text{пуск}}}{T_{\text{вкл}}}} \right)$$

$$E_{\text{возв}} = 100 - E_{\text{пуск}}$$

(14.7)

Литература

1. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. Ленинград, «Энергоатомиздат», 1985.
2. Беркович М.А. и др. Основы техники релейной защиты. М. Энергоатомиздат, 1984.
3. Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем. Учебник для вузов. М. «Энергия», 1976.
4. Терминалы релейной защиты синхронных и асинхронных электродвигателей 6-10кВ. Расчет уставок. Методические указания. (СТО ДИВГ – 046 – 2017).
5. МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВО РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ РС830-М1. РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ. ЕАБР.656122.005 РЭ

**Методические указания по реализации ДЗШ, ДЗО с
использованием устройства РС830-ДТЗ.
Рекомендации по выполнению схем и программируемой
логики. Выбор уставок**

1.Реализация ДЗШ, ДЗО при помощи устройства РС830-ДТЗ

С использованием устройств РС830-ДТЗ может быть реализован шкаф ДЗШ/ДЗО. При этом для выполнения ДЗШ, охватывающей зону каждой секции шин, используется отдельное устройство дифференциальной защиты РС830-ДТЗ (рис.1а). Аналогично может быть выполнена дифзащита ошиновки (ДЗО) разных сторон трансформатора или автотрансформатора на отдельных устройствах РС830-ДТЗ (рис.1б)

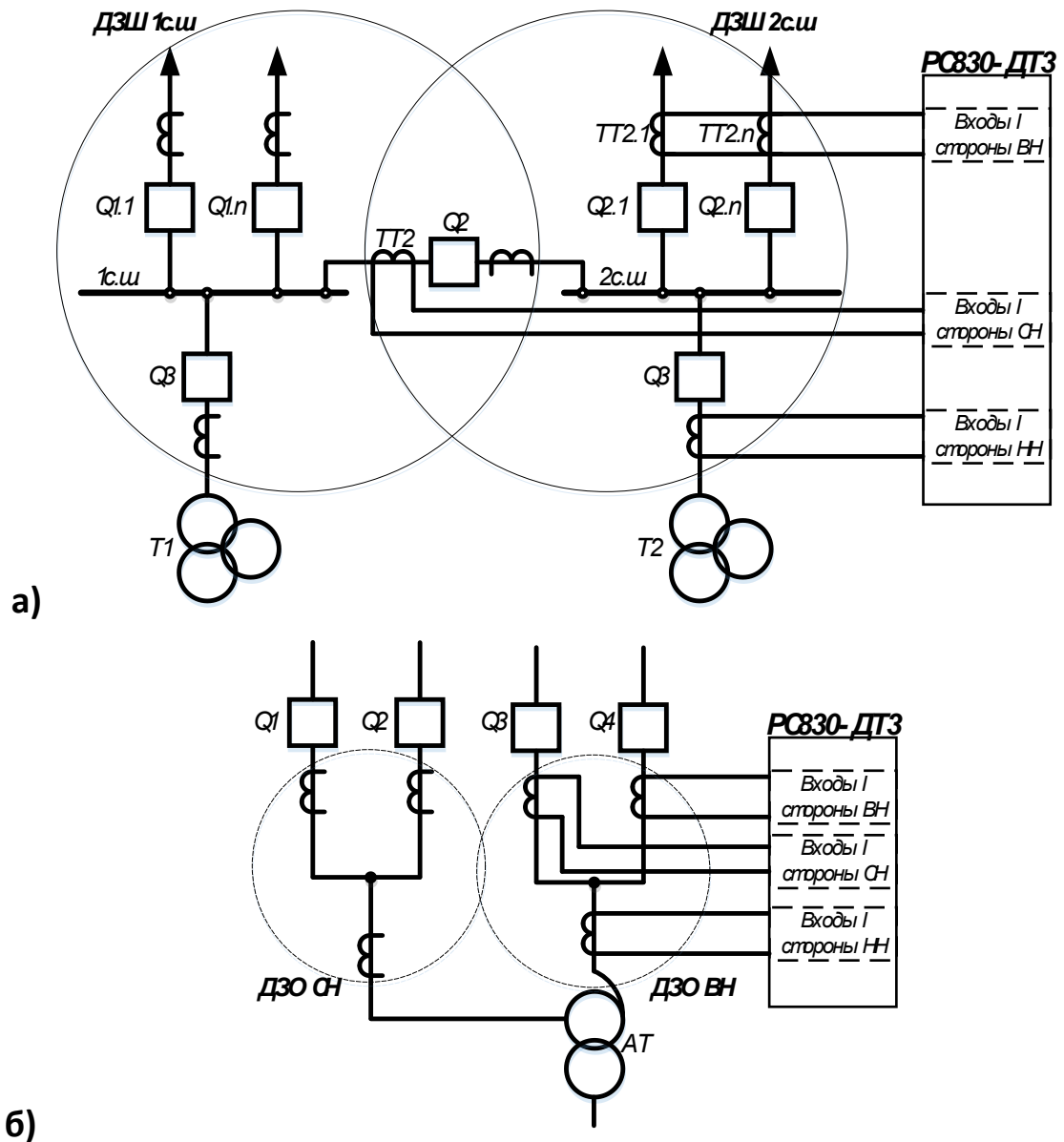


Рис.1

На таких же принципах выполнена ДЗО и распределены ее зоны в шкафу ДЗО Ш2600 на основе терминалов TOP 300 ДЗО 500, производства Релематика.

ТТ с одинаковыми коэффициентами трансформации на разных трехфазных присоединениях перед подключением к входам ДТЗ можно соединять параллельно, тем самым уменьшая необходимое число входов устройства (рис.1а). С этой целью при необходимости можно рекомендовать заменить на некоторых присоединениях ТТ на такие, у которых коэффициент трансформации совпадает с ТТ другого присоединения.

Для отключения шин от ДЗШ на выходы ДО и ДТ устройства РС830-ДТЗ назначают выходные реле по числу отключаемых присоединений секции шин.

В составе шкафа ДЗШ или ДЗО предусматривается отключение шин от УРОВ всех присоединений секции шин с запретом АПВ. Покажем, как это можно реализовать программируемой логикой устройства РС830-ДТЗ для более сложной схемы рис. 1а. Программируемая логика реализации УРОВ для четырех выключателей (Q1.1, Q1.2, Q2 и Q3) с контролем токов тремя трехфазными входами от ТТ1.1 и ТТ1.2 (соединены параллельно), ТТ2, ТТ3 через ступени МТЗ, назначенные на работу по токам входов ВН, СН, НН устройства РС830-ДТЗ, изображена на рис.2.

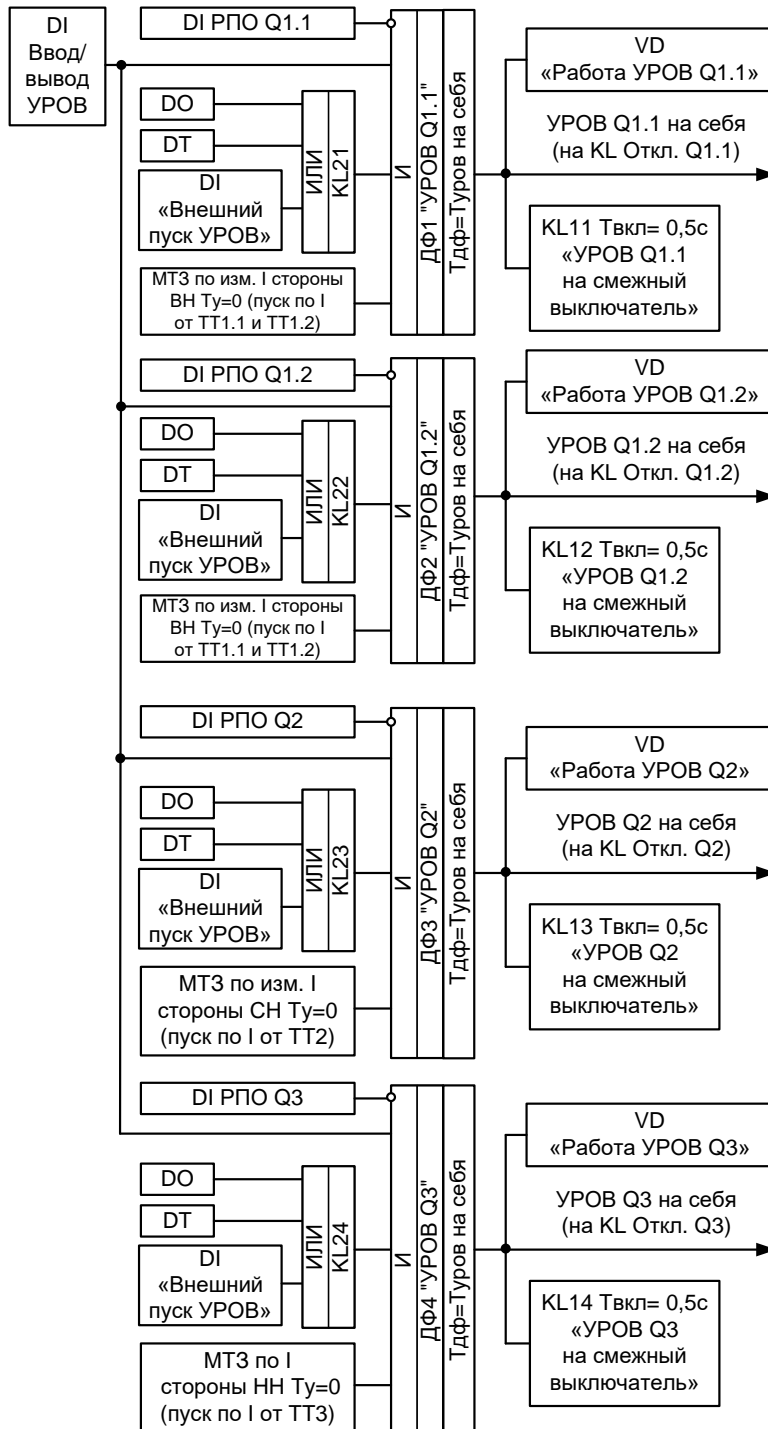


Рис. 2

Идентификация отказавшего выключателя, для которого выполняется УРОВ, осуществляется пуском по току от соответствующей ступени МТЗ, назначенной на работу по токам входов устройства в цепи этого выключателя, и отсутствием активного сигнала его РПО

на соответствующем дискретном входе. При этом для Q1.1 и Q1.2 используется общий пуск по токам входов ВН устройства ДТЗ, а различают эти выключатели только по отсутствию активно состояния сигнала РПО Q1.1 или РПО Q1.2. УРОВ каждым выключателем реализуется при помощи соответствующей дополнительной функции ДФ1, ДФ2, ДФ3, ДФ4. Пуск каждого УРОВ осуществляется от ступеней дифзащиты ДО и ДТ и через дискретный вход «Внешний пуск УРОВ» от терминалов индивидуальных защит соответствующих присоединений. Все пуски каждого УРОВ объединяются по «ИЛИ» при помощи логики виртуальных реле KL21, KL22, KL23, KL24, которые как физические реле отсутствуют в устройстве. Сигнал пуска каждого УРОВ с логических выходов, указанных реле подается на вход своей дополнительной функции (ДФ1, ДФ2, ДФ3, ДФ4), на входах которой он объединяется по «И» с инверсиями сигналов DI РПО соответствующего выключателя и контроля тока в его цепи через соответствующую ступень МТЗ с нулевой выдержкой времени. Выходы указанных ДФ формируют сигналы «УРОВ на себя» и назначаются на реле отключения соответствующего выключателя, а также на светодиод сигнализации работы УРОВ этого выключателя. В результате такой организации УРОВ каждого выключателя срабатывает при наличии его пуска от защит, наличии контролируемого тока в цепи выключателя и отсутствии сигнала его РПО (выключатель не отключился от защит). Выдержка времени УРОВ на себя обеспечивается уставкой по времени дополнительной функции. Для действия на отключение от УРОВ смежного (последующего) выключателя используются реле KL11, KL12, KL13, KL14, программируемые на работу с задержкой на срабатывания на время до 0,5с после действия УРОВ на себя. Указанное время достаточно для того, чтобы убедиться, что действие УРОВ на себя не обеспечило отключение выключателя. Логические выходы указанных реле могут использоваться для сигнализации действия УРОВ на выключатель смежного присоединения.

Шкаф ДЗШ/ДЗО должен обеспечивать возможность опробования секции шин или ошиновки ручным включением выключателя присоединения, предназначенного для опробования, ключом опробования. При опробовании, а также после действия АПВ шин, дифзащита должна переходить в режим работы с повышенной чувствительностью на время, достаточное для отключения от дифзащиты, например, 0,5с. Это можно обеспечить переключением устройства на работу по второй группе уставок через дискретный вход. Управление указанным дискретным входом должно осуществляться выходным реле в импульсном режиме (0,5с), назначенным на выход АПВ шин и на другой дискретный вход, управляемый контактами ключа опробования. Кроме того, это же реле назначается на выходы ДО и ДТ. Последнее обеспечивает также повышение чувствительности в момент срабатывания ДЗШ с целью предотвращения возврата дифзащиты в результате уменьшения тока КЗ при отключении первых питающих присоединений и одновременности действия их выключателей.

Должен предусматриваться отдельный дискретный вход, обеспечивающий перевод ДТ на вторую группу уставок с повышенной чувствительностью перед началом операций с разъединителями. От этого же дискретного входа назначается блокировка дифзащиты от небаланса (ДН). Последнее обеспечивает запрет блокировки дифзащиты при неисправности цепей тока во время операций с разъединителями.

АПВ шин выполняется штатным АПВ устройства ДТЗ с контролем отсутствия напряжения на секции шин (контроль, что все питающие источники отключились). Контроль отсутствия

напряжения осуществляется через дискретный вход, на который подается сигнал контактами внешних реле напряжения или защиты по напряжению другого устройства. Действие АПВ шин выполняется на выходное реле включения выключателя присоединения, предназначенного для опробования секции шин. Указанное действие может выполняться через дополнительную функцию ДФ2, входы которой объединяются по логике «И» и назначаются на выход АПВ и упомянутый дискретный вход контроля отсутствия напряжения. Так как пуск АПВ от ДО и ДТ устройства РС830-ДТЗ не предусмотрен, то для осуществления АПВ после работы ДЗШ следует назначить пуск АПВ от дополнительной функции с нулевым временем срабатывания, на входы которой по логике «ИЛИ» назначить сигналы «Работа ДО» и «Работа ДТ».

АПВ остальных присоединений (не заведенных под опробование) выполняется устройствами РЗА этих присоединений через их АУВ с контролем наличия напряжения на шинах (т.е. после постановки шин под напряжение в результате опробования) и контролем синхронизма. Это может выполняться устройствами РС830-ДЗ в сетях 110-220кВ или РС83-ВС в сети 35кВ. Контроль синхронизма не выполняется, если со стороны рассматриваемого присоединения не может быть подано питание.

2.Выбор уставок дифференциальной защиты устройства РС830-ДТЗ при его использовании для реализации дифзащиты шин или ошиновки (ДЗШ/ДЗО)

Во всех расчетах предполагается, что трансформаторы тока всех присоединений соединены в звезду и коэффициенты схемы $K_{сх}=1$.

2.1. Коэффициенты выравнивания

2.1.1. Выбирают присоединение (плечо ДЗШ) со средним, по отношению ко всем присоединениям схемы ДЗШ, коэффициентом трансформации трансформаторов тока. Это присоединение принимают за основное.

2.1.2. Коэффициент выравнивания основного присоединения $K_{вр о}$ (уставка – диапазон от 0,25 до 4 с шагом 0,01), если отсутствуют другие соображения, может быть принят равным единице.

2.1.3. Коэффициенты выравнивания остальных присоединений схемы ДЗШ при принятых значениях $K_{вр о}$, коэффициентов трансформации трансформаторов тока $n_{т о}$ основного присоединения и $n_{т}$ рассматриваемого присоединения определяются в соответствии с выражением:

$$K_{вр} = K_{вр о} \frac{n_{тт}}{n_{тт о}} \quad (1)$$

Точный выбор уставки $K_{вр}$ в соответствии с выражением (1) является обязательным, поэтому в случае невозможности выполнения условий (1) для какого то из присоединений, например за счет выхода рассчитанного значения $K_{вр}$ за диапазон уставок, принятое значение $K_{вр о}$ должно быть соответственно скорректировано с последующим пересчетом значения $K_{вр}$ для всех присоединений.

2.2. Уставки дифференциальной отсечки (ДО)

2.2.1. Уставка по току срабатывания в основном режиме (1гр. уставок) и режиме опробования (2гр. уставок) по условиям отстройки от небаланса при сквозных КЗ на каждом из присоединений выбирают в соответствии с выражением

$$I_{\text{дотс}} \geq K_n K_{\text{вр}} (k_{\text{АП}} k_{\text{ОДН}} \varepsilon + \gamma) I_{\text{кз макс}} / n_{\text{ТТ}}, \quad (2)$$

где:

- K_n – коэффициент надежности, $K_n=1,5$;
- $K_{\text{вр}}$ – коэффициент выравнивания присоединения;
- $k_{\text{АП}}$ – коэффициент апериодической составляющей, $k_{\text{АП}}=2 \div 4$;
- $k_{\text{ОДН}}$ – коэффициент однотипности, принимается 0,5 или 1;
- ε – погрешность трансформаторов тока, для класса 10P принимается 0,1;
- γ – погрешность, возникающая в результате цифрового выравнивания токов, $\gamma=0,05$;
- $I_{\text{кз макс}}$ – максимальный сквозной ток при КЗ на рассматриваемом присоединении, возможный в любом из режимов питания секции шин;
- $n_{\text{ТТ}}$ – коэффициент трансформации трансформаторов тока рассматриваемого присоединения.

Значение $k_{\text{АП}}$ принимают 4 если максимальное значение тока КЗ на присоединении приближается к предельно допустимому току для примененных на присоединении трансформаторов тока и принимается 2, если ток КЗ не превышает 0,5 предельного. В промежуточных случаях принимают промежуточные значения $k_{\text{АП}}$.

Значение $k_{\text{ОДН}}$ принимается равным 0,5 при однотипных трансформаторах на всех присоединениях и равным 1 при разнотипных.

Значение $I_{\text{дотс}}$ в соответствии с выражением (2) рассчитывается по условиям отстройки от небаланса при сквозном КЗ на каждом из присоединений секции шин и в качестве уставки принимается максимальное из полученных значений.

2.2.2. Если в зоне ДЗШ имеется трансформатор, то при работе в режиме опробования (2гр. уставок) необходимо дополнительно проверить отстройку от броска намагничивающего тока в соответствии с выражением

$$I_{\text{дотс}} \geq K_{\text{БНТ}} K_{\text{вр}} I_{\text{н тр}} / n_{\text{ТТ}}, \quad (3)$$

где:

- $K_{\text{БНТ}}$ – коэффициент отстройки от БНТ, $K_{\text{БНТ}}=5$;
- $I_{\text{н тр}}$ – номинальный ток трансформатора.

В таком случае, если согласно выражения (3) в режиме опробования требуется заглубление дифференциальной отсечки по сравнению с работой в основном режиме (1гр. уставок) согласно выражению (2), то такое заглубление выполняется путем перехода в режиме опробования на вторую группу уставок.

2.2.3. Блокировку по 2 и 5 гармонике для ДО не вводят.

2.2.4. Уставку по времени ДО принимают равной 0.

2.2.5. В связи с тем, что ДО для шин является вспомогательной защитой по отношению к дифференциальной защите с торможением (ДТ) как основной защите, чувствительность ДО не проверяют.

2.3. Уставки дифференциальной защиты с торможением (ДТ)

2.3.1. Блокировку по 2 гармонике ДТ следует ввести. При наличии трансформаторов в зоне защиты это позволит не отстраивать ДТ от броска тока намагничивания. При отсутствии трансформаторов в зоне защиты это повысит устойчивость работы ДЗШ при переходных процессах в начальный момент наступления режима КЗ и позволит не учитывать коэффициент апериодической составляющей $k_{ап}$ при выборе тока срабатывания ДТ.

Блокировку по 5 гармонике следует ввести, если есть трансформаторы в зоне защиты и не вводить, если трансформаторов в зоне защиты нет.

2.3.2. Коэффициенты участия токов всех сторон в токе торможения устройства РС830-ДТЗ рекомендуется принять $K_{вн}=K_{сн}=K_{нн}=0,5$ (л.1). Это позволит не снижать чувствительность дифзащиты по условию отстройки от небаланса при сквозном КЗ в худшем случае, когда питание секции шин остается только по одному присоединению.

2.3.3. Уставку начального тока срабатывания $I_{д0}$ в основном режиме (1 гр. уставок) выбирают по условию отстройки от дифференциального тока, возникающего при обрыве токовых цепей в режиме максимальной нагрузки отдельно для каждого присоединения

$$I_{д0} \geq K_{отс} K_{вр} I_{н \max} / n_{тт} , \quad (4)$$

где:

- $K_{отс}$ – коэффициент отстройки, $K_{отс}=1,2$;

- $I_{н \max}$ – максимальный ток нагрузки присоединения.

За уставку принимают максимальное из значений по выражению (4), полученное для любого из присоединений.

2.3.4. Уставку начального тока срабатывания $I_{д0ч}$ в режиме повышенной чувствительности (2 гр. уставок) выбирают по условию отстройки от небаланса токов неотключаемых присоединений при опробовании

$$I_{д0ч} \geq K_{н} K_{вр} \varepsilon (I_{с \text{ зап}} + K_{бнт} I_{н \text{ тр}} + I_{рас}) / n_{тт} , \quad (5)$$

где:

- $K_{н}$ – коэффициент надежности, $K_{н}=1,5$;

- $I_{с \text{ зап}}$ – ток самозапуска неотключаемых двигателей;

- $K_{бнт}$ – кратность броска тока намагничивания, $K_{бнт}=5$;

- $I_{н \text{ тр}}$ – номинальный ток неотключаемых трансформаторов;

- $I_{рас}$ – расчетный ток других нагрузок (кроме двигателей и трансформаторов) неотключаемых присоединений.

Полученное в соответствии с выражением (5) значение $I_{д0ч}$ проверяют по условиям отстройки от качаний

$$I_{д0ч} \geq K_{н} K_{вр} \varepsilon I_{кач} / n_{тт} , \quad (6)$$

где:

- $I_{кач}$ – ток качаний или асинхронного хода.

За уставку принимают большее из значений, полученное по выражениям (5) и (6).

3.3.5. Для основного режима ток срабатывания ступени дифзащиты с торможением ДТ по условию отстройки от небаланса при сквозном КЗ на каждом из присоединений защищаемых шин

$$I_{дт} = K_{н} K_{вр} (\varepsilon + \gamma) I_{кз \max} / n_{тт} . \quad (7)$$

Здесь все значения принимаются так же, как в выражении (2).

Ток торможения для основного режима при сквозном КЗ в той же точке

$$I_T = I_{к\text{ВН}} (K_{вр}/n_{тТ})_{\text{ВН}} + I_{к\text{СН}} (K_{вр}/n_{тТ})_{\text{СН}} + I_{к\text{НН}} (K_{вр}/n_{тТ})_{\text{НН}}. \quad (8)$$

Здесь:

- $I_{к\text{ВН}}$, $I_{к\text{СН}}$, $I_{к\text{НН}}$ – токи на входах соответственно ВН, СН, НН устройства ДТЗ при сквозном КЗ в точке, для которой определяется $I_{дТ}$ по выражению (7);

- $K_{вр}$, $K_{сн}$, $K_{нн}$ – коэффициенты участия в токе торможения токов присоединений, к которым подключены соответствующие входы устройства, принятые в соответствии с пунктом 2.3.2;

- $K_{вр}$ и $n_{тТ}$ – уставки устройства ДТЗ по коэффициентам выравнивания и коэффициенты трансформации трансформаторов тока для соответствующих плечей дифзащиты.

Если к входам токов ВН, СН или НН устройства ДТЗ подключены параллельно соединенные обмотки ТТ соответствующих присоединений ДЗШ, то вместо соответствующего тока $I_{к\text{ВН}}$, $I_{к\text{СН}}$ или $I_{к\text{НН}}$ в выражение (8) необходимо подставлять сумму токов присоединений с параллельным соединением обмоток ТТ.

Для случая сквозного КЗ на каждом из присоединений определяют $I_{дТ}$ в соответствии с выражением (7) и I_T в соответствии с выражением (8). Для каждого из указанных случаев сквозных КЗ в основном режиме определяют коэффициент торможения K_T

$$K_T = I_{дТ} / I_T. \quad (9)$$

В качестве уставки в 1гр. уставок принимают максимальное из полученных значений K_T для всех рассмотренных режимов сквозных КЗ.

Коэффициент торможения K_T для 2 гр. уставок принимают такой же, как для 1гр. уставок.

3.3.6. Для того, чтобы условие отстройки от небаланса в каждой точке наклонного участка тормозной характеристики выполнялось так же как в расчетной точке при расчетном виде сквозного КЗ, выберем значение уставки $I_{т0}$ так, чтобы продолжение наклонного участка тормозной характеристики проходило через начало координат.

Для основного режима (1гр. уставок):

$$I_{т0} = I_{д0} / K_T. \quad (10)$$

Для режима повышенной чувствительности (2гр. уставок):

$$I_{т0ч} = I_{д0ч} / K_T. \quad (11)$$

3.3.7. Если любое из полученных в соответствии с выражениями 10, 11 значение $I_{т0}$ или полученных в соответствии с выражениями 4-6 значения $I_{д0}$ выходят за пределы допустимых величин, то следует принять их ближайшие допустимые значения и пересчитать значения коэффициента торможения K_T в соответствии с выражениями:

$$K_T = (I_{дТ} - I_{д0}) / (I_T - I_{т0});$$

$$K_T = (I_{дТ} - I_{д0ч}) / (I_T - I_{т0ч}).$$

Здесь $I_{дТ}$ и I_T – параметры, по которым был исходно рассчитан принятый коэффициент торможения согласно выражению (9).

Окончательно для основного режима и режима повышенной чувствительности принимают одинаковое значение K_T , равное максимальному из полученных при пересчетах.

3.3.8. В качестве уставки тока ограничения торможения I_t огр принимают максимальное из полученных в пункте 3.3.5 для рассмотренных режимов сквозных КЗ значение I_t , рассчитанных по выражению (8).

3.3.9. Коэффициент чувствительности ДТ в основном режиме определяют для 1гр. уставок при минимальном значении тока КЗ на защищаемых шинах $I_{кз\ min}$, который обычно имеет место при питании шин по одному из присоединений (присоединению с максимальным значением сопротивления питающего источника). Ток торможения I_t для этого режима определяют в соответствии с выражением (8) для значения тока $I_{кз\ min}$ с учетом параметров (коэффициента выравнивания $K_{вр}$, коэффициента участия тока в токе торможения K и коэффициента трансформации $n_{тт}$) плеча, обтекаемого током (указанного присоединения с максимальным значением сопротивления питающего источника)

$$I_t = K_{вр} K I_{кз\ min} / n_{тт}.$$

Ток срабатывания $I_{дт}$ в этом режиме получим в зависимости определенного значения тока торможения I_t :

-если $I_t > I_{т0}$

$$I_{дт\ ср} = I_{д0} + K_t (I_t - I_{т0}); \quad (12)$$

-если $I_t \leq I_{т0}$

$$I_{дт\ ср} = I_{д0}. \quad (13)$$

Вторичное значение дифференциального тока $I_{д2}$, на который реагирует устройство в этом режиме

$$I_{д2} = K_{вр} I_{кз\ min} / n_{тт}. \quad (14)$$

Коэффициент чувствительности $K_{ч\ дт}$

$$K_{ч\ дт} = I_{д2} / I_{дт\ ср}. \quad (15)$$

В соответствии с требованиями ПУЭ (п. 3.2.21) коэффициент чувствительности ДЗШ в основном режиме должен быть не менее 2.

3.3.10. Коэффициент чувствительности ДТ в режиме опробования определяют для 2гр. уставок при минимальном значении тока КЗ на защищаемых шинах $I_{кз\ min}'$ при питании шин от конкретного присоединения, используемого для опробования. Расчеты выполняют в соответствии с выражениями по пункту 3.3.9, но для значений уставок, принятых для режима опробования (2 гр. уставок).

В соответствии с требованиями ПУЭ коэффициент чувствительности ДЗШ в режиме опробования должен быть не менее 1,5.

2.4. Уставки дифференциальной защиты от небаланса (ДН)

2.4.1. Ток срабатывания дифзащиты от небаланса выбирается по условиям отстройки от небаланса максимального тока нагрузки $I_{н\ max}$ каждого из присоединений секции шин

$$I_{дн} \geq K_n K_{вр} (\varepsilon + \gamma) I_{н\ max} / n_{тт}. \quad (16)$$

Здесь значение коэффициента надежности принимается $K_n=1,4$. Остальные величины – такие же, как в выражении (2).

В качестве уставки $I_{дн}$ принимается максимальное из значений согласно выражению (16), полученное для любого из присоединений секции шин по его параметрам ($K_{вр}$, $I_n \max$, $n_{тт}$).

2.4.2. Время срабатывания ступени дифференциальной защиты от небаланса выбирается по условию отстройки от времени действия ступеней защит от КЗ, включенных на всех присоединениях защищаемой секции шин:

$$T_{днб} \geq T_{ср \max} + \Delta T; \quad (17)$$

где:

$T_{ср \max}$ – максимальное из времен срабатывания любой из защит с действием на отключение, включенных на всех присоединениях секции шин;

ΔT – степень селективности, $\Delta T=1с$.

Литература

1. С. А. Гондуров, Е. В. Илюхин, М. Г. Пирогов, А. Л. Соловьёв. Дифференциальная токовая защита сборных шин и ошинок станций и подстанций напряжением 35-220кВ терминалами БМРЗ. Методика расчёта. Петербургский энергетический институт повышения квалификации, Кафедра релейной защиты и автоматики. Санкт-Петербург 2013.

2. СТО ДИВГ-051-2012. Сборные шины и ошиновка станций и подстанций 35-220кВ. Дифференциальная токовая защита. Расчёт уставок. Методические указания.

**Методические указания по выбору уставок дифференциальной
защиты трансформаторов, реализуемой при помощи устройств
РС830-ДТЗ**

Условные обозначения

$n_{тт}$ – коэффициент трансформации трансформаторов тока рассматриваемой стороны силового трансформатора

$I_{мах}$ – максимальный рабочий ток рассматриваемой стороны трансформатора

$U_{ср}$ – номинальное напряжение в среднем положении РПН рассматриваемой стороны трансформатора

$K_{вр\ вн}$ – коэффициент выравнивания стороны высшего напряжения

$K_{вр\ сн}$ – коэффициент выравнивания стороны среднего напряжения

$K_{вр\ нн}$ – коэффициент выравнивания стороны низшего напряжения

$K_{сх}^{(3)}$ – коэффициент схемы соединения трансформаторов тока и реле

$I_{т0}$ – начальный ток торможения 2ст защиты

$K_{вн} (сн, нн)$ – коэффициент участия тока стороны ВН (СН, НН) в токе торможения

$I_{т\ огр}$ – уставка ограничения тока торможения 2ст защиты

$I_{2\ к\ мах}$ – максимальный из вторичных сквозных токов КЗ сторон ВН, СН, НН на который реагирует устройство

$I_{2\ к\ мин}$ – минимальный из вторичных токов КЗ сторон ВН, СН, НН в конце зоны защиты на который реагирует устройство

$I_{огр}$ – ток срабатывания 2ст защиты в точке ограничения торможения

$I_{нб}$ – ток небаланса

$I_{нб}'$ – составляющая небаланса, вызванная погрешностями трансформаторов тока

$I_{нб}''$ – составляющая небаланса, вызванная изменениями коэффициента трансформации трансформатора при работе РПН

$I_{нб}'''$ – составляющая баланса, вызванная неточностью выравнивания выбранных коэффициентов трансформации трансформаторов тока

ε – относительная погрешность трансформаторов тока

$\Delta U_{РПН}$ – половина диапазона регулирования РПН в относительных единицах

$K_{ч\ дэт}$ – коэффициент чувствительности 2 ст. дифференциальной защиты

$I_{т\ ч}$ – ток торможения, при котором определяется коэффициент чувствительности, при повреждении в зоне защиты

$I_{д\ ср\ ч}$ – ток срабатывания защиты в точке характеристики, в которой определяется коэффициент чувствительности

k_t – уставка коэффициента торможения в относительных единицах

$I_{д\ отс}$ – уставка тока срабатывания дифференциальной отсечки (1ст)

$I_{д\ ср\ ч\ отс}$ – ток срабатывания дифференциальной отсечки в точке определения ее коэффициента чувствительности.

$K_{ч\ отс}$ – коэффициент чувствительности отсечки.

Порядок определения уставок

Перед определением уставок необходимо выбрать коэффициенты трансформации трансформаторов тока (если они еще не выбраны). Коэффициенты трансформации трансформаторов тока и коэффициенты выравнивания плеч защиты начинают выбирать с максимально загруженной (100%) стороны защищаемого трансформатора, принимаемой за основную. Часто это сторона ВН, подключенная к энергосистеме. В общем случае это может быть сторона СН или НН, если с указанной стороны рассчитаны на 100% нагрузки трансформатора.

1. Коэффициенты трансформации трансформаторов тока

1.1. Коэффициенты трансформации трансформаторов тока для основной стороны силового трансформатора $n_{т\ o}$, если они еще не выбраны и отсутствуют другие соображения (например, ограничения относительно допустимого значения вторичного тока), принимаются минимально возможными в соответствии с выражением:

$$n_{т\ o} \geq \frac{K_{сх\ o}^{(3)} I_{маx\ o}}{I_{ном\ o}} \quad (1)$$

где:

- $K_{сх\ o}^{(3)}$ – коэффициент схемы соединения трансформаторов тока и реле (токовых входов устройства) в трехфазном режиме на основной стороне;

- $I_{маx\ o}$ – максимально рабочий ток (первичное значение) основной стороны, А;

- $I_{ном\ o}$ – номинальный вторичный ток трансформаторов тока основной стороны (обычно 5 А).

При соединении ТТ и токовых входов в звезду $K_{сх}^{(3)} = 1$. При соединении ТТ в треугольник, а токовых входов в звезду $K_{сх}^{(3)} = \sqrt{3}$.

При определении коэффициента трансформации трансформаторов тока по выражению (1) также необходимо учитывать общие правила и критерии выбора трансформаторов тока.

1.2. Коэффициенты трансформации трансформаторов тока для любой другой (кроме основной) стороны защищаемого трансформатора $n_{т}$ определяются по условию максимального приближения вторичного тока указанной стороны к току основной стороны при сквозных токах через защищаемый трансформатор в соответствии с выражением:

$$n_{т} \approx n_{т\ o} \frac{U_{ср\ o} K_{сх}^{(3)}}{U_{ср} K_{сх\ o}^{(3)}} \quad (2)$$

где:

- $K_{сх}^{(3)}$ - коэффициент схемы соединения трансформаторов тока и реле (токовых входов устройства) на рассматриваемой стороне защищаемого трансформатора в трехфазном режиме;

- $K_{сх\ o}^{(3)}$ - коэффициент схемы соединения трансформаторов тока и реле (токовых входов устройства) на основной стороне защищаемого трансформатора в трехфазном режиме;

- $U_{cp o}$ – номинальное напряжение (в среднем положении РПН) основной стороны защищаемого трансформатора;

- U_{cp} – номинальное напряжение (в среднем положении РПН) рассматриваемой стороны защищаемого трансформатора;

$n_{тт}$ для каждой из сторон защищаемого трансформатора принимаются ближайшими к расчетным по выражению 2 и проверяются на отсутствие перегрузки входов терминала РЗА максимальным рабочим током этой стороны в соответствии с выражением

$$n_{тт} \geq \frac{K_{сх}^{(3)} I_{max}}{I_{ном}}$$

где:

- I_{max} – максимальный первичный ток нагрузки на рассматриваемой стороне защищаемого трансформатора;

- $I_{ном}$ – номинальный вторичный ток трансформаторов тока.

Значение I_{max} обычно не превышает значение номинального тока рассматриваемой стороны защищаемого трансформатора. В случае отсутствия достоверных данных о максимальном токе нагрузки в качестве I_{max} можно использовать значение номинального тока трансформатора на его соответствующей стороне.

2. Коэффициенты выравнивания

2.1. Коэффициент выравнивания основной стороны $K_{вр o}$ (уставка – диапазон от 0,25 до 4 с шагом 0,01), если отсутствуют другие соображения, может быть принят равным единице.

2.2. Коэффициенты выравнивания остальных сторон при принятых значениях $K_{вр o}$, $n_{тт o}$ основной стороны и $n_{тт}$ рассматриваемой стороны определяются в соответствии с выражением:

$$K_{вр} = K_{вр o} \frac{K_{сх o}^{(3)} n_{тт} U_{ср}}{K_{сх}^{(3)} n_{тт o} U_{ср o}} \quad (3)$$

Точный выбор уставки $K_{вр}$ в соответствии с выражением (3) является обязательным, поэтому в случае невозможности выполнения условий (3) для какой то из сторон, например за счет выхода рассчитанного значения $K_{вр}$ за диапазон уставок, принятое значение $K_{вр o}$ должно быть соответственно скорректировано с последующим пересчетом значения $K_{вр}$ для рассматриваемой стороны (таким образом, чтоб $K_{вр}$ всех сторон трансформатора были в границах допустимых значений уставок).

2.3. Отличие принятых уставок по коэффициентам выравнивания $K_{вр y}$ по отношению к их расчетным значениям $K_{вр}$ по выражению (3) определяет относительную погрешность вычисления дифференциального тока δI_d

$$\delta I_d = \frac{K_{вр у} - K_{вр}}{K_{вр у}} \quad (4)$$

При правильном выборе уставок по коэффициентам выравнивания указанная относительная погрешность для каждой из принятых двух уставок коэффициентов выравнивания не должна превышать значение 0,01.

3. Блокировка от бросков тока намагничивания и перевозбуждения ступени дифференциальной защиты с торможением (ДТ)

3.1. Уставку тока второй гармоники (по отношению к первой) для блокировки бросков тока намагничивания при включении ненагруженного трансформатора $I_{2 бл}$ (уставка – диапазон от 5% до 50% с шагом 1%) – рекомендуется принять 12-15%. Типовое значение этой величины в некоторых зарубежных устройствах составляет 12 % (л.6).

3.2. Уставку тока пятой гармоники (по отношению к первой) для предотвращения излишнего срабатывания за счет повышения тока намагничивания силового трансформатора от перевозбуждения (значительно повышенного по сравнению с номинальным первичного напряжения) $I_{5 бл}$ (уставка – диапазон от 5% до 20% с шагом 1%) – рекомендуется принять 10%.

3.3. Уставку по времени ввода блокировки по второй гармонике и уставку по времени ввода блокировки по пятой гармонике следует принимать по условиям отстройки от длительности переходных процессов при возникновении броска тока намагничивания и перевозбуждения трансформатора. Если данные о длительности указанных переходных процессах отсутствуют, то рекомендуется принимать максимальные значения этих уставок – 2с.

4. Начальный ток срабатывания ДТ $I_{до}$

Уставка начального тока срабатывания $I_{до}$ (2ст защиты, уставка – диапазон от 0,5А до 5А с шагом 0,01А) выбирается по условию отстройки от броска тока намагничивания. При наличии временно-импульсного принципа отстройки от апериодической составляющей (как в реле ДЗТ-21 или ЯРЭ 2201) или блокировки по второй гармонике как в нашем устройстве, указанную уставку рекомендуется принимать с коэффициентом 0,3 по отношению к номинальному току стороны трансформатора, рассчитанной на его полную нагрузку (100%) – основной стороны трансформатора – $I_{но}$ (л.2, л.3). При этом учитываются принятые значения коэффициента трансформации трансформаторов тока $n_{т о}$, коэффициента выравнивания $K_{вр о}$ и коэффициента схемы $K_{сх о}^{(3)}$ основной стороны. На рис.1. красной утолщенной линией показан участок начального тока срабатывания $I_{до}$.

$$I_{до} = 0,3 K_{вр о} K_{сх о}^{(3)} \frac{I_{но}}{n_{т о}}, \quad (5)$$

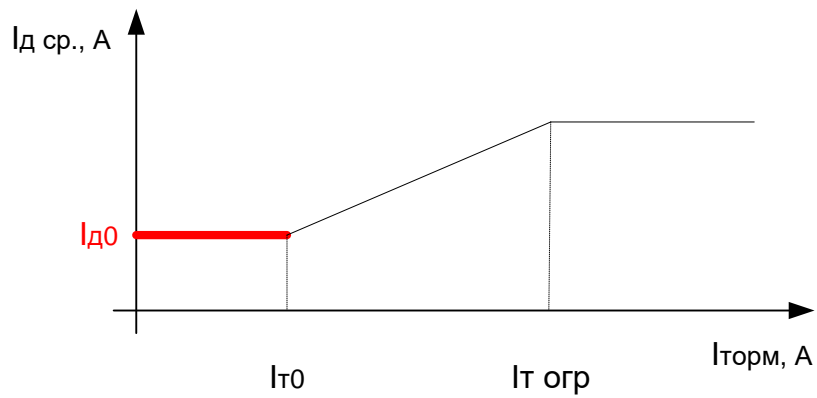


Рис.1.

5. Параметры торможения ДТ

5.1. Вторичные токи $I_2 к$, на которые реагирует устройство, при сквозных токах КЗ I_k (первичное значение) на шинах стороны трансформатора ВН, СН, или НН (рис. 2),

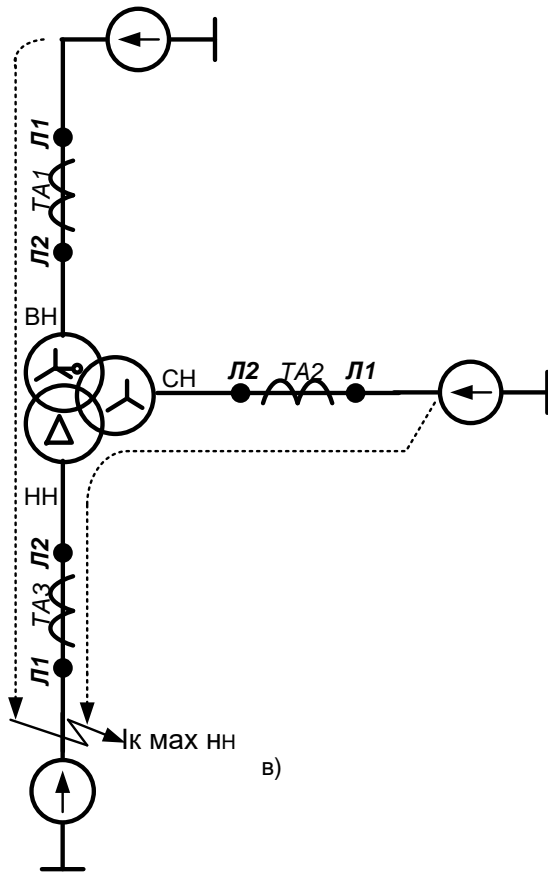
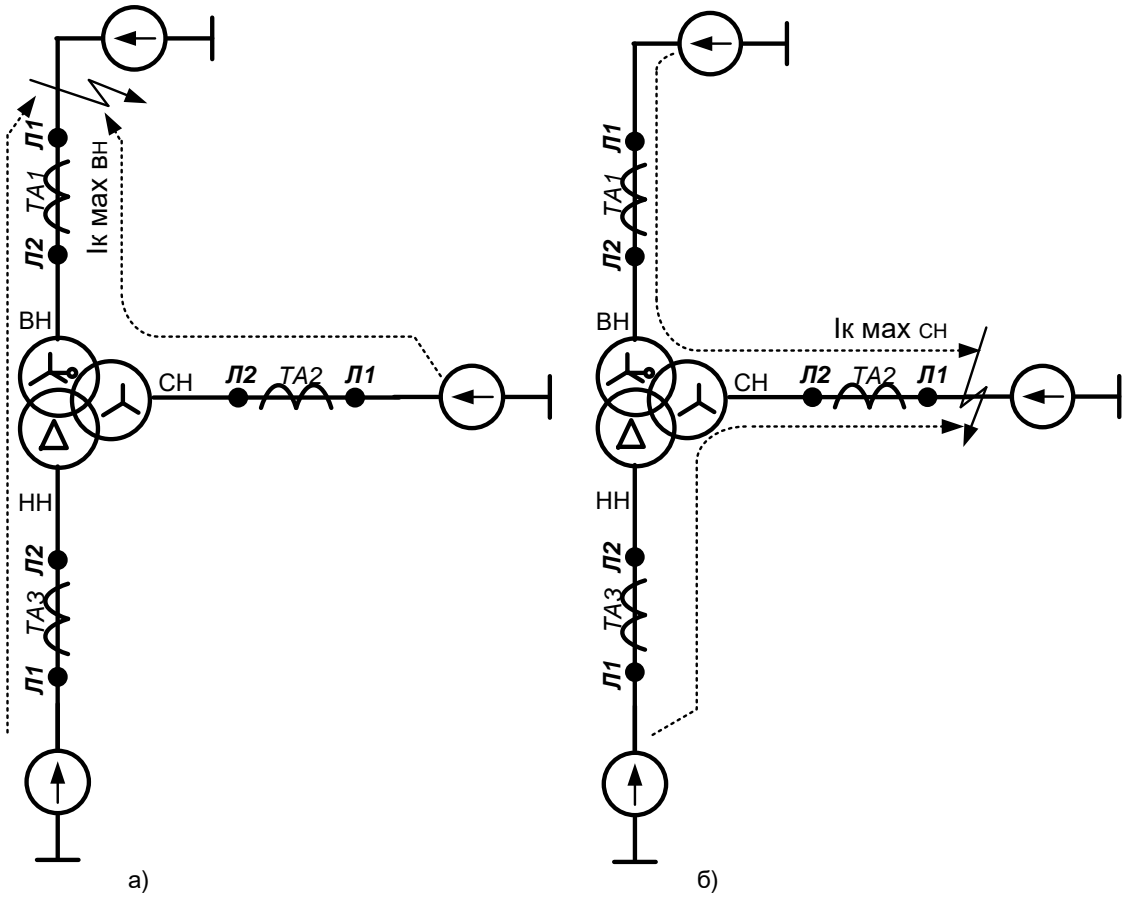


Рис.2

определяются собственно этими токами КЗ, значениями коэффициентов схемы в трехфазном режиме $K_{сх}^{(3)}$, коэффициентов выравнивания $K_{вр}$ и коэффициентов трансформации трансформаторов тока $n_{тт}$ рассматриваемой стороны трансформатора в соответствии с выражениями

$$\begin{cases} I_{2\text{ К ВН}} = (I_{к\text{ Ксх}}^{(3)} K_{вр} / n_{тт}) \text{ВН}; \\ I_{2\text{ К СН}} = (I_{к\text{ Ксх}}^{(3)} K_{вр} / n_{тт}) \text{СН}; \\ I_{2\text{ К НН}} = (I_{к\text{ Ксх}}^{(3)} K_{вр} / n_{тт}) \text{НН}. \end{cases} \quad (6)$$

Обращаем внимание, что под первичными токами $I_{к}$ соответствующей стороны трансформатора в выражениях (6) следует понимать именно сквозные токи при внешнем КЗ на своей стороне, протекающие через трансформаторы тока этой стороны, приведенные к номинальному напряжению этой же (**своей**) стороны (**ВН, СН, НН**) силового трансформатора. Также следует понимать, что сквозной ток КЗ на той стороне трансформатора, с которой может подаваться питание, это ток, создаваемый источниками двух других сторон (**рис 2**), и он отличается от полного тока КЗ в соответствующей точке на составляющую, создаваемую источником своей стороны. Указанная составляющая тока от источника своей стороны не протекает через трансформаторы тока рассматриваемой стороны и не должна учитываться в расчете. На рис.2 показан общий случай формирования сквозных токов КЗ при питании трансформатора от источников со всех сторон (ВН, СН, НН). В частных случаях возможно отсутствие источника на любой из сторон трансформатора и соответствующее изменение изображения картины формирования сквозных токов КЗ от источников разных сторон.

5.2. Коэффициенты $K_{вн}$, $K_{сн}$ и $K_{нн}$ участия токов сторон ВН, СН и НН в токе торможения (**уставки** – диапазон от 0 до 1 с шагом 0,01), если отсутствуют особые соображения, рекомендуется принимать следующим образом.

5.2.1. Для трансформаторов с наличием питания только с одной стороны, так чтобы со стороны питания торможение отсутствовало, а коэффициенты участия токов в токах торможения двух других сторон были равными и в сумме давали единицу. Так для трансформатора с питанием со стороны ВН:

$$\begin{cases} K_{вн}=0; \\ K_{сн}= 0,5; \\ K_{нн}=0,5, \end{cases} \quad (7)$$

5.2.2. Для трансформаторов с наличием питания с нескольких сторон так, что бы коэффициенты участия токов в токах торможения всех сторон были равными и в сумме давали единицу:

$$\begin{cases} K_{вн}=0,33; \\ K_{сн}= 0,33; \\ K_{нн}= 0,33. \end{cases} \quad (8)$$

5.3. Для определения параметров торможения выбирают режим сквозного КЗ (рис.2) на одной из сторон трансформатора (ВН, СН или НН) с максимальным из вторичных значений тока, на который реагирует устройство по выражениям (6)

$$I_{2\text{ К МАХ}} = (I_{\text{К}} K_{\text{СХ}}^{(3)} K_{\text{Вр}} / n_{\text{ТТ}})_{\text{МАХ}}. \quad (9)$$

Этот режим будем называть максимальным режимом. Токи, на которые реагирует устройство на сторонах ВН, СН и НН в максимальном режиме обозначим

$$\begin{cases} I_{2\text{ К ВН МАХ}}; \\ I_{2\text{ К СН МАХ}}; \\ I_{2\text{ К НН МАХ}}. \end{cases} \quad (10)$$

Сторону трансформатора (ВН, СН или НН) с максимальным из вторичных значений сквозных токов КЗ в максимальном режиме согласно выражениям (10) назовем базисной стороной. Вторичный ток, на который реагирует устройство при КЗ на базисной стороне в максимальном режиме:

$$I_{2\text{ К МАХ Б}} = (I_{2\text{ К ВН МАХ}}, I_{2\text{ К СН МАХ}}, I_{2\text{ К НН МАХ}})_{\text{МАХ}} = I_{\text{К Б}} K_{\text{СХ Б}}^{(3)} K_{\text{Вр Б}} / n_{\text{ТТ Б}}. \quad (11)$$

5.4. Вторичное значение тока торможения в любом режиме, когда стороны трансформатора обтекаются токами $I_{\text{К ВН}}$, $I_{\text{К СН}}$, $I_{\text{К НН}}$ с учетом принятых коэффициентов участия токов сторон в токах торможения $K_{\text{ВН}}$, $K_{\text{СН}}$, $K_{\text{НН}}$ определяется выражением

$$I_{\text{Т}} = I_{\text{К ВН}} K_{\text{ВН}} (K_{\text{СХ}}^{(3)} K_{\text{Вр}} / n_{\text{ТТ}})_{\text{ВН}} + I_{\text{К СН}} K_{\text{СН}} (K_{\text{СХ}}^{(3)} K_{\text{Вр}} / n_{\text{ТТ}})_{\text{СН}} + I_{\text{К НН}} K_{\text{НН}} (K_{\text{СХ}}^{(3)} K_{\text{Вр}} / n_{\text{ТТ}})_{\text{НН}}. \quad (12)$$

Тогда уставку ограничения тока торможения $I_{\text{Т Огр}}$ (2ст защиты, уставка – диапазон от 10А до 80А с шагом 0,1А) выбирают как ток торможения при сквозном КЗ на базисной стороне при питании со всех сторон, с которых может быть подано питание трансформатора, значениях токов, которыми обтекаются стороны трансформатора в этом режиме $I_{\text{К Б ВН}}$, $I_{\text{К Б СН}}$, $I_{\text{К Б НН}}$ и принятых значениях коэффициентов участия токов сторон в токах торможения $K_{\text{ВН}}$, $K_{\text{СН}}$, $K_{\text{НН}}$:

$$I_{\text{Т Огр}} = I_{\text{К Б ВН}} K_{\text{ВН}} (K_{\text{СХ}}^{(3)} K_{\text{Вр}} / n_{\text{ТТ}})_{\text{ВН}} + I_{\text{К Б СН}} K_{\text{СН}} (K_{\text{СХ}}^{(3)} K_{\text{Вр}} / n_{\text{ТТ}})_{\text{СН}} + I_{\text{К Б НН}} K_{\text{НН}} (K_{\text{СХ}}^{(3)} K_{\text{Вр}} / n_{\text{ТТ}})_{\text{НН}}.$$

На рис.3. красной утолщенной линией показан участок ограничения тока торможения, начинающийся со значения $I_{\text{Т Огр}}$.

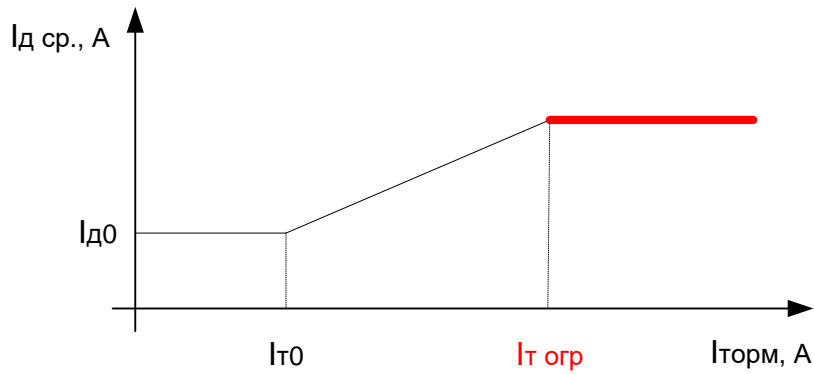


Рис.3.

5.5. Ток срабатывания 2ст защиты в $I_{ср}$ (рис.4) в рассматриваемом режиме определяется с учетом отстройки от тока небаланса $I_{нб}$ в максимальном режиме при КЗ на стороне, для которой получается максимальный вторичный сквозной ток КЗ:

$$I_{ср} = K_H I_{нб} \quad (13)$$

где k_H – коэффициент надёжности отстройки, который учитывает погрешности защиты и необходимый запас надёжности, $k_H=1,2$.

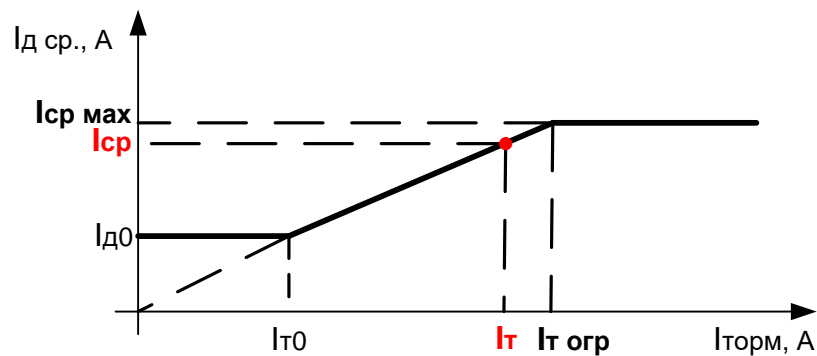


Рис.4.

5.6. Ток небаланса $I_{нб}$:

$$I_{нб} = I_{нб}' + I_{нб}'' + I_{нб}''', \quad (14)$$

5.6.1. Составляющая небаланса $I_{нб}'$, вызванная погрешностями трансформаторов тока:

$$I_{нб}' = K_{ап} K_{одн} \varepsilon I_{2к}, \quad (15)$$

где: $K_{ап}$ – коэффициент, который учитывает повышение погрешности за счет апериодической составляющей и переходного режима, при наличии средств отстройки от небаланса в переходном режиме (в нашем случае блокировка по второй гармонике) $K_{ап}=1$ (л.5);

$K_{одн}$ – коэффициент однотипности условий работы трансформаторов тока, в случае обтекания трансформаторов тока близкими по значению вторичными токами при сквозном КЗ $K_{одн}=0,5$, в других случаях $K_{одн}=1$ (л.2);

ε – относительная погрешность трансформаторов тока, с учетом требования проверки трансформаторов тока в режиме КЗ на 10% погрешность, принимается $\varepsilon =0,1$;

$I_{2к}$ – вторичный ток при сквозном КЗ на рассматриваемой стороне в максимальном режиме.

5.6.2. Составляющая небаланса $I_{нб}''$ вызванная изменениями коэффициента трансформации трансформатора при работе РПН:

$$I_{нб}'' = \Delta U_{РПН} I_{2к} , \quad (16)$$

где $\Delta U_{РПН}$ – половина диапазона регулирования РПН в относительных единицах.

5.6.3. Составляющая небаланса $I_{нб}'''$ вызванная неточностью выравнивания выбранных коэффициентов трансформации трансформаторов тока:

$$I_{нб}''' = \delta I_{д} I_{2к} , \quad (17)$$

При выборе уставок $K_{вр в}$, $K_{вр с}$, $K_{вр н}$, такими, которые точно отвечают выражению (3), эта составляющая отсутствует. При полученном значении $\delta I_{д}$ по выражению (4) меньше 0,01, что обычно имеет место при расчетах по этой методике и реальной дискретности задания коэффициентов выравнивания, указанной составляющей можно пренебречь.

5.7. Коэффициент торможения K_T (уставка – диапазон от 0 до 0,9 с шагом 0,01)

$$K_T = I_{ср} / I_T \quad (18)$$

Здесь I_T определяется по выражению 12 с учетом того, какие трансформаторы тока обтекаются какими токами для рассматриваемого режима питания трансформатора.

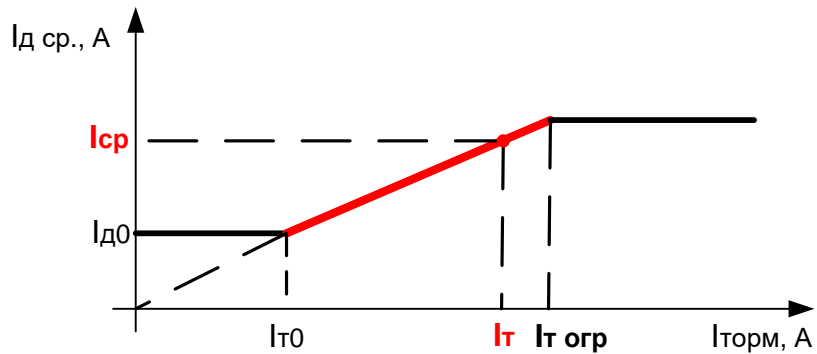


Рис.5.

На рис.5. красной утолщенной линией показан наклонный участок торможения.

5.8. Полученное значение коэффициента торможения в соответствии с выражением 18 обеспечивает отстройку от максимального небаланса при токе сквозного КЗ. Его вначале определяют для режима питания трансформатора по нормальной схеме от источников со всех сторон трансформатора, с которых может быть подано питание. При отключении питания с любой или любых из сторон трансформатора составляющая тока торможения от соответствующей стороны исчезает и, несмотря на уменьшение значений сквозных токов КЗ при этом, условие отстройки от небаланса может нарушиться. Поэтому для всех возможных режимов питания с разных сторон трансформатора следует повторить расчеты K_T по пунктам 5.5-5.7 при новых значениях токов КЗ на сторонах I_k вн, I_k сн, I_k нн и вновь определенному значению тока торможения по выражению 11. Из полученных значений K_T для всех расчетных режимов в качестве уставки следует принять максимальное значение. При этом значение тока ограничения торможения $I_{т\text{ огр}}$ по пункту 5.4 так же принимается максимальным, причем режим, по которому принимается максимальное значение тока $I_{т\text{ огр}}$ и режим, по которому принимается максимальное значение коэффициента торможения K_T , могут не совпадать.

5.9. Для того, что бы условие отстройки от небаланса в каждой точке наклонного участка тормозной характеристики выполнялось так же как в расчетной точке, выберем значение уставки $I_{т0}$ так, что бы продолжение наклонного участка тормозной характеристики проходило через начало координат:

$$I_{т0} = I_{д0} / K_T. \quad (19)$$

Если полученное в соответствии с выражением (19) значение $I_{т0}$ выходит за пределы допустимых величин (1,5...4А), то следует принять $I_{т0}$ равное ближайшему допустимому значению уставки (1,5 или 4А) и пересчитать значения $I_{д0}$ или коэффициента торможения K_T в соответствии с выражениями:

$$I_{д0} = K_T I_{т0};$$

$$K_T = (I_{ср} - I_{д0}) / (I_{т\text{ огр}} - I_{т0}).$$

Здесь $I_{ср}$ и $I_{т\text{ огр}}$ – параметры, по которым было исходно рассчитано коэффициент торможения.

6. Коэффициент чувствительности ДТ

Для определения коэффициента чувствительности рассматривают режимы питания с разных сторон трансформатора и для каждого режима определяют минимальные значения вторичного тока, на который реагирует устройство при КЗ в конце зоны защиты (рис. 6):

$$I_2 \text{ к min} = (I_k K_{\text{сх}}^{(3)} K_{\text{вр}} / n_{\text{ТТ}}) \text{ min.} \quad (20)$$

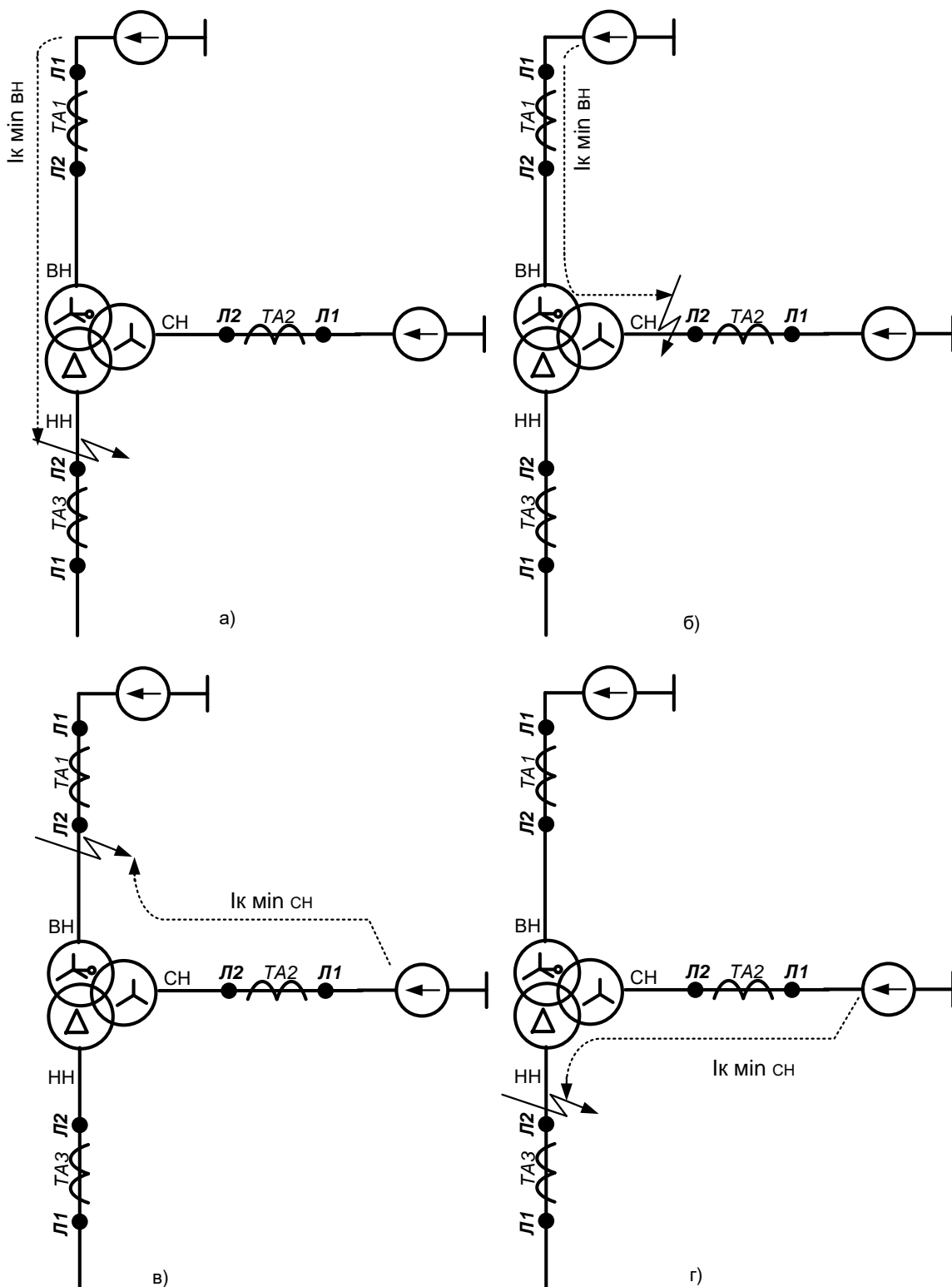


Рис.6

Обращаем внимание, что токи по выражениям 20 это не токи при КЗ на сторонах ВН, СН и НН трансформатора, а токи, которыми обтекаются указанные стороны в минимальном режиме, т.е. при КЗ на одной из других сторон, КЗ на которой дает минимальное значение тока по выражению 20. Соответственно минимальный ток стороны ВН $I_{k \min \text{ вн}}$ может иметь место при КЗ на стороне НН (рис.6а) или на стороне СН (рис.6б). Минимальный ток стороны СН $I_{k \min \text{ сн}}$ может иметь место при КЗ на стороне ВН (рис.6в) или на стороне НН (рис.6г). В общем случае, если возможно питание со стороны НН, то при выборе минимального тока следует рассматривать и токи этой стороны.

Для каждого из режимов питания определим значения вторичных токов, на которые реагирует устройство $I_{2к}$, ток торможения в точке определения чувствительности $I_{тч}$, ток срабатывания ДЗТ в этой же точке $I_{д \text{ ср ч}}$ и коэффициент чувствительности $K_{ч \text{ дзт}}$:

$$I_{2к} = I_k K_{сх}^{(3)} K_{вр} / n_{тт}; \quad (21)$$

$$I_{тч} = K_{вн} I_{2к \text{ вн } \min} + K_{сн} I_{2к \text{ сн } \min} + K_{нн} I_{2к \text{ нн } \min} \quad (22)$$

$$I_{д \text{ ср ч}} = I_{д0} + k_{т}(I_{тч} - I_{т0}), \text{ если } I_{тч} \geq I_{т0} \text{ (рис.7),}$$

$$\text{Иначе } I_{д \text{ ср ч}} = I_{д0} \text{ (рис.8),} \quad (23)$$

$$K_{ч \text{ дзт}} = I_{2к} / I_{д \text{ ср ч}} \quad (24)$$

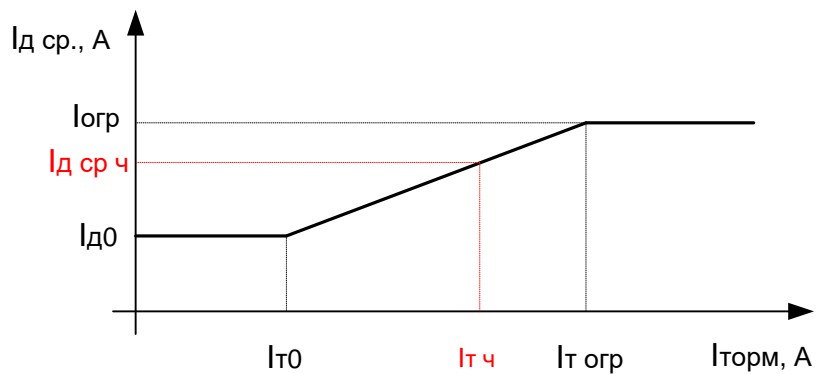


Рис.7.

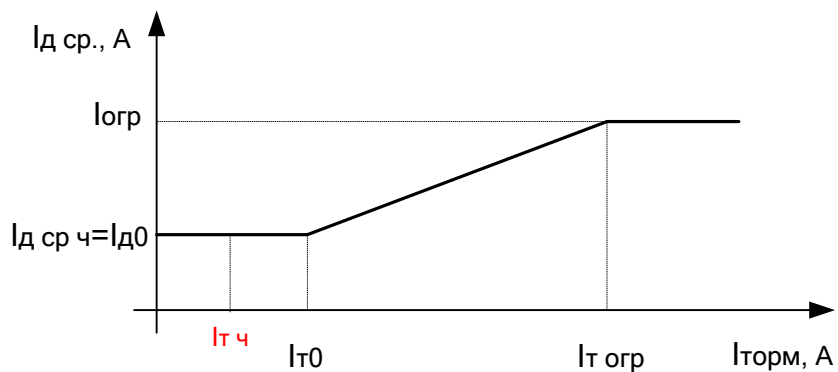


Рис.8.

За расчетный, принимают минимальный из полученных коэффициентов чувствительности для всех рассмотренных режимов питания и точек КЗ. При этом минимальное значение

коэффициента чувствительности может оказаться не в том режиме и точке КЗ, для которых имело место минимальное значение тока I_2 к. Это объясняется возможностью получения тока торможения в указанном режиме, превышающим ток торможения в других режимах.

7. Дифференциальная отсечка (ДО)

7.1. Уставка тока срабатывания дифференциальной отсечки $I_{д\ отс}$ (1-я ст, **уставка** – диапазон от 5А до 60А с шагом 0,01А) выбирается по условию отстройки от полного значения броска тока намагничивания. Согласно (л.1) ток срабатывания ДО рекомендуется принимать равным 3-4 номинального тока стороны трансформатора, рассчитанной на его полную нагрузку (100%) – основной стороны трансформатора – $I_{н\ о}$. При этом предполагается в первый момент броска тока намагничивания возможность наличия тока, превышающего уставку ДО, а ее несрабатывание должно обеспечиваться быстрым затуханием тока за время действия отсечки. Учитывая повышенное быстродействие отсечки устройства РС830-ДТЗ (0,035 с), изготовителем рекомендуются более жесткие условия выбора тока срабатывания ДО с коэффициентом отстройки 5-6. Аналогично выражению (5), уставка тока срабатывания дифференциальной отсечки

$$I_{д\ отс} = (5-6) K_{вр\ о} K_{сх\ о}^{(3)} \frac{I_{н\ о}}{n_{т\т\ о}} . \quad (25)$$

При этом меньшие значения коэффициента отстройки следует принимать, если коэффициент чувствительности по выражению (26) оказывается меньше 2.

7.2. В особых случаях при необходимости повысить чувствительность отсечки минимальное значение коэффициента отстройки в выражении (25) может быть понижено до 3,5, но при этом, для обеспечения затухания броска тока намагничивания, следует установить отличное от нуля время срабатывания ДО. Рекомендуемое время не менее 0,05с. В каждом отдельном случае решение о введении задержки срабатывания ДО принимается индивидуально, если рекомендованной величины коэффициента отстройки недостаточно для обеспечения чувствительности, а при его снижении становятся возможными излишние срабатывания ДО.

7.3. При выбранных параметрах срабатывания ДО, она оказывается отстроенной от броска тока намагничивания и небаланса, вызванного перевозбуждением, поэтому с целью предотвращения замедления действия ДО для нее блокировка по второй и пятой гармонике не вводится.

7.4. Коэффициент чувствительности дифференциальной отсечки $K_{ч\ отс}$ определяется при минимальных значениях вторичных токов, на которые реагирует устройство в разных режимах питания I_2 к min

$$K_{ч\ отс} = I_2\ к\ min / I_{д\ отс} , \quad (26)$$

Следует отметить, что в отличие от распространенной точки зрения, что дифференциальная отсечка должна использоваться при коэффициенте чувствительности больше 2 (л.2), отсечку устройства РС830-ДТЗ целесообразно вводить в действие даже при

коэффициенте чувствительности меньше единицы. Это объясняется тем, что в таком случае отсечка обеспечит охват более эффективной быстродействующей защитой хотя бы часть трансформатора, а затрат на ее применение никаких не нужно, поскольку она выполнена комплексно в составе другой защиты.

8. Время срабатывания ступеней дифференциальной защиты

Время срабатывания ступеней $T_{до}$ (уставка – диапазон от 0 до 1сек с шагом 0,01сек) и $T_{дт}$ (уставка – диапазон от 0 до 1сек с шагом 0,01сек) дифференциальной защиты в случае использования РС830-ДТЗ как основной защиты трансформатора рекомендуется ставить $T=0с$. Для других особых случаев использования терминала РС830-ДТЗ (например, согласно п. 7.2) можно вводить задержку по времени срабатывания.

9. Дифференциальная защита от небаланса

9.1. Ток срабатывания ступени дифференциальной защиты от небаланса выбирается по условию отстройки от небаланса, вызванного максимальным током нагрузки

$$I_{д нб} = \frac{K_n K_{сх о}^{(3)} K_{вр о} I_{нб} (I_{н мах})}{n_{тт о}} \quad (28)$$

где:

- K_n – коэффициент надежности, $K_n=1,2$;

- $I_{нб}(I_{н мах})$ – ток небаланса, вызванный током нагрузки на максимально нагруженной стороне (основной стороне);

- $K_{сх о}^{(3)}$, $K_{вр о}$, $n_{тт о}$ – параметры для основной стороны.

Ток небаланса $I_{нб}(I_{н мах})$ определяется в соответствии с выражениями 14-17, но в зависимости не от максимального сквозного тока КЗ, а от максимального тока нагрузки $I_{н мах}$ на основной стороне.

9.2. Время срабатывания ступени дифференциальной защиты от небаланса выбирается по условию отстройки от времени действия ступеней защит от КЗ, включенных на всех сторонах защищаемого трансформатора:

$$T_{д нб} \geq T_{ср мах} + \Delta T;$$

где:

$T_{ср мах}$ – максимальное из времен срабатывания любой из защит с действием на отключение, включенных на всех сторонах трансформатора;

ΔT – степень селективности, $\Delta T=1с$.

Таблица задания уставок

Для упрощения процесса наладки рекомендуется по окончании расчета все данные внести в таблицу, форма которой приведена ниже. В данной таблице прописаны все уставки и параметры, которые относятся к дифференциальной защите.

Уставки дифференциальной защиты

Наименование уставки	Диапазон
Разрешение работы дифференциальной отсечки (ДО)	Вкл, Откл
Тестовый (однофазный) режим работы ДО	Откл, Вкл ф.А, Вкл ф.В, Вкл ф.С
Разрешение работы дифференциальной защиты с торможением (ДТ)	Вкл, Откл
Тестовый (однофазный) режим работы ДТ	Откл, Вкл ф.А, Вкл ф.В, Вкл ф.С
Группа соединений защищаемого трансформатора	0/0, 0/11, 11/11
Коэффициент выравнивания стороны ВН	0,25-4, шаг 0,01
Коэффициент выравнивания стороны СН	0,25-4, шаг 0,01
Коэффициент выравнивания стороны НН	0,25-4, шаг 0,01
Ток срабатывания дифотсечки $I_{д\ отс}$, А	5-60, шаг 0,1
Начальный ток срабатывания дифференциальной защиты с торможением $I_{д0}$, А	0,5-5, шаг 0,01
Начальный ток торможения $I_{т0}$, А	1,5-4, шаг 0,01
Коэффициент торможения k_t , о.е.	0-0,9, шаг 0,01
Коэффициент участия тока стороны ВН в токе торможения $K_{вн}$, о.е.	0-1, шаг 0,01
Коэффициент участия тока стороны СН в токе торможения $K_{сн}$, о.е.	0-1, шаг 0,01
Коэффициент участия тока стороны НН в токе торможения $K_{нн}$, о.е.	0-1, шаг 0,01
Ток ограничения торможения $I_{т\ огр}$, А	10-80, шаг 1
Уставка по времени ДО, с	0-1, шаг 0,01
Уставка по времени ДТ, с	0-1, шаг 0,01
Блокировка и ДО по второй гармонике от броска тока намагничивания	Вкл, Откл
Ток блокировки ДО по второй гармонике дифференциального тока I_2 бл до, % от максимального значения первой гармоники токов трех фаз.	5-50, шаг 1
Время ввода блокировки по 2 гармонике диф тока	100-2000, шаг 10 мс
Блокировка ДО по пятой гармонике от перевозбуждения	Вкл, Откл
Ток блокировки ДО по пятой гармонике дифференциального тока I_5 бл до, % от максимального значения первой гармоники токов трех фаз.	5-20, шаг 1
Блокировка ДТ по второй гармонике от броска тока намагничивания	Вкл, Откл
Ток блокировки ДТ по второй гармонике дифференциального тока I_2 бл дт, % от максимального значения первой гармоники токов трех фаз.	5-50, шаг 1
Время ввода блокировки по 2 гармонике диф тока	100-2000, шаг 10 мс

Блокировка ДТ по пятой гармонике от перевозбуждения	Вкл, Откл
Ток блокировки ДТ по пятой гармонике дифференциального тока I5 бл дт, % от максимального значения первой гармоники токов трех фаз.	5-20, шаг 1
Время ввода блокировки по 5 гармонике диф тока	100-2000, шаг 10 мс
Разрешение работы дифзащиты от небаланса (ДН)	Вкл, Откл
Ток срабатывания дифзащиты от небаланса I _{дн} , А	0,05-20, шаг 0,01
Уставка по времени срабатывания дифзащиты от небаланса T _{дн} , с	0-20, шаг 0,01

Примеры выбора уставок

Пример 1

Выбрать уставки дифзащиты трансформатора ТДТН25000/110 в соответствии со схемой рис.П1.

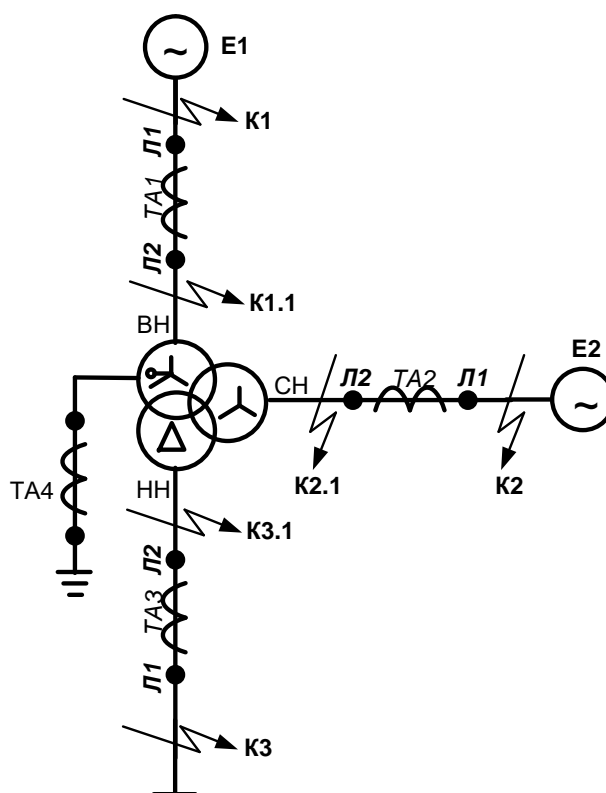


Рис.П1

Параметры трансформатора:

Номинальные напряжения обмоток 115/38,5/11кВ

Соединение обмоток Y_o/Y/Д -0/11

РПН на стороне ВН $\pm 9 \times 1,78\% = \pm 16\%$

ПБВ на стороне СН $\pm 2 \times 2,5\%$, установлено в положение +2,5%. Тогда напряжение стороны СН по виткам = $38,5 \times 1,025 = 39,5$ кВ.

Напряжение короткого замыкания U_{к вс}=10,5%, U_{к вн}=17,5%, U_{к сн}=6,5%

Трансформаторы тока:

ТА1 (сторона ВН) – 600/5; ТА2 (сторона СН) – 600/5; ТА3 (сторона НН) – 2000/5.

На всех сторонах трансформаторы тока соединены в звезду

Максимальный ток нагрузки имеет место по стороне ВН при питании только со стороны ВН и составляет 95А

Максимальные токи КЗ на сторонах трансформатора при КЗ в точках, в соответствии с рис. П1

Точка КЗ	Максимальные сквозные токи (первичные) при КЗ в точках К1, К2, К3 и минимальные токи при КЗ в зоне срабатывания (в точках К1.1, К2.1, К3.1), которыми обтекаются трансформаторы тока ТА1, ТА2, ТА3, А		
	ТА1 (115кВ)	ТА2 (38,5кВ)	ТА3 (11кВ)
Питание со стороны ВН			
К1	-	-	-
К1.1	5300	-	-
К2	1150	3430	-
К2.1	1000	-	-
К3	710	-	7420
К3.1	610	-	-
Питание со стороны СН			
К1	490	1450	-
К1.1	425	1250	-
К2	-	-	-
К2.1	-	2130	-
К3	-	1680	5900
К3.1	-	1460	-
Питание со стороны ВН и стороны СН			
К1	490	1450	-
К1.1	5300	1250	-
К2	1150	3430	-
К2.1	1000	2130	-
К3	710	1680	13300
К3.1	710	1460	-

П1. Расчет уставок

П1.1. Уставку по группе соединений защищаемого трансформатора примем 0/11. Это определяется заданным соединением трансформаторов тока в звезду на всех сторонах трансформатора. Как следствие, необходима компенсация поворотов фаз токов на сторонах трансформатора внутренним алгоритмом устройства РС830-ДТЗ. Эта компенсация включается при задании указанной группы соединений. Коэффициенты схемы соединения трансформаторов тока и реле при этом $K_{сх\ ВН}^{(3)} = K_{сх\ СН}^{(3)} = K_{сх\ НН}^{(3)} = 1$.

П1.2. За основную сторону примем сторону НН. С целью уменьшения отличия от 1 коэффициентов выравнивания других сторон коэффициент выравнивания для основной стороны занижим по сравнению с 1 и примем $K_{ВР\ О} = K_{ВР\ НН} = 0,7$.

Коэффициенты выравнивания для сторон ВН и СН определим в соответствии с выражением (3):

$$K_{вр} = K_{вр о} \frac{K_{сх о}^{(3)} n_{тт} U_{ср}}{K_{сх}^{(3)} n_{тт о} U_{ср о}}$$

$K_{вр ВН} = 0,7 \times 120 \times 115 / 400 \times 11 = 2,195$. Примем $K_{вр ВН} = 2,2$.

$K_{вр СН} = 0,7 \times 120 \times 39,5 / 400 \times 11 = 0,754$. Примем $K_{вр СН} = 0,75$.

Погрешность установки коэффициентов выравнивания по сравнению с расчетными значениями, вызывающая небаланс, в соответствии с выражением (4)

$$\delta I_d = \frac{K_{вр у} - K_{вр}}{K_{вр у}}$$

Для $K_{вр ВН}$ $\delta I_d = (2,2 - 2,195) / 2,2 = 0,0023$;

Для $K_{вр СН}$ $\delta I_d = (0,75 - 0,754) / 0,75 = -0,005$.

Полученные значения погрешностей меньше 0,01, поэтому в соответствии с рекомендациями ими можно пренебречь.

П1.3. Блокировку от броска тока намагничивания по 2 гармонике дифференциального тока для ступени ДТ вводят, а для ступени ДО выводят.

Уставку по 2 гармонике дифференциального тока принимаем 12%

Время ввода блокировки по 2 гармонике принимаем 2с.

Блокировку от перевозбуждения по 5 гармонике дифференциального тока для ступени ДТ вводят, а для ступени ДО выводят.

Уставку по 5 гармонике дифференциального тока принимаем 10%

Время ввода блокировки по 5 гармонике принимаем 2с.

П1.4. Начальный ток срабатывания дифзащиты с торможением $I_{до}$ выбираем в соответствии с выражением (5) в зависимости от номинального тока стороны НН, принятой за основную, $I_{но}$:

$$I_{но} = 25000 / \sqrt{3} \times 11 = 1312 \text{ А};$$

$$I_{до} = 0,3 K_{вр о} K_{сх о}^{(3)} \frac{I_{но}}{n_{тт о}} = 0,3 \times 0,7 \times 1 \times 1312 / 400 = 0,69 \text{ А}.$$

П1.5. Выбор параметров торможения

П1.5.1. Вторичные токи $I_{2 к}$, на которые реагирует устройство, при сквозных токах КЗ I_k (первичное значение) в соответствии с выражениями (6)

$$\begin{cases} I_{2 к ВН} = (I_k K_{сх}^{(3)} K_{вр} / n_{тт}) ВН; \\ I_{2 к СН} = (I_k K_{сх}^{(3)} K_{вр} / n_{тт}) СН; \\ I_{2 к НН} = (I_k K_{сх}^{(3)} K_{вр} / n_{тт}) НН. \end{cases}$$

Определим их значения в разных режимах питания (со стороны ВН, стороны СН, стороны ВН и стороны СН одновременно).

Питание со стороны ВН и СН:

$$I_{2 к ВН} = 490 \times 2,2 / 120 = 9 \text{ А};$$

$$I_{2 к СН} = 3430 \times 0,75 / 120 = 21,4 \text{ А};$$

$$I_{2\text{ к нн}}=13300 \times 0,7/400=23,3\text{А (точка КЗ)}.$$

Питание со стороны ВН:

$$I_{2\text{ к вн}}=0;$$

$$I_{2\text{ к сн}}=3430 \times 0,75/120=21,4\text{А (точка К2)};$$

$$I_{2\text{ к нн}}=7420 \times 0,7/400=13\text{А}.$$

Питание со стороны СН:

$$I_{2\text{ к вн}}=490 \times 2,2/120=9\text{А};$$

$$I_{2\text{ к сн}}=0;$$

$$I_{2\text{ к нн}}=5900 \times 0,7/400=10,3\text{А (точка КЗ)}.$$

Максимальным режимом является режим питания со стороны ВН и стороны СН.

Максимальный сквозной ток, на который реагирует устройство, $I_{2\text{к нн}}=23,3\text{А}$ имеет место на стороне НН в режиме питания со сторон ВН и СН, поэтому сторону НН принимаем за базисную.

П1.5.2. Коэффициенты участия токов сторон в токе торможения выбираем в соответствии с выражениями (8)

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{\text{вн}}=0,33; \\ K_{\text{сн}}=0,33; \\ K_{\text{нн}}=0,33. \end{array} \right.$$

П1.5.3. Ток ограничения торможения выбираем как ток торможения в максимальном режиме при сквозном КЗ на базисной стороне (стороне с максимальным вторичным током КЗ)

$$I_{\text{т огр}} = I_{\text{к б вн}} K_{\text{вн}} (K_{\text{сх}}^{(3)} K_{\text{вр}} / n_{\text{тт}})_{\text{вн}} +$$

$$I_{\text{к б сн}} K_{\text{сн}} (K_{\text{сх}}^{(3)} K_{\text{вр}} / n_{\text{тт}})_{\text{сн}} + I_{\text{к б нн}} K_{\text{нн}} (K_{\text{сх}}^{(3)} K_{\text{вр}} / n_{\text{тт}})_{\text{нн}}.$$

$$I_{\text{т огр}} = 710 \times 0,33 \times 2,2/120 + 1680 \times 0,33 \times 0,75/120 + 13300 \times 0,33 \times 0,7/400 = 15,4\text{А}.$$

П1.5.4. Определим максимальные токи небаланса для каждого из возможных режимов питания по вторичным токам, определенным в пункте П1.5.1, токи срабатывания, по условиям отстройки от этих небалансов, ток торможения и коэффициент торможения для каждого из режимов

$$I_{\text{нб}} = I_{\text{нб}}' + I_{\text{нб}}'' + I_{\text{нб}}''';$$

$$I_{\text{нб}}' = K_{\text{ап}} K_{\text{одн}} \varepsilon I_{2\text{ к б мах}};$$

$$I_{\text{нб}}'' = \Delta U_{\text{рпн}} I_{2\text{ к б мах}};$$

$$I_{\text{нб}}''' = \delta I_{\text{д}} I_{2\text{ к б мах}};$$

$$I_{\text{ср}} = K_{\text{н}} I_{\text{нб}};$$

$$I_{\text{т}} = I_{\text{к вн}} K_{\text{вн}} (K_{\text{сх}}^{(3)} K_{\text{вр}} / n_{\text{тт}})_{\text{вн}} + I_{\text{к сн}} K_{\text{сн}} (K_{\text{сх}}^{(3)} K_{\text{вр}} / n_{\text{тт}})_{\text{сн}} + I_{\text{к нн}} K_{\text{нн}} (K_{\text{сх}}^{(3)} K_{\text{вр}} / n_{\text{тт}})_{\text{нн}};$$

$$K_{\text{т}} = I_{\text{ср}} / I_{\text{т}}$$

Питание со стороны ВН и СН (точка КЗ):

$$I_{\text{нб}}' = 1 \times 1 \times 0,1 \times 23,3 = 2,3\text{А};$$

$$I_{\text{нб}}'' = 0,16 \times 23,3 = 3,73\text{А};$$

Значением $I_{\text{нб}}'''$ пренебрегаем;

$$I_{нб} = 2,3 + 3,73 = 6,03 \text{ А};$$

$$I_{ср} = 1,2 \times 6,03 = 7,24 \text{ А};$$

$$I_T = 710 \times 0,33 \times 2,2 / 120 + 1680 \times 0,33 \times 0,75 / 120 + 13300 \times 0,33 \times 0,7 / 400 = 15,4 \text{ А};$$

$$K_T = 7,24 / 15,4 = 0,47.$$

Питание со стороны ВН (точка К2):

$$I_{нб}' = 1 \times 1 \times 0,1 \times 21,4 = 2,14 \text{ А};$$

$$I_{нб}'' = 0,16 \times 21,4 = 3,42 \text{ А};$$

Значением $I_{нб}'''$ пренебрегаем;

$$I_{нб} = 2,14 + 3,42 = 5,56 \text{ А};$$

$$I_{ср} = 1,2 \times 5,56 = 6,67 \text{ А};$$

$$I_T = 1150 \times 0,33 \times 2,2 / 120 + 3430 \times 0,33 \times 0,75 / 120 = 14,02 \text{ А};$$

$$K_T = 6,67 / 14,02 = 0,47.$$

Питание со стороны СН (точка К3):

$$I_{нб}' = 1 \times 1 \times 0,1 \times 10,3 = 1,03 \text{ А};$$

$$I_{нб}'' = 0,16 \times 10,3 = 1,65 \text{ А};$$

Значением $I_{нб}'''$ пренебрегаем;

$$I_{нб} = 1,03 + 1,65 = 2,68 \text{ А};$$

$$I_{ср} = 1,2 \times 2,68 = 3,22 \text{ А};$$

$$I_T = 1680 \times 0,33 \times 0,75 / 120 + 5900 \times 0,33 \times 0,7 / 400 = 6,87 \text{ А};$$

$$K_T = 3,22 / 6,87 = 0,47.$$

Для обеспечения отстройки от небаланса во всех режимах следует в общем случае принимать худшее из полученных значений K_T . Полученные одинаковые значения K_T являются частным случаем, который имеет место при принятых рекомендованных одинаковых значениях коэффициентов участия токов сторон в токе торможения.

П1.6. Уставку I_T0 выбираем в соответствии с выражением (19)

$$I_T0 = I_{д0} / K_T = 0,69 / 0,55 = 1,25 \text{ А}.$$

Принимаем ближайшее возможное значение $I_T0 = 1,5 \text{ А}$.

П1.7. С учетом измененного значения I_T0 уточняем значение уставки $I_{д0}$

$$I_{д0} = K_T I_T0 = 0,48 \times 1,5 = 0,72$$

П1.8. Для каждого из режимов питания определим минимальные значения вторичных токов, на которые реагирует устройство $I_{2к\text{min}}$, ток торможения в точке определения чувствительности $I_{тч}$, ток срабатывания ДЗТ в этой же точке $I_{д\text{срч}}$ и коэффициент чувствительности

$$I_{2\text{к min}} = (I_{\text{к}} K_{\text{сх}}^{(3)} K_{\text{вр}} / n_{\text{тт}}) \text{ min}$$

$$I_{\text{т ч}} = K_{\text{вн}} I_{2\text{к вн min}} + K_{\text{сн}} I_{2\text{к сн min}} + K_{\text{нн}} I_{2\text{к нн min}}$$

$$I_{\text{д ср ч}} = I_{\text{д0}} + K_{\text{т}} (I_{\text{т ч}} - I_{\text{т0}}), \text{ если } I_{\text{т ч}} \geq I_{\text{т0}}$$

Питание со стороны ВН и СН (точка К3.1)

ТА1: $I_{2\text{к1}} = 610 \times 2.2 / 120 = 11,2\text{А};$

ТА2: $I_{2\text{к2}} = 1460 \times 0,75 / 120 = 9,1\text{А};$

$$I_{2\text{к}} = 11,2 + 9,1 = 20,3\text{А};$$

$$I_{\text{т ч}} = 610 \times 0,33 \times 2,2 / 120 + 1460 \times 0,33 \times 0,75 / 120 = 6,7\text{А};$$

$$I_{\text{д ср ч}} = 0,72 + 0,47(6,7 - 1,5) = 3,22\text{А};$$

$$K_{\text{ч дзт}} = I_{2\text{к}} / I_{\text{д ср ч}} = 20,3 / 3,22 = 6,3.$$

Питание со стороны ВН (точка К2.1)

$$I_{2\text{к}} = 1000 \times 2.2 / 120 = 18,3\text{А};$$

$$I_{\text{т ч}} = 1000 \times 0,33 \times 2,2 / 120 = 6,05\text{А};$$

$$I_{\text{д ср ч}} = 0,72 + 0,47(6,05 - 1,5) = 2,86\text{А};$$

$$K_{\text{ч дзт}} = I_{2\text{к}} / I_{\text{д ср ч}} = 18,3 / 2,86 = 6,4.$$

Питание со стороны ВН (точка К3.1)

$$I_{2\text{к}} = 610 \times 2.2 / 120 = 11,2\text{А};$$

$$I_{\text{т ч}} = 610 \times 0,33 \times 2,2 / 120 = 3,69\text{А};$$

$$I_{\text{д ср ч}} = 0,72 + 0,47(3,69 - 1,5) = 1,75\text{А};$$

$$K_{\text{ч дзт}} = I_{2\text{к}} / I_{\text{д ср ч}} = 11,2 / 1,75 = 6,4.$$

Питание со стороны СН (точка К3.1)

$$I_{2\text{к}} = 1460 \times 0,75 / 120 = 9,1\text{А};$$

$$I_{\text{т ч}} = 1460 \times 0,33 \times 0,75 / 120 = 3,01\text{А};$$

$$I_{\text{д ср ч}} = 0,72 + 0,47(3,01 - 1,5) = 1,43\text{А};$$

$$K_{\text{ч дзт}} = I_{2\text{к}} / I_{\text{д ср ч}} = 9,1 / 1,43 = 6,4.$$

П1.9. Ток срабатывания дифференциальной отсечки выбираем в соответствии с выражением (25) в зависимости от номинального тока стороны НН, принятой за основную, $I_{\text{НО}}$:

$$I_{\text{НО}} = 25000 / \sqrt{3} \times 11 = 1312\text{А};$$

$$I_{\text{д отс}} = (5-6) K_{\text{вр}} K_{\text{сх}}^{(3)} \frac{I_{\text{НО}}}{n_{\text{тт}}} = 5 \times 0,7 \times 1 \times 1312 / 400 = 11,5\text{А}$$

П1.10. Коэффициент чувствительности дифотсечки в соответствии с выражением (26)

$$K_{\text{ч отс}} = I_{2\text{к min}} / I_{\text{д отс}}$$

Для режима питания со стороны ВН и СН

$$K_{ч\text{ отс}}=20,3/11,5=1,77$$

Для режима питания со стороны ВН

$$K_{ч\text{ отс}}=11,2/11,5=0,97$$

Для режима питания со стороны СН

$$K_{ч\text{ отс}}=9,1/11,5=0,79$$

С целью повышения чувствительности дифференциальной отсечки, согласно рекомендациям пункта 7.2, можно ввести выдержку времени отсечки 0,05с и уменьшить коэффициент отстройки до 3,5. Тогда

$$I_{д\text{ отс}}=3,5 \text{ Квр о } K_{сх\text{ о}}^{(3)} \frac{I_{н\text{ о}}}{n_{т\text{ т о}}} = 3,5 \times 0,7 \times 1 \times 1312 / 400 = 8,0\text{А}$$

Для режима питания со стороны ВН и СН

$$K_{ч\text{ отс}}=20,3/8,0=2,54$$

Для режима питания со стороны ВН

$$K_{ч\text{ отс}}=11,2/8,0=1,4$$

Для режима питания со стороны СН

$$K_{ч\text{ отс}}=9,1/8,0=1,14$$

Из полученных значений коэффициента чувствительности дифференциальной отсечки не следует отсутствие целесообразности ее использования, так как при КЗ не в конце зоны защиты, а в середине обмоток трансформатора отсечка сможет эффективно локализовать повреждение без любых задержек.

П1.11. Ток срабатывания дифференциальной защиты от небаланса определяем по условиям отстройки от небаланса, вызванного током нагрузки 95 А на стороне ВН.

Небалансы, вызванные этим током (первичные значения)

$$I_{нб}'=0,1 \times 95=9,5 \text{ А}$$

$$I_{нб}''=0,16 \times 95=15,2\text{А}$$

$$I_{нб}=9,5+15,2=24,7\text{А}$$

$$I_{д\text{ нб}} = \frac{K_{н} K_{сх}^{(3)} K_{вр} I_{нб} (I_{н\text{ МАХ}})}{n_{т\text{ т}}}$$

$$I_{д\text{ нб}} = 1,2 \times 2,2 \times 24,7 / 120 = 0,54\text{А}$$

П1.12. Время срабатывания ступени дифзащиты от небаланса с учетом отстройки от времен действия любых защит от КЗ в связанных сетях заведомо с запасом примем 6с.

Пример 2

Выбрать уставки дифзащиты трансформатора ТДТН25000/110 из примера 1 при питании только со стороны ВН в соответствии со схемой рис.П2.

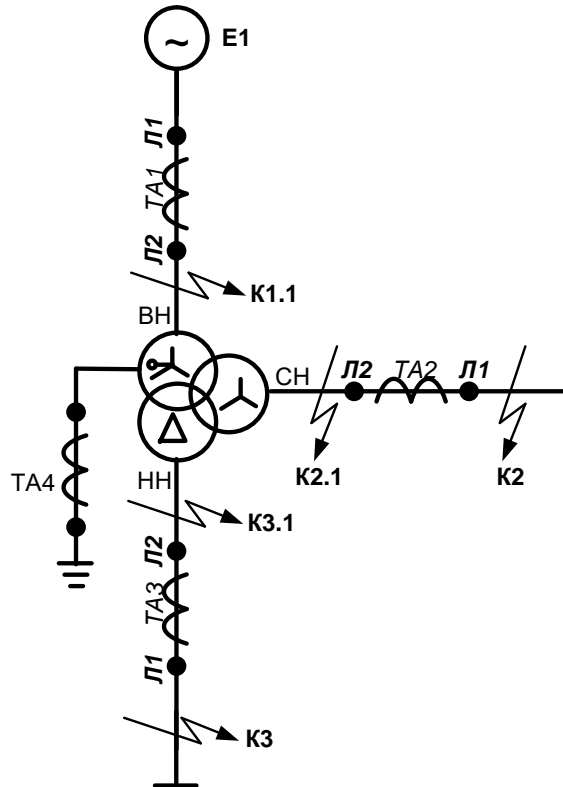


Рис.П2

Параметры трансформатора:

Номинальные напряжения обмоток 115/38,5/11кВ

Соединение обмоток $Y_0/Y/\Delta -0/11$

РПН на стороне ВН $\pm 9 \times 1,78\% = \pm 16\%$

ПБВ на стороне СН $\pm 2 \times 2,5\%$, установлено в положение $+2,5\%$. Тогда напряжение стороны СН по виткам = $38,5 \times 1,025 = 39,5$ кВ.

Напряжение короткого замыкания U_k вс=10,5%, U_k вн=17,5%, U_k сн=6,5%

Трансформаторы тока:

ТА1 (сторона ВН) – 600/5; ТА2 (сторона СН) – 600/5; ТА3 (сторона НН) – 2000/5.

На всех сторонах трансформаторы тока соединены в звезду

Максимальный ток нагрузки по стороне ВН составляет 95А

Максимальные токи КЗ на сторонах трансформатора при КЗ в точках, в соответствии с рис. П2

Точка КЗ	Максимальные сквозные токи (первичные) при КЗ в точках К1, К2, К3 и минимальные токи при КЗ в зоне срабатывания (в точках К1.1, К2.1, К3.1), которыми обтекаются трансформаторы тока ТА1, ТА2, ТА3, А		
	ТА1 (115кВ)	ТА2 (38,5кВ)	ТА3 (11кВ)
Питание со стороны ВН			
К1	-	-	-
К1.1	5300	-	-
К2	1150	3430	-
К2.1	1000	-	-
К3	710	-	7420
К3.1	610	-	-

П2. Расчет уставок

П2.1. Уставку по группе соединений защищаемого трансформатора примем 0/11. Это определяется заданным соединением трансформаторов тока в звезду на всех сторонах трансформатора. Как следствие, необходима компенсация поворотов фаз токов на сторонах трансформатора внутренним алгоритмом устройства РС830-ДТЗ. Эта компенсация включается при задании указанной группы соединений. Коэффициенты схемы соединения трансформаторов тока и реле при этом $K_{сх\text{ВН}}^{(3)} = K_{сх\text{СН}}^{(3)} = K_{сх\text{НН}}^{(3)} = 1$.

П2.2. За основную сторону примем сторону НН. С целью уменьшения отличия от 1 коэффициентов выравнивания других сторон коэффициент выравнивания для основной стороны занижим по сравнению с 1 и примем $K_{вр\text{о}} = K_{вр\text{НН}} = 0,7$.

Коэффициенты выравнивания для сторон ВН и СН определим в соответствии с выражением (3):

$$K_{вр} = K_{вр\text{о}} \frac{K_{сх\text{о}}^{(3)} n_{тт\text{о}} U_{ср\text{о}}}{K_{сх}^{(3)} n_{тт\text{о}} U_{ср\text{о}}}$$

$K_{вр\text{ВН}} = 0,7 \times 120 \times 115 / 400 \times 11 = 2,195$. Примем $K_{вр\text{ВН}} = 2,2$.

$K_{вр\text{СН}} = 0,7 \times 120 \times 39,5 / 400 \times 11 = 0,754$. Примем $K_{вр\text{СН}} = 0,75$.

Погрешность установки коэффициентов выравнивания по сравнению с расчетными значениями, вызывающая небаланс, в соответствии с выражением (4)

$$\delta I_d = \frac{K_{вр\text{у}} - K_{вр}}{K_{вр\text{у}}}$$

Для $K_{вр\text{ВН}}$ $\delta I_d = (2,2 - 2,195) / 2,2 = 0,0023$;

Для $K_{вр\text{СН}}$ $\delta I_d = (0,75 - 0,754) / 0,75 = -0,005$.

Полученные значения погрешностей меньше 0,01, поэтому в соответствии с рекомендациями ими можно пренебречь.

П2.3. Блокировку от броска тока намагничивания по 2 гармонике дифференциального тока для ступени ДТ вводят, а для ступени ДО выводят.

Уставку по 2 гармонике дифференциального тока принимаем 12%

Время ввода блокировки по 2 гармонике принимаем 2с.

Блокировку от перевозбуждения по 5 гармонике дифференциального тока для ступени ДТ вводят, а для ступени ДО выводят.

Уставку по 5 гармонике дифференциального тока принимаем 10%

Время ввода блокировки по 5 гармонике принимаем 2с.

П2.4. Начальный ток срабатывания дифзащиты с торможением $I_{до}$ выбираем в соответствии с выражением (5) в зависимости от номинального тока стороны НН, принятой за основную, $I_{но}$:

$$I_{но} = 25000 / \sqrt{3} \times 11 = 1312 \text{ А};$$

$$I_{до} = 0,3 \text{ Квр} \cdot K_{сх}^{(3)} \frac{I_{но}}{n_{тто}} = 0,3 \times 0,7 \times 1 \times 1312 / 400 = 0,69 \text{ А}.$$

П2.5. Выбор параметров торможения

П2.5.1. Вторичные токи $I_{2к}$, на которые реагирует устройство, при сквозных токах КЗ I_k (первичное значение) в соответствии с выражениями (6)

$$\begin{cases} I_{2к СН} = (I_k K_{сх}^{(3)} \text{Квр} / n_{тт}) СН; \\ I_{2к НН} = (I_k K_{сх}^{(3)} \text{Квр} / n_{тт}) НН. \end{cases}$$

$$I_{2к СН} = 3430 \times 0,75 / 120 = 21,4 \text{ А (точка К2)};$$

$$I_{2к НН} = 7420 \times 0,7 / 400 = 13 \text{ А (точка К3)}.$$

Максимальный сквозной ток, на который реагирует устройство, $I_{2к СН} = 21,4 \text{ А}$ имеет место на стороне СН, поэтому сторону СН принимаем за базисную.

П2.5.2. Коэффициенты участия токов сторон в токе торможения выбираем в соответствии с выражениями (7)

$$\begin{cases} K_{вн} = 0; \\ K_{сн} = 0,5; \\ K_{нн} = 0,5. \end{cases}$$

П2.5.3. Ток ограничения торможения выбираем как ток торможения при сквозном КЗ на базисной стороне (стороне с максимальным вторичным током КЗ)

$$I_{т\text{огр}} = I_k \cdot b_{вн} K_{вн} (K_{сх}^{(3)} \text{Квр} / n_{тт})_{вн} +$$

$$I_k \cdot b_{сн} K_{сн} (K_{сх}^{(3)} \text{Квр} / n_{тт})_{сн} + I_k \cdot b_{нн} K_{нн} (K_{сх}^{(3)} \text{Квр} / n_{тт})_{нн}.$$

$$I_{т\text{огр}} = 0 + 3430 \times 0,5 \times 0,75 / 120 + 0 = 10,7 \text{ А}.$$

П2.5.4. Определим максимальный ток небаланса по вторичным токам, определенным в пункте П2.5.1 (точки К2 и К3), ток срабатывания, по условиям отстройки от этого небаланса, ток торможения и коэффициент торможения

$$I_{нб} = I_{нб}' + I_{нб}'' + I_{нб}''';$$

$$I_{нб}' = K_{ап} K_{одн} \varepsilon I_{2к\text{б}\text{мах}};$$

$$I_{нб}'' = \Delta U_{рпн} I_{2к\text{б}\text{мах}};$$

$$I_{нб}''' = \delta I_d I_{2к\text{б}\text{мах}};$$

$$I_{сп} = K_n I_{нб};$$

$$I_T = I_k \text{ВНКВН} (K_{\text{СХ}}^{(3)} K_{\text{Вр}} / n_{\text{ТТ}}) \text{ВН} + I_k \text{СНКСН} (K_{\text{СХ}}^{(3)} K_{\text{Вр}} / n_{\text{ТТ}}) \text{СН} + I_k \text{ННКНН} (K_{\text{СХ}}^{(3)} K_{\text{Вр}} / n_{\text{ТТ}}) \text{НН};$$

$$K_T = I_{\text{СР}} / I_T$$

Точка К2

$$I_{\text{НБ}}' = 1 \times 1 \times 0,1 \times 21,4 = 2,14 \text{А};$$

$$I_{\text{НБ}}'' = 0,16 \times 21,4 = 3,42 \text{А};$$

Значением $I_{\text{НБ}}'''$ пренебрегаем;

$$I_{\text{НБ}} = 2,14 + 3,42 = 5,56 \text{А};$$

$$I_{\text{СР}} = 1,2 \times 5,56 = 6,67 \text{А};$$

$$I_T = 3430 \times 0,5 \times 0,75 / 120 = 10,7 \text{А};$$

$$K_T = 6,67 / 10,7 = 0,62.$$

Точка К3

$$I_{\text{НБ}}' = 1 \times 1 \times 0,1 \times 13 = 1,3 \text{А};$$

$$I_{\text{НБ}}'' = 0,16 \times 13 = 2,08 \text{А};$$

Значением $I_{\text{НБ}}'''$ пренебрегаем;

$$I_{\text{НБ}} = 1,3 + 2,08 = 3,38 \text{А};$$

$$I_{\text{СР}} = 1,2 \times 3,38 = 4,06 \text{А};$$

$$I_T = 7420 \times 0,5 \times 0,7 / 400 = 6,49 \text{А};$$

$$K_T = 4,06 / 6,49 = 0,62.$$

Для обеспечения отстройки от небаланса во всех режимах следует в общем случае принимать худшее из полученных значений K_T . Полученные одинаковые значения K_T являются частным случаем, который имеет место при принятых рекомендованных одинаковых значениях коэффициентов участия токов сторон СН и НН в токе торможения.

П2.6. Уставку I_{T0} выбираем в соответствии с выражением (19)

$$I_{T0} = I_{\text{Д0}} / K_T = 0,69 / 0,62 = 1,11 \text{А}.$$

Принимаем ближайшее возможное значение $I_{T0} = 1,5 \text{А}$.

П1.7. С учетом измененного значения I_{T0} уточняем значение уставки $I_{\text{Д0}}$

$$I_{\text{Д0}} = K_T I_{T0} = 0,62 \times 1,5 = 0,93$$

П2.8. Определим минимальное значение вторичного тока, на который реагирует устройство $I_{2\text{к min}}$ при КЗ в точках К2.1 и К3.1

$$I_{2\text{к min}} = (I_k K_{\text{СХ}}^{(3)} K_{\text{Вр}} / n_{\text{ТТ}}) \text{min}$$

Точка К2.1

$$I_{2\text{к}} = 1000 \times 2,2 / 120 = 18,3 \text{А};$$

Точка К3.1

$$I_{2\text{к}} = 610 \times 2,2 / 120 = 11,2 \text{А}.$$

$$I_2 \text{ к min} = 11,2 \text{ А}$$

П2.9. С учетом принятого значения коэффициента участия тока стороны ВН в токе торможения $K_{ВН}=0$ и отсутствия обтекания током КЗ трансформаторов тока других сторон, торможение отсутствует и ток срабатывания дифзащиты в точке определения чувствительности

$$I_{д ср ч} = I_{до} = 0,93 \text{ А.}$$

Тогда значение коэффициента чувствительности

$$K_{ч дэт} = I_2 \text{ к} / I_{д ср ч} = 11,2 / 0,93 = 12.$$

П2.10. Ток срабатывания дифференциальной отсечки выбираем в соответствии с выражением (25) в зависимости от номинального тока стороны НН, принятой за основную, $I_{НО}$:

$$I_{НО} = 25000 / \sqrt{3} \times 11 = 1312 \text{ А;}$$

$$I_{д отс} = (5-6) \text{ Квр о} K_{сх о}^{(3)} \frac{I_{НО}}{n_{тто}} = 5 \times 0,7 \times 1 \times 1312 / 400 = 11,5 \text{ А}$$

П2.11. Коэффициент чувствительности дифотсечки в соответствии с выражением (26)

$$K_{ч отс} = I_2 \text{ к min} / I_{д отс}$$

$$K_{ч отс} = 11,2 / 11,5 = 0,97$$

С целью повышения чувствительности дифференциальной отсечки, согласно рекомендациям пункта 7.2, можно ввести выдержку времени отсечки 0,05с и уменьшить коэффициент отстройки до 3,5. Тогда

$$I_{д отс} = 3,5 \text{ Квр о} K_{сх о}^{(3)} \frac{I_{НО}}{n_{тто}} = 3,5 \times 0,7 \times 1 \times 1312 / 400 = 8,0 \text{ А}$$

$$K_{ч отс} = 11,2 / 8,0 = 1,4$$

Из полученных значений коэффициента чувствительности дифференциальной отсечки не следует отсутствие целесообразности ее использования, так как при КЗ не в конце зоны защиты, а в середине обмоток трансформатора отсечка сможет эффективно локализовать повреждение без любых задержек.

П2.12. Ток срабатывания дифференциальной защиты от небаланса определяем по условиям отстройки от небаланса, вызванного током нагрузки 95 А на стороне ВН.

Небалансы, вызванные этим током (первичные значения)

$$I_{нб}' = 0,1 \times 95 = 9,5 \text{ А}$$

$$I_{нб}'' = 0,16 \times 95 = 15,2 \text{ А}$$

$$I_{нб} = 9,5 + 15,2 = 24,7 \text{ А}$$

$$I_{д нб} = \frac{K_H K_{сх}^{(3)} K_{вр} I_{нб} (I_H MAX)}{П_{тт}}$$

$$I_{д нб} = 1,2 \times 2,2 \times 24,7 / 120 = 0,54 A$$

Время срабатывания ступени дифзащиты от небаланса с учетом отстройки от времен действия любых защит от КЗ в связанных сетях заведомо с запасом примем 6с.

Литература

1. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. Ленинград, «Энергоатомиздат», 1985.
2. Беркович М.А. и др. Основы техники релейной защиты. М. Энергоатомиздат, 1984.
3. Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем. Учебник для вузов. М. «Энергия», 1976.
4. Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства. М. ВГПИ и НИИ «Сельэнергопроект», 1978, декабрь.
5. Руководящие указания по релейной защите, выпуск 13Б. Релейная защита понижающих трансформаторов 110-500 кВ. Расчеты. М. «Энергоатомиздат», 1985.
6. Рекомендации по выбору уставок защит электротехнического оборудования с использованием микропроцессорных устройств концерна ALSTOM, 2000.

**Методические указания по выбору уставок
дифференциальной защиты трансформаторов,
реализуемой при помощи устройств РС 830-ДТ2**

Условные обозначения

$n_{тт}$ – коэффициент трансформации трансформаторов тока рассматриваемой стороны силового трансформатора

$I_{мах}$ – максимальный рабочий ток рассматриваемой стороны трансформатора

$U_{ср}$ – номинальное напряжение в среднем положении РПН рассматриваемой стороны трансформатора

$K_{вр\ вн}$ – коэффициент выравнивания стороны высшего напряжения

$K_{вр\ нн}$ – коэффициент выравнивания стороны низшего напряжения

$K_{сх}^{(3)}$ – коэффициент схемы соединения трансформаторов тока и реле

$I_{т0}$ – начальный ток торможения 2ст защиты

$K_{вн} (нн)$ – коэффициент участия тока стороны ВН (НН) в токе торможения

$I_{т\ огр}$ – уставка ограничения тока торможения 2ст защиты

$I_{2\ к\ мах}$ – максимальный из вторичных сквозных токов КЗ сторон ВН, НН на который реагирует устройство

$I_{2\ к\ мин}$ – минимальный из вторичных токов КЗ сторон ВН, НН в конце зоны защиты на который реагирует устройство

$I_{огр}$ – ток срабатывания 2ст защиты в точке ограничения торможения

$I_{нб}$ – ток небаланса

$I_{нб}'$ – составляющая небаланса, вызванная погрешностями трансформаторов тока

$I_{нб}''$ – составляющая небаланса, вызванная изменениями коэффициента трансформации трансформатора при работе РПН

$I_{нб}'''$ – составляющая баланса, вызванная неточностью выравнивания выбранных коэффициентов трансформации трансформаторов тока

ε – относительная погрешность трансформаторов тока

$\Delta U_{рпн}$ – половина диапазона регулирования РПН в относительных единицах

$K_{ч\ дэт}$ – коэффициент чувствительности 2 ст. дифференциальной защиты

$I_{т\ ч}$ – ток торможения, при котором определяется коэффициент чувствительности, при повреждении в зоне защиты

$I_{д\ ср\ ч}$ – ток срабатывания защиты в точке характеристики, в которой определяется коэффициент чувствительности

k_t – уставка коэффициента торможения в относительных единицах

$I_{д\ отс}$ – уставка тока срабатывания дифференциальной отсечки (1ст)

$I_{д\ ср\ ч\ отс}$ – ток срабатывания дифференциальной отсечки в точке определения ее коэффициента чувствительности.

$K_{ч\ отс}$ – коэффициент чувствительности отсечки.

Порядок определения уставок

Перед определением уставок необходимо выбрать коэффициенты трансформации трансформаторов тока (если они еще не выбраны). Коэффициенты трансформации трансформаторов тока и коэффициенты выравнивания плеч защиты начинают выбирать с максимально загруженной (100%) стороны защищаемого трансформатора, принимаемой за основную.

1. Коэффициенты трансформации трансформаторов тока

1.1. Коэффициенты трансформации трансформаторов тока для основной стороны силового трансформатора $n_{\text{ТТ } o}$, если они еще не выбраны и отсутствуют другие соображения (например, ограничения относительно допустимого значения вторичного тока), принимаются минимально возможными в соответствии с выражением:

$$n_{\text{ТТ } o} \geq \frac{K_{\text{сх } o}^{(3)} I_{\text{мах } o}}{I_{\text{ном } o}} \quad (1)$$

где:

- $K_{\text{сх } o}^{(3)}$ – коэффициент схемы соединения трансформаторов тока и реле (токовых входов устройства) в трехфазном режиме на основной стороне;

- $I_{\text{мах } o}$ – максимально рабочий ток (первичное значение) основной стороны, А;

- $I_{\text{ном } o}$ – номинальный вторичный ток трансформаторов тока основной стороны (обычно 5 А).

При соединении ТТ и токовых входов в звезду $K_{\text{сх}}^{(3)} = 1$. При соединении ТТ в треугольник, а токовых входов в звезду $K_{\text{сх}}^{(3)} = \sqrt{3}$.

1.2. Коэффициенты трансформации трансформаторов тока для другой (не основной) стороны защищаемого трансформатора $n_{\text{ТТ}}$ определяются по условию максимального приближения вторичного тока указанной стороны к току основной стороны при сквозных токах через защищаемый трансформатор в соответствие с выражением:

$$n_{\text{ТТ}} \approx n_{\text{ТТ } o} \frac{U_{\text{ср } o} K_{\text{сх}}^{(3)}}{U_{\text{ср}} K_{\text{сх } o}^{(3)}} \quad (2)$$

где:

- $K_{\text{сх}}^{(3)}$ - коэффициент схемы соединения трансформаторов тока и реле (токовых входов устройства) на рассматриваемой стороне защищаемого трансформатора в трехфазном режиме;

- $K_{\text{сх } o}^{(3)}$ - коэффициент схемы соединения трансформаторов тока и реле (токовых входов устройства) на основной стороне защищаемого трансформатора в трехфазном режиме;

- $U_{\text{ср } o}$ – номинальное напряжение (в среднем положении РПН) основной стороны защищаемого трансформатора;

- $U_{\text{ср}}$ – номинальное напряжение (в среднем положении РПН) рассматриваемой стороны защищаемого трансформатора;

$n_{\text{т}}$ для рассматриваемой стороны защищаемого трансформатора принимается ближайшим к расчетному по выражению 2 и проверяются на отсутствие перегрузки входов терминала РЗА максимальным рабочим током этой стороны в соответствии с выражением

$$n_{\text{т}} \geq \frac{K_{\text{сх}}^{(3)} I_{\text{макс}}}{I_{\text{ном}}}$$

где:

- $I_{\text{макс}}$ – максимальный первичный ток трансформаторов тока на рассматриваемой стороне защищаемого трансформатора;
- $I_{\text{ном}}$ – номинальный вторичный ток трансформаторов тока.

2. Коэффициенты выравнивания

2.1. Коэффициент выравнивания основной стороны $K_{\text{вр о}}$ (уставка – диапазон от 0,25 до 4 с шагом 0,01), если отсутствуют другие соображения, может быть принят равным единице.

2.2. Коэффициент выравнивания другой (не основной) стороны при принятых значениях $K_{\text{вр о}}$, $n_{\text{т о}}$ основной стороны и $n_{\text{т}}$ рассматриваемой стороны определяется в соответствии с выражением:

$$K_{\text{вр}} = K_{\text{вр о}} \frac{K_{\text{сх о}}^{(3)} n_{\text{т}} U_{\text{ср}}}{K_{\text{сх}}^{(3)} n_{\text{т о}} U_{\text{ср о}}} \quad (3)$$

Точный выбор уставки $K_{\text{вр}}$ в соответствии с выражением (3) является обязательным, поэтому в случае невозможности выполнения условий (3), например, за счет выхода рассчитанного значения $K_{\text{вр}}$ за диапазон уставок, принятое значение $K_{\text{вр о}}$ может быть соответственно скорректировано с последующим пересчетом значения $K_{\text{вр}}$ для рассматриваемой стороны.

2.3. Отличие принятой уставки по коэффициенту выравнивания $K_{\text{вр у}}$ по отношению к его расчетному значению $K_{\text{вр}}$ по выражению (3) определяет относительную погрешность вычисления дифференциального тока $\delta I_{\text{д}}$

$$\delta I_{\text{д}} = \frac{K_{\text{вр у}} - K_{\text{вр}}}{K_{\text{вр у}}} \quad (4)$$

При правильном выборе уставки по коэффициенту выравнивания указанная относительная погрешность не должна превышать значение 0,01.

3. Блокировка от бросков тока намагничивания и перевозбуждения ступени дифференциальной защиты с торможением (ДТ)

3.1. Уставку тока второй гармоники (по отношению к первой) для блокировки бросков тока намагничивания при включении ненагруженного трансформатора $I_{2 \text{ бл}}$ (уставка –

диапазон от 5% до 50% с шагом 1%) – рекомендуется принять 12-15%. Типовое значение этой величины в некоторых зарубежных устройствах составляет 12 % (л.6).

3.2. Уставку тока пятой гармоники (по отношению к первой) для предотвращения излишнего срабатывания за счет повышения тока намагничивания силового трансформатора от перевозбуждения (значительно повышенного по сравнению с номинальным первичного напряжения) $I_{5 \text{ бл}}$ (уставка – диапазон от 5% до 20% с шагом 1%) – рекомендуется принять 10%.

4. Начальный ток срабатывания ДТ $I_{д0}$

Уставка начального тока срабатывания $I_{д0}$ (2ст защиты, уставка – диапазон от 0,5А до 5А с шагом 0,01А) выбирается по условию отстройки от броска тока намагничивания. При наличии временно-импульсного принципа отстройки от апериодической составляющей (как в реле ДЗТ-21 или ЯРЭ 2201) или блокировки по второй гармонике как в нашем устройстве, указанную уставку рекомендуется принимать с коэффициентом 0,3 по отношению к номинальному току стороны трансформатора, рассчитанной на его полную нагрузку (100%) – основной стороны трансформатора – $I_{нo}$ (л.2, л.3). При этом учитываются принятые значения коэффициента трансформации трансформаторов тока $n_{тo}$, коэффициента выравнивания $K_{врo}$ и коэффициента схемы $K_{сxo}^{(3)}$ основной стороны. На рис.1. красной утолщенной линией показан участок начального тока срабатывания $I_{д0}$.

$$I_{д0} = 0,3 K_{врo} K_{сxo}^{(3)} \frac{I_{нo}}{n_{тo}},$$

(5)

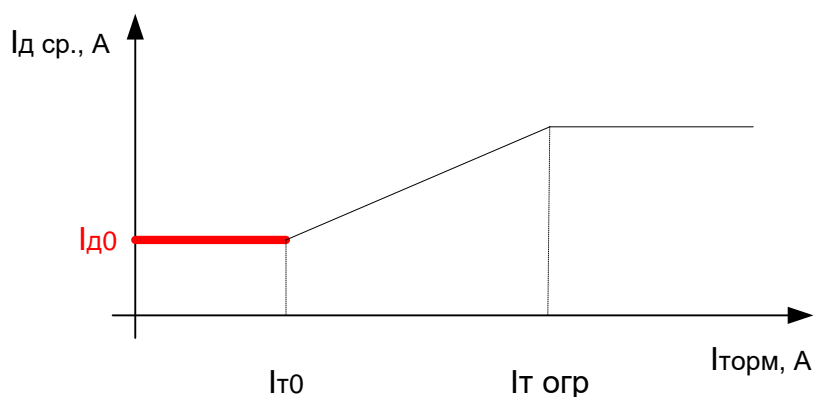


Рис.1.

5. Параметры торможения ДТ

5.1. Вторичные токи I_{2k} , на которые реагирует устройство, при сквозных токах $K3 I_k$ (первичное значение) на шинах стороны трансформатора ВН, или НН (рис. 2),

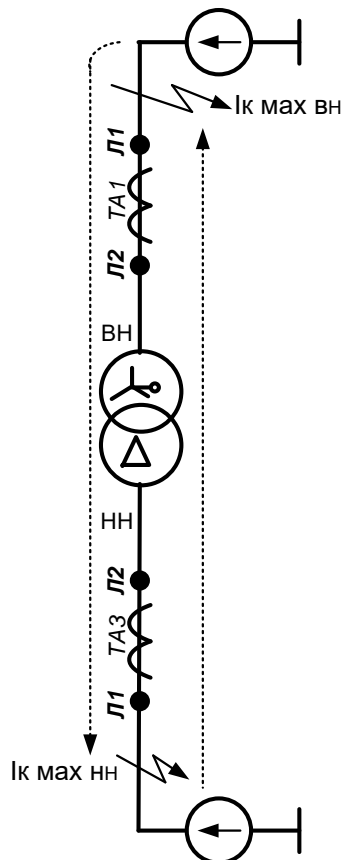


Рис.2

определяются собственно этими токами КЗ, значениями коэффициентов схемы в трехфазном режиме $K_{сх}^{(3)}$, коэффициентов выравнивания $K_{вр}$ и коэффициентов трансформации трансформаторов тока $n_{тт}$ рассматриваемой стороны трансформатора в соответствии с выражениями

$$\begin{cases} I_{2\text{ К ВН}} = (I_{к\text{ Ксх}}^{(3)} K_{вр} / n_{тт})_{ВН}; & (6) \\ I_{2\text{ К НН}} = (I_{к\text{ Ксх}}^{(3)} K_{вр} / n_{тт})_{НН}. \end{cases}$$

5.2. Коэффициенты $K_{вн}$ и $K_{нн}$ участия токов сторон ВН, и НН в токе торможения (**уставки** – диапазон от 0 до 1 с шагом 0,01) рекомендуется принимать следующим образом.

5.2.1. Для трансформаторов с наличием питания только с одной стороны, так чтобы со стороны питания торможение отсутствовало. Так для трансформатора с питанием со стороны ВН:

$$\begin{cases} K_{вн} = 0; \\ K_{нн} = 1. \end{cases} \quad (7)$$

5.2.2. Для трансформаторов с наличием питания с нескольких сторон так, что бы токи торможения от каждой из сторон трансформатора имели одинаковые коэффициенты участия:

$$\begin{cases} K_{ВН}=0,5; \\ K_{НН}=0,5, \end{cases} \quad (8)$$

5.3. Для определения параметров торможения, в общем случае (при питании трансформатора с двух сторон), выбирают режим сквозного КЗ (рис.2) на одной из сторон трансформатора (ВН, или НН) с максимальным из вторичных значений тока, на который реагирует устройство по выражениям (6)

$$I_{2\text{ К МАХ}} = (I_{\text{к}} K_{\text{сх}}^{(3)} K_{\text{вр}} / n_{\text{ТТ}})_{\text{мак}}. \quad (9)$$

Этот режим будем называть максимальным режимом. Токи, на которые реагирует устройство на сторонах ВН, и НН в максимальном режиме обозначим

$$\begin{cases} I_{2\text{ К ВН МАХ}}; \\ I_{2\text{ К НН МАХ}}. \end{cases} \quad (10)$$

Сторону трансформатора (ВН, или НН) с максимальным из вторичных значений сквозных токов КЗ в максимальном режиме согласно выражениям (10) назовем базисной стороной. Для трансформатора с питанием только с одной стороны базисной стороной всегда будет являться сторона, противоположная стороне питания.

Вторичный ток, на который реагирует устройство при КЗ на базисной стороне в максимальном режиме:

$$I_{2\text{ К МАХ б}} = (I_{2\text{ К ВН МАХ}}, I_{2\text{ К НН МАХ}})_{\text{мак}} = I_{\text{к б}} K_{\text{сх б}}^{(3)} K_{\text{вр б}} / n_{\text{ТТ б}}. \quad (11)$$

5.4. Уставка ограничения тока торможения $I_{\text{т огр}}$ (2ст защиты, уставка – диапазон от 10А до 80А с шагом 0,1А) выбирают по параметрам максимального сквозного тока КЗ в конце зоны защиты, на который реагирует устройство, для базисной стороны:

$$I_{\text{т огр}} = I_{2\text{ К МАХ б}} = I_{\text{к б}} K_{\text{сх б}}^{(3)} K_{\text{вр б}} / n_{\text{ТТ б}}. \quad (12)$$

На рис.3. красной утолщенной линией показан участок ограничения тока торможения, начинающийся со значения $I_{\text{т огр}}$.

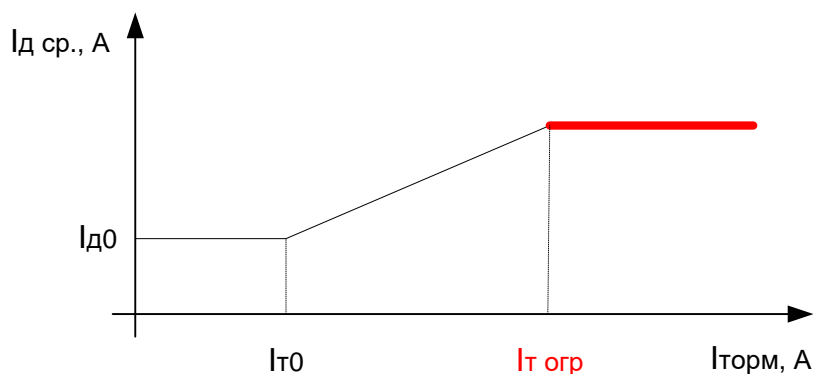


Рис.3.

5.5. Ток срабатывания 2ст защиты в точке ограничения тока торможения $I_{огр}$ (рис.4) определяется с учетом отстройки от тока небаланса $I_{нб б}$ в максимальном режиме на базисной стороне:

$$I_{огр} = \frac{K_H K_{сх б}^{(3)} K_{вр б} I_{нб б}}{П_{тт б}} \quad (13)$$

где k_n – коэффициент надёжности отстройки, который учитывает погрешности защиты и необходимый запас надёжности, $k_n=1,2$.

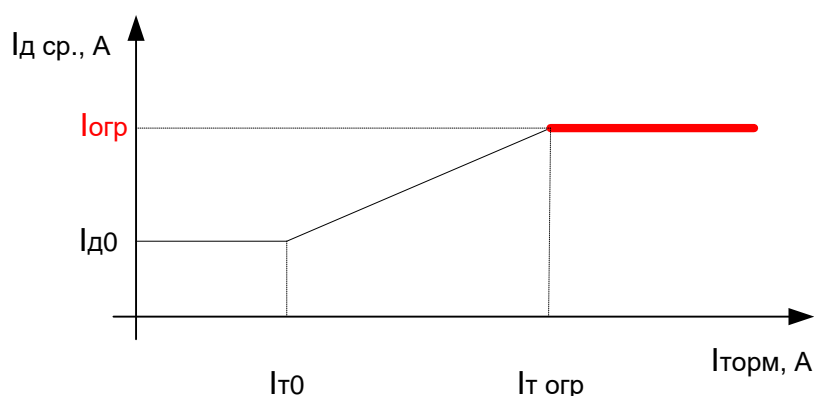


Рис.4.

5.6. Ток небаланса $I_{нб б}$ (приведенный к напряжению базисной стороны трансформатора) определяется тремя составляющими:

$$I_{нб б} = I_{нб б}' + I_{нб б}'' + I_{нб б}''', \quad (14)$$

5.6.1. Составляющая небаланса $I_{нб б}'$, вызванная погрешностями трансформаторов тока:

$$I_{нб б}' = K_{ап} K_{одн} \varepsilon I_{к б max}, \quad (15)$$

где: $k_{ап}$ – коэффициент, который учитывает повышение погрешности за счет апериодической составляющей и переходного режима, при наличии средств отстройки от небаланса в переходном режиме (в нашем случае блокировка по второй гармонике) $k_{ап}=1$ (л.5);

$k_{одн}$ – коэффициент однотипности условий работы трансформаторов тока, в случае обтекания трансформаторов тока близкими по значению вторичными токами при сквозном КЗ $k_{одн}=0,5$, в других случаях $k_{одн}=1$ (л.2);

ε – относительная погрешность трансформаторов тока, с учетом требования проверки трансформаторов тока в режиме КЗ на 10% погрешность, принимается $\varepsilon = 0,1$;

$I_{кб\max}$ – максимальный первичный ток при сквозном КЗ на базисной стороне в максимальном режиме.

5.6.2. Составляющая небаланса $I_{нб}''$ вызванная изменениями коэффициента трансформации трансформатора при работе РПН:

$$I_{нб}'' = \Delta U_{РПН} I_{кб\max}, \quad (16)$$

где $\Delta U_{РПН}$ – половина диапазона регулирования РПН в относительных единицах.

5.6.3. Составляющая небаланса $I_{нб}'''$ вызванная неточностью выравнивания выбранных коэффициентов трансформации трансформаторов тока:

$$I_{нб}''' = \delta I_{д} I_{кб\max}, \quad (17)$$

При выборе уставок $K_{врв}$, $K_{врн}$, такими, которые точно отвечают выражению (3), эта составляющая отсутствует. При полученном значении $\delta I_{д}$ по выражению (4) меньше 0,01, что обычно имеет место при расчетах по этой методике и реальной дискретности задания коэффициентов выравнивания, указанной составляющей можно пренебречь.

5.7. Коэффициент торможения K_T (уставка – диапазон от 0 до 0,9 с шагом 0,01)

$$K_T = I_{огр} / I_{т\огр}, \quad (18)$$

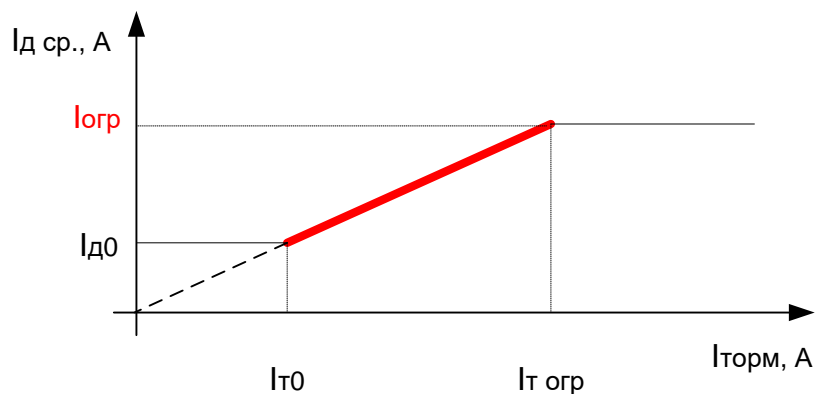


Рис.5.

На рис.5. красной утолщенной линией показан наклонный участок торможения.

5.8. Для того, чтобы условие отстройки от небаланса в каждой точке наклонного участка тормозной характеристики выполнялось так же как в расчетной точке с координатами [$I_{т\text{огр}}$, $I_{огр}$], выберем значение уставки $I_{т0}$ так, чтобы продолжение наклонного участка тормозной характеристики проходило через начало координат:

$$I_{т0} = I_{д0}/K_{т} . \quad (19)$$

6. Коэффициент чувствительности ДТ

Для определения коэффициента чувствительности выбирают режим и сторону трансформатора с минимальным значением вторичного тока, на который реагирует устройство при КЗ в конце зоны защиты (рис. 6):

$$I_{2\text{ к min}} = (I_{к} K_{сх} \text{ } ^{(3)} K_{вр} / n_{тт}) \text{ min.} \quad (20)$$

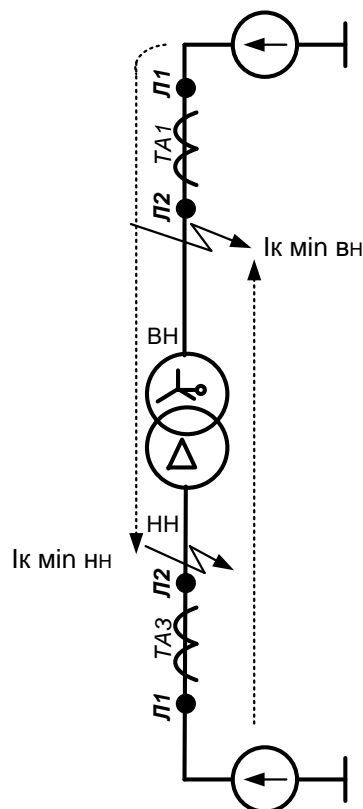


Рис.6

Этот режим будем называть минимальным режимом. Вторичные токи, на которые реагирует устройство на сторонах ВН, и НН в конце зоны защиты в минимальном режиме обозначим

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{2 \text{ к ВН min}}; \\ I_{2 \text{ к НН min}}. \end{array} \right. \quad (21)$$

При одностороннем питании трансформатора минимальным режимом будет режим КЗ на стороне трансформатора, противоположной стороне питания.

Токи по выражениям 21 используются для определения тока торможения в минимальном режиме.

6.1. Ток торможения, соответствующий минимальному режиму, при котором определяется коэффициент чувствительности, выражается через токи сторон трансформатора по выражениям 21:

$$I_{т ч} = K_{вн} I_{2 \text{ к ВН min}} + K_{нн} I_{2 \text{ к НН min}} \quad (22)$$

На пересечении $I_{д ср ч}$ и $I_{т ч}$ (рис.7., рис.8.) показана точка, для которой определяется коэффициент чувствительности.

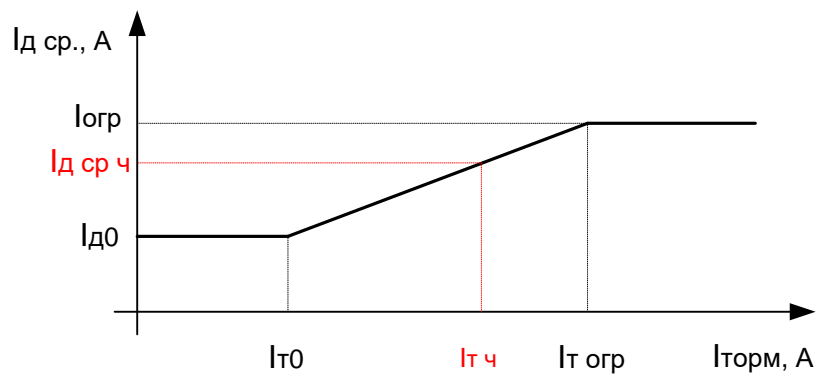


Рис.7.

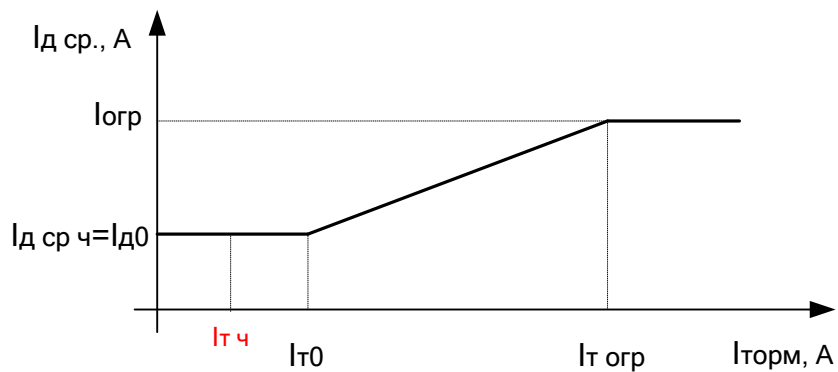


Рис.8.

6.2. Ток срабатывания защиты в точке характеристики, в которой определяется коэффициент чувствительности, рассчитывается в соответствии со следующим выражением:

$$I_{д ср ч} = I_{д0} + k_T(I_{Т ч} - I_{Т0}), \text{ если } I_{Т ч} \geq I_{Т0} \text{ (рис.7),}$$

иначе

$$I_{д ср ч} = I_{д0} \text{ (рис.8),} \quad (23)$$

где k_T – коэффициент торможения в относительных единицах.

6.3. Дифференциальный ток, на который реагирует защита в минимальном режиме, будет совпадать с током КЗ в конце зоны защиты в минимальном режиме:

$$I_{д ч} = I_{2 к \min} = (I_k K_{сх}^{(3)} K_{вр} / n_{тт}) \min. \quad (24)$$

Следует иметь в виду, что в выражении (24) ток, на который реагирует устройство в минимальном режиме, может иметь место не в трехфазном режиме, но коэффициент схемы всегда должен использоваться для трехфазного режима. Это связано с тем, что изменение коэффициента схемы при изменении вида КЗ компенсируется соответствующими изменениями условий трансформации токов КЗ в защищаемом трансформаторе с группой соединений, для которой выполняется соответствующее соединение трансформаторов тока.

6.4. Коэффициент чувствительности 2ст. защиты

$$K_{ч дзт} = \frac{I_{д ч}}{I_{д ср ч}}. \quad (25)$$

7. Дифференциальная отсечка

7.1. Уставка тока срабатывания дифференциальной отсечки $I_{д отс}$ (1-я ст, **уставка** – диапазон от 5А до 60А с шагом 0,01А) выбирается по условию отстройки от полного значения броска тока намагничивания. При этом ток срабатывания отсечки рекомендуем принимать равным 5 номинального тока стороны трансформатора, рассчитанной на его полную нагрузку (100%) – основной стороны трансформатора – $I_{н о}$ (л.1).

$$I_{д отс} = 5 K_{вр о} K_{сх о}^{(3)} \frac{I_{н о}}{n_{т т о}}. \quad (26)$$

7.2. При выбранном значении тока срабатывания ДО, она оказывается отстроенной по уровню от броска тока намагничивания и небаланса, вызванного перевозбуждением, поэтому с целью предотвращения замедления действия ДО для нее блокировка по второй и пятой гармонике не вводится.

7.3. Коэффициент чувствительности дифференциальной отсечки $K_{ч\text{ отс}}$ определяется по ее току срабатывания в той же точке, что и $K_{ч\text{ дэт}}$ (рис.9)

$$K_{ч\text{ отс}} = \frac{I_{дч}}{I_{д\text{отс}}}, \quad (27)$$

где $I_{дч}$ - тот ток, который используется при определении коэффициента чувствительности $K_{ч\text{ дэт}}$ и определяется в соответствии с выражением (24).

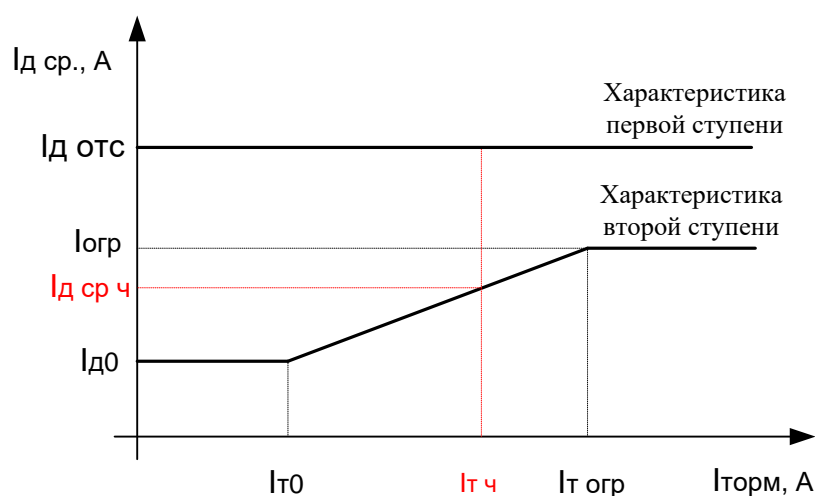


Рис.9.

Следует отметить, что в отличие от распространенной точки зрения, что дифференциальная отсечка должна использоваться при коэффициенте чувствительности больше 2 (л.2), отсечку устройства РС830-ДТ2 целесообразно вводить в действие даже при коэффициенте чувствительности меньше единицы. Это объясняется тем, что в таком случае отсечка обеспечит охват более эффективной быстродействующей защитой хотя бы часть трансформатора, а затрат на ее применение никаких не нужно, поскольку она выполнена комплексно в составе другой защиты.

8. Время срабатывания ступеней дифференциальной защиты

Время срабатывания ступеней $T_{до}$ (уставка – диапазон от 0 до 1сек с шагом 0,01сек) и $T_{дт}$ (уставка – диапазон от 0 до 1сек с шагом 0,01сек) дифференциальной защиты в случае использования РС830-ДТ2 как основной защиты трансформатора рекомендуется ставить $T=0с$.

Для других особых случаев использования терминала РС830-ДТ2 можно вводить задержку по времени срабатывания.

9. Дифференциальная защита от небаланса

9.1. Ток срабатывания ступени дифференциальной защиты от небаланса выбирается по условию отстройки от небаланса, вызванного максимальным током нормального режима (нагрузки):

$$I_{д нб} = \frac{K_H K_{сх н}^{(3)} K_{вр н} I_{нб н}}{Птт н} \quad (28)$$

где:

- K_H – коэффициент надежности, $K_H=1,2$;
- $I_{нб н}$ – ток небаланса, определяемый в зависимости от максимального тока нормального режима;
- $K_{сх н}^{(3)}$, $K_{вр н}$, $Птт н$ – соответствующие параметры как в выражении 13 для той стороны, на которой ток нормального режима имеет максимальное значение $I_{н макс}$, приведенное к одной и той же стороне трансформатора.

$$I_{нб н} = (K_{ап} K_{одн} \varepsilon + \Delta U_{рпн} + \delta I_d) I_{н макс},$$

где:

- $K_{ап}$, $K_{одн}$, ε , $\Delta U_{рпн}$, δI_d – те же значения параметров, что в выражениях 15-17;
- $I_{н макс}$ – ток нормального режима на той стороне, где он имеет максимальное приведенное значение.

9.2. Для обеспечения несрабатывания от небаланса, вызванного сквозными токами КЗ, время срабатывания ступени дифференциальной защиты от небаланса выбирается по условию отстройки от времени действия ступеней защит от сквозных КЗ:

$$T_{д нб} \geq T_{ср ск} + \Delta T,$$

где:

- $T_{ср ск}$ – время срабатывания защиты от сквозных КЗ;
- ΔT – степень селективности, $\Delta T=1с$.

10. Таблица задания уставок

Для упрощения процесса наладки рекомендуется по окончании расчета все данные внести в таблицу, форма которой приведена ниже. В данной таблице прописаны все уставки и параметры, которые относятся к дифференциальной защите.

Уставки дифференциальной защиты

Наименование уставки	Диапазон
Разрешение работы дифференциальной отсечки (ДО)	Вкл, Откл
Тестовый (однофазный) режим работы ДО	Откл, Вкл ф.А, Вкл ф.В, Вкл ф.С
Разрешение работы дифференциальной защиты с	Вкл, Откл

торможением (ДТ)	
Тестовый (однофазный) режим работы ДТ	Откл, Вкл ф.А, Вкл ф.В, Вкл ф.С
Группа соединений защищаемого трансформатора	0, 11
Коэффициент выравнивания стороны ВН	0,25-4, шаг 0,01
Коэффициент выравнивания стороны НН	0,25-4, шаг 0,01
Ток срабатывания дифотсечки I_d отс, А	5-60, шаг 0,1
Начальный ток срабатывания дифференциальной защиты с торможением I_{d0} , А	0,5-5, шаг 0,01
Начальный ток торможения I_{t0} , А	1,5-4, шаг 0,01
Коэффициент торможения k_t , о.е.	0-0,9, шаг 0,01
Коэффициент участия тока стороны ВН в токе торможения $K_{вн}$, о.е.	0-1, шаг 0,01
Коэффициент участия тока стороны НН в токе торможения $K_{нн}$, о.е.	0-1, шаг 0,01
Ток ограничения торможения I_t огр, А	10-80, шаг 1
Уставка по времени ДО, с	0-1, шаг 0,01
Уставка по времени ДТ, с	0-1, шаг 0,01
Блокировка и ДО по второй гармонике от броска тока намагничивания	Вкл, Откл
Ток блокировки ДО по второй гармонике дифференциального тока I_2 бл до, % от максимального значения первой гармоники токов трех фаз.	5-50, шаг 1
Блокировка ДО по пятой гармонике от перевозбуждения	Вкл, Откл
Ток блокировки ДО по пятой гармонике дифференциального тока I_5 бл до, % от максимального значения первой гармоники токов трех фаз.	5-20, шаг 1
Блокировка ДТ по второй гармонике от броска тока намагничивания	Вкл, Откл
Ток блокировки ДТ по второй гармонике дифференциального тока I_2 бл дт, % от максимального значения первой гармоники токов трех фаз.	5-50, шаг 1
Блокировка ДТ по пятой гармонике от перевозбуждения	Вкл, Откл
Ток блокировки ДТ по пятой гармонике дифференциального тока I_5 бл дт, % от максимального значения первой гармоники токов трех фаз.	5-20, шаг 1
Разрешение работы дифзащиты от небаланса (ДН)	Вкл, Откл
Ток срабатывания дифзащиты от небаланса $I_{дн}$, А	0,05-20, шаг 0,01
Уставка по времени срабатывания дифзащиты от небаланса $T_{дн}$, с	0-20, шаг 0,01

Литература

1. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. Ленинград, «Энергоатомиздат», 1985.
2. Беркович М.А. и др. Основы техники релейной защиты. М. Энергоатомиздат, 1984.
3. Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем. Учебник для вузов. М. «Энергия», 1976.

4.Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства. М. ВГПИ и НИИ «Сельэнергопроект», 1978, декабрь.

5.Руководящие указания по релейной защите, выпуск 13Б. Релейная защита понижающих трансформаторов 110-500 кВ. Расчеты. М. «Энергоатомиздат», 1985.

6.Рекомендации по выбору уставок защит электротехнического оборудования с использованием микропроцессорных устройств концерна ALSTOM, 2000.

**Рекомендации по выбору настроек и уставок устройства
управления РПН трансформатора РС83-В4**

1. Выбор режима регулирования по напряжениям входов U1, U2

В устройстве может задаваться один из следующих режимов регулирования РПН по напряжениям входов U1, U2:

- 1.1) по входу U1;
- 1.2) по входу U2;
- 1.3) по входу U1 с контролем допустимого выхода за диапазон по U2;
- 1.4) по входу U2 с контролем допустимого выхода за диапазон по U1;
- 1.5) по входу U1 или U2 с переключением по DI5.

Если измерение напряжений возможно только на одной из сторон регулируемого трансформатора (например, по наличию ТН только на одной стороне), то режим регулирования задается по этой стороне.

Если измерение напряжений возможно на двух сторонах трансформатора, то режим регулирования следует задавать по напряжению той стороны, к которой подключены потребители с целью поддержания нужного уровня напряжения у потребителей. При этом с целью предотвращения выхода за допустимые пределы напряжения на другой стороне трансформатора, рекомендуется задавать режим регулирования с дополнительным контролем напряжения по указанной другой стороне.

Режим регулирования с переключением по DI5 может использоваться, если по режиму сети в разные периоды при разной нагрузке или разном режиме напряжений питающей сети необходимо переключаться на разные уставки регулирования. Такое переключение может осуществляться вручную ключом управления, автоматически часовым механизмом или при необходимости часовым механизмом с календарем.

2. Уставка по напряжению срабатывания

2.1. Уставка по напряжению срабатывания входа, по которому задано регулирование (U1 по пункту 1.1 или 1.3, U2 по пункту 1.2 или 1.4), определяется исходя из режимных соображений. При этом исходят из режима минимальных нагрузок, при которых величина напряжения на шинах, а значит и у вблизи расположенных потребителей не должна превысить $1,05 U_{ном}$. Напряжение у близких потребителей при выборе этой уставки, если возможно, рекомендуется принимать с учетом того, что его можно дополнительно корректировать путем изменения положения переключателей ПБН (анцапф) на потребительских трансформаторах в пределах $\pm 5\%$.

2.2. Уставка по напряжению срабатывания входа, по которому контролируется допустимый выход за диапазон (U2 по пункту 1.3 или U1 по пункту 1.4) следует выбирать с учетом обеспечения допустимого напряжения на стороне трансформатора, на которой включен этот вход. При отсутствии других ограничений эта уставка может быть принята совпадающей с уставкой, по которой выполняется регулирование по пункту 2.1. При этом допустимый выход за диапазон определяется шириной зоны нечувствительности (см. ниже).

3. Выбор режима коррекции по току и параметров коррекции

Коррекция регулирования напряжения по току нагрузки выполняется, если поддержание заданного напряжения нужно обеспечивать не в точке измерения напряжения, а в удаленной (в сторону нагрузки) точке. Такая необходимость может возникать, если измерение

напряжения выполняется на стороне питания трансформатора, а необходимые уровни напряжения нужно поддерживать на противоположной стороне нагрузки трансформатора. В этом случае коррекция по току компенсирует потери напряжения в трансформаторе. Другой случай, когда возникает указанная необходимость, если ближайшие нагрузки трансформатора включены не вблизи шин трансформатора, а на значительном удалении по линии их питания. В этом случае коррекция по току компенсирует потери напряжения в линии от трансформатора до нагрузки. Режим коррекции регулирования по току при необходимости вводится или выводится, а также задается по току входов I1, I2 или I1+I2. Вход тока, по которому будет выполняться коррекция, следует включать в ту цепь (трансформатора или линии), потерю напряжения в которой с помощью коррекции компенсируем.

Напряжение $U_{корр}$, на которое выполняется коррекция регулирования (вторичное значение), определяется соотношением текущего значения тока I и номинальным значением тока трансформаторов I_n , а также коэффициентом коррекции $K_{корр}$:

$$U_{корр} = 20 K_{корр} I / I_n. \quad (1)$$

Для определения параметров коррекции по току следует рассчитать первичное значение потери напряжения соответственно в трансформаторе или линии $U_{пот}$, подлежащие компенсации за счет токовой коррекции, перевести его во вторичное значение через коэффициент трансформации трансформатора напряжения $K_{тн}$ и подставить в выражение (1):

$$U_{пот} / K_{тн} = 20 K_{корр} I / I_n.$$

Отсюда:

$$K_{корр} = U_{пот} I_n / 20 K_{тн} I,$$

где:

- $U_{пот}$ – расчетная потеря напряжения (первичное значение) в трансформаторе или линии;
- I_n – первичный номинальный ток трансформатора тока, через который подается ток для коррекции;
- $K_{тн}$ – коэффициент трансформации трансформатора напряжения;
- I – первичное значение тока, для которого рассчитана потеря напряжения $U_{пот}$.

После выбора параметров коррекции по току проверяется напряжение на шинах, которое при использовании токовой коррекции не должно превысить 1,05 $U_{ном}$ исходя из уровня напряжения у близко расположенных потребителей. Это условие следует проверять как в режиме минимальных токов коррекции, так и в режиме максимальных. При невыполнении такого условия изменяют уставку по пункту 2 и опять проверяют напряжение с учетом коррекции. Необходимо добиться, чтобы напряжение у удаленных потребителей не снижалось ниже -5%, а у ближайших – не повышалось выше +5%. Не следует забывать, что

напряжение у потребителей можно дополнительно корректировать путем изменения положения переключателей ПБН (анцапф) на потребительских трансформаторах в пределах $\pm 5\%$.

4. Уставка по ширине зоны нечувствительности

4.1. Зона нечувствительности по напряжению срабатывания входа, по которому задано регулирование, определяет величину отклонения напряжения от уставки, при которой регулятор не выдает команду на регулирование напряжения. Минимальная ширина зоны определяется необходимостью устранить возможность колебательного процесса при регулировании напряжения. После изменения положения РПН на одно положение регулятор не должен выдать команду на регулирование напряжения в обратную сторону. Поэтому после регулирования РПН на 1 ступень напряжение должно попасть в зону нечувствительности регулятора. Необходимо устанавливать ширину зоны нечувствительности с запасом больше значения ступени регулирования РПН трансформатора. Рекомендуемый коэффициент запаса 1,3.

4.2. Зону нечувствительности по напряжению срабатывания входа, по которому контролируется выход за допустимый диапазон (пункт 1.3 или 1.4) следует выбирать по условиям обеспечения минимального и максимального допустимого напряжения на стороне трансформатора, на которой включен этот вход. При этом она должна быть не менее чем на 2 ступени регулирования РПН шире, чем зона нечувствительности по пункту 4.1.

5. Уставка по времени формирования команд прибавить и убавить

Выдержка времени формирования команд выбирается исходя из возможности и длительности кратковременных изменений напряжения при переменном характере нагрузки. Чем больше выдержка времени, тем меньше вероятность излишнего действия РПН, а значит, сокращается количество операций РПН, ресурс которого ограничен. При отсутствии данных о характере изменения нагрузки можно рекомендовать уставку (150–200 с).

6. Уставка по времени переключения привода

Уставка по времени переключения привода, после превышения которой формируется сигнал «Застревание», выбирается с запасом больше возможного максимального времени переключения привода на одну ступень при его нормальной работе. Так, для привода МЗ-4 с временем переключения на 1 ступень 4,5с, можно рекомендовать значение уставки 6с.

7. Уставка по времени выдачи повторной команды

Уставку по времени задержки выдачи повторной команды прибавить или убавить можно рекомендовать выбирать с запасом больше возможного максимального времени переключения привода на одну ступень. Это позволяет регулятору до выдачи повторной команды успеть отреагировать на изменение напряжения, вызванное выполнением предыдущей команды, и в случае прихода напряжения в зону заданных значений, исключить подачу избыточной команды регулирования. При отсутствии других данных для привода МЗ-4 можно рекомендовать значение уставки 6с.

8. Уставка по ограничению количества повторных команд в одну сторону

Уставка по ограничению количества повторных команд в одну сторону, если отсутствуют особые соображения, может быть принята равной 3.

9. Уставка по уровню напряжения ускорения команды «Убавить»

Уставку по уровню напряжения ускорения команды «Убавить» и блокировки команды «Прибавить» следует выбирать с запасом превышающую возможное максимальное напряжение при нормальной работе регулятора. При отсутствии других соображений эта уставка может быть принята равной 115В.

10. Уставка по уровню блокировки регулирования на понижение напряжения

Уставку по уровню блокировки регулирования на понижение напряжения следует выбирать с запасом меньше возможного минимального напряжения при нормальной работе регулятора. При отсутствии других соображений эта уставка может быть принята равной 80-90В.

11. Уставка по току блокировки РТБ

Уставку по току блокировки I ср бл выбирают по условию отстройки от максимального тока нагрузки трансформатора I_{н max}:

$$I \text{ ср бл} = 1,3 I_{н \text{ max}} / \text{птт},$$

где птт – коэффициент трансформации трансформатора тока в цепи нагрузки трансформатора, на который включен контролирующий вход устройства.

Литература

1. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. НТУ ХПИ, 2006.

Методические указания по выбору уставок защит от коротких замыканий фидеров контактной сети 27,5 кВ, реализуемых при помощи устройства РС830-ФКС

Условные обозначения

ДЗ – дистанционная защита

ТО – токовая отсечка

ЗМН – защита минимального напряжения (потенциальная защита)

Zсз – сопротивление срабатывания ступени ДЗ

Zн – сопротивление нагрузки

ϕ_n – угол импеданса нагрузки

$\phi_{мч}$ – угол максимальной чувствительности

$\phi_{зоны}$ – ширина зоны срабатывания

Kч – коэффициент чувствительности

Iср – ток срабатывания ступени ДЗ при переводе в МТЗ

Iотс – ток срабатывания отсечки

Rпер – переходное сопротивление

Zтгз – сопротивление троса группового заземления

Rд – сопротивление дуги

Rз – переходное сопротивление «Контактная сеть-земля»

Uк% - напряжение короткого замыкания трансформатора в %

T – уставка по времени срабатывания ступени

ΔT – степень селективности по времени

Введение

Настоящие Методические указания разработаны с учетом функциональности, состава защит, характеристик и особенностей устройства РС830-ФКС. В основу приведенных рекомендаций и расчетных выражений положены общие подходы классической школы релейной защиты, а также нормативные документы по релейной защите систем тягового электроснабжения. Определение значений конкретных величин, используемых в расчетах (токов короткого замыкания и токов нагрузки на участках контактной сети, расчетных сопротивлений защищаемого и предыдущих участков сети, сопротивления дуги или переходного сопротивления в месте КЗ, сопротивления троса группового заземления), должно выполняться по существующим методикам и рекомендациям, принятым для систем тягового электроснабжения. Расчеты значений указанных величин никак не связаны с применяемым устройством релейной защиты и его особенностями, должны выполняться по утвержденным для систем тягового электроснабжения методикам, привычными для соответствующих эксплуатационных или проектных подразделений способами. Поэтому указанные расчеты не приводятся в основном тексте настоящей методики. Это также объясняется тем, что такие расчеты сильно связаны с особенностями структуры, параметров элементов и режимов контактных сетей. В качестве справочного материала по выполнению указанных расчетов в приложениях приводятся некоторые математические выражения и таблицы параметров контактных сетей, подготовленные по материалам Руководящих указаний по релейной защите систем тягового электроснабжения (Л.1).

Авторы настоящей работы будут признательны специалистам в области релейной защиты систем тягового электроснабжения и контактных сетей за конструктивные замечания и предложения по тексту Методических указаний.

1. Структура контактной сети и общие требования к ее защитам

Варианты схем контактной сети для отдельной, узловой и параллельной схем питания приведены на рис.1.

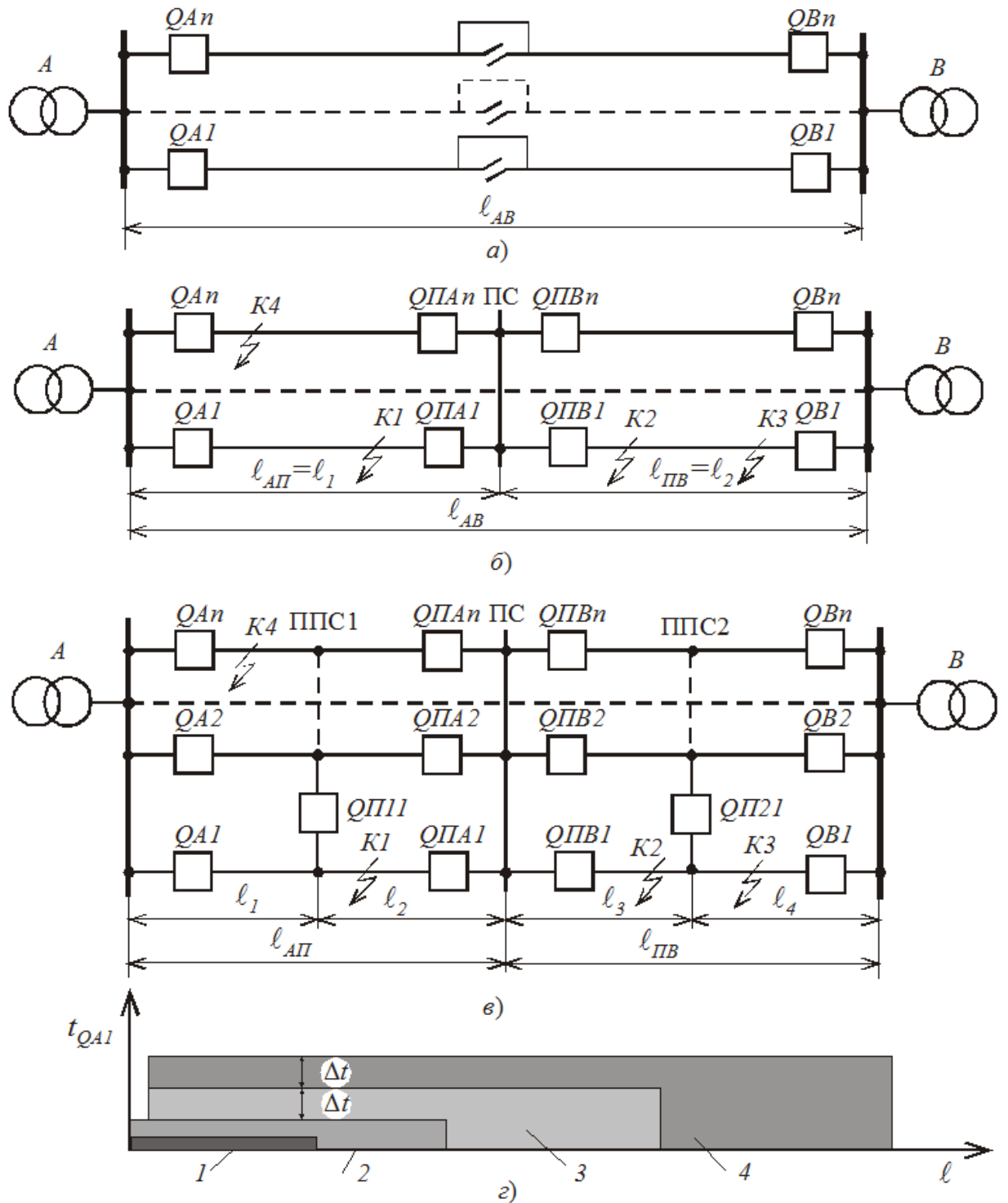


Рис.1

Поведение и необходимые зоны защиты рассмотрим для более сложной параллельной схемы питания рис.1в. Точки параллельного соединения ППС1 и ППС2 с выключателями соответственно $Q_{П11}$ и $Q_{П21}$ имеют быстродействующую ненаправленную защиту с нулевой выдержкой времени. Поэтому при обтекании током $K3$ точек параллельного соединения

происходит деление сети на независимые параллельные ветви с двусторонним питанием путем отключения ППС еще до работы основных и резервных защит во всех точках контактной сети. Расчетная схема сети после такого ее деления и с увеличенным числом пунктов секционирования ПС1 и ПС2 приведена на рис. 2.

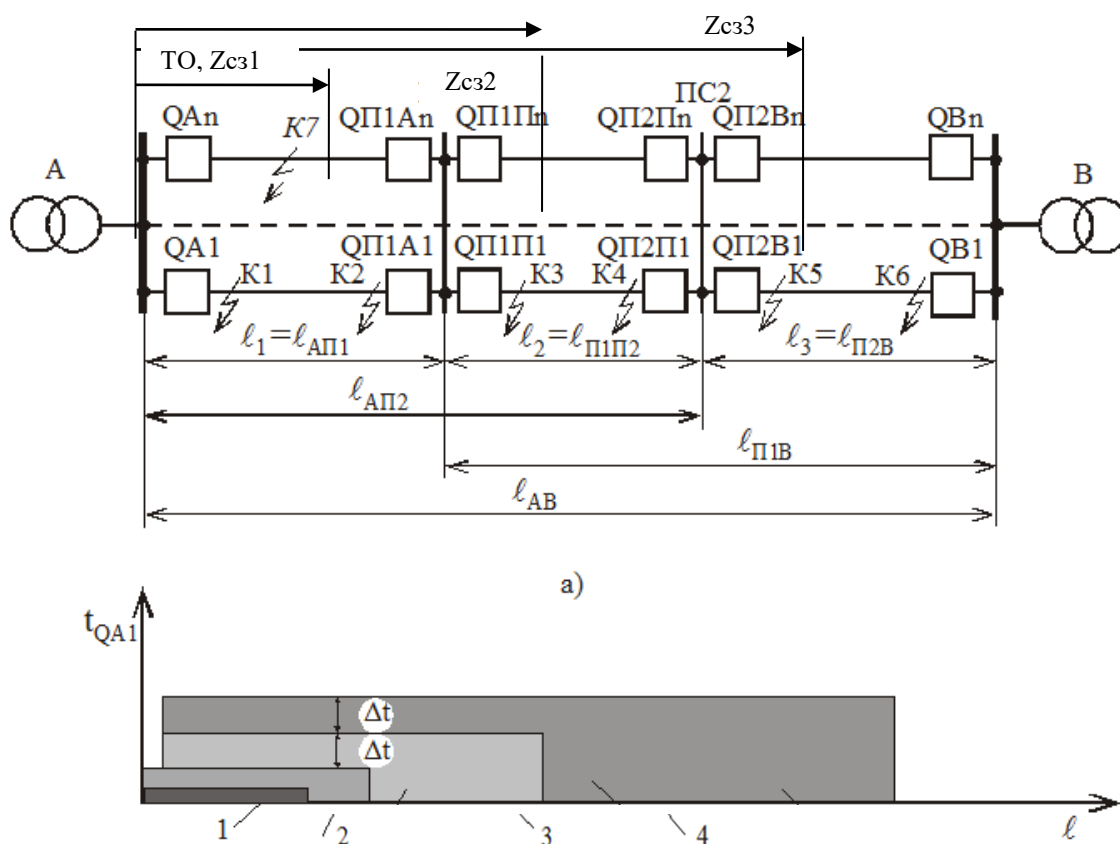


Рис.2

На графике селективности комплекта защиты выключателя QA1 тяговой подстанции (рис.1 и рис.2) цифрой 1 отмечена зона действия дополнительной защиты в виде токовой отсечки, не имеющей выдержки времени. Эта защита предназначена для ускоренного отключения выключателя при близких коротких замыканиях. Кроме того, дополнение комплекса защит ненаправленной токовой отсечкой, позволяет перекрыть мертвую зону направленных ступеней, вызванную недопустимым понижением напряжения при КЗ в начале зоны срабатывания этих ступеней.

Цифра 2 относится к первой ступени ДЗ с уставкой Zc31. Эта ступень также не имеет выдержки времени.

Цифрой 3 отмечена зона действия второй ступени ДЗ с уставкой Zc32, протяженность которой должна быть больше расстояния $l_{АП}$ (рис.1). Эта ступень в тяговой сети переменного тока является основной, поскольку к ней предъявляются требования обеспечить нормативное значение коэффициента чувствительности при коротком замыкании на шинах поста секционирования ПС. Вторая ступень выполняется с выдержкой времени. Зону действия этой ступени рекомендуется дополнить зоной, охватывающей начало координат (рис.3) и выполненной на отдельной ступени ДЗ с круговой характеристикой, с выведенной

направленностью и уставкой по времени, совпадающей с уставкой второй ступени ДЗ (дополнительная зона).

Характеристика второй ступени ДЗ с организацией дополнительной зоны при помощи отдельной ступени

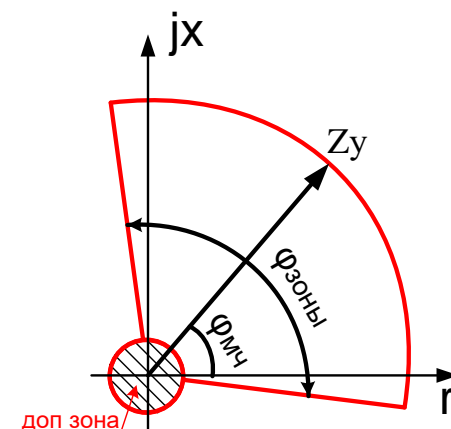


Рис.3

Назначение дополнительной зоны – отключение КЗ «За спиной» (на питающих шинах) при питании с противоположного конца фидера контактной сети (от подстанции В).

Цифра 4 относится к третьей (резервной) ступени ДЗ с уставкой $Z_{с3}$, выдержка времени которой на один шаг больше, чем выдержка времени второй ступени. Зона действия этой защиты должна перекрывать расстояние $\ell_{АП2}$ (рис.2) до конца резервируемого предыдущего участка контактной сети.

Первую-третью ступени ДЗ следует выполнять с характеристикой в виде сектора круга, расположенного в первом квадранте комплексной плоскости.

Кроме того, в устройстве имеется возможность выполнения четвертой ступени ДЗ с характеристикой в виде трапеции, вытянутой вдоль оси активных сопротивлений, для работы через повышенное переходное сопротивление (рис.4).

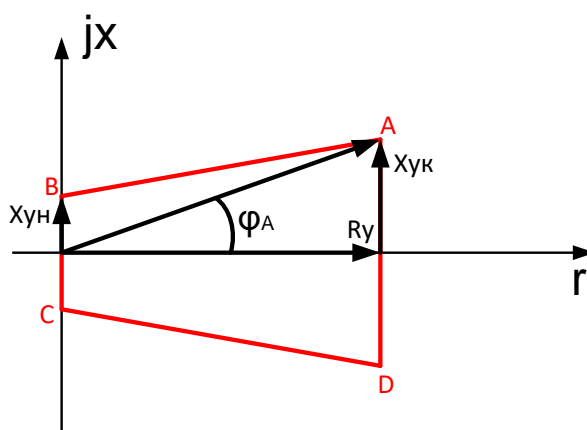


Рис.4

Уставка срабатывания этой ступени R_y выбирается с учетом переходного сопротивления дуги и сопротивления троса группового заземления с обеспечением нормативного значения

коэффициента чувствительности при повреждении в конце зоны резервирования – на **расстояние $\ell_{\text{АП2}}$** (рис.2). Нормируемые значения коэффициентов чувствительности в соответствии с требованиями Руководящих указаний по релейной защите систем тягового электроснабжения (Л.1) приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Нормативные значения коэффициентов чувствительности

Виды защит	Назначение	Место короткого замыкания	$K_{\text{ч}}$
Максимальные, токовые одноступенчатые	Основная	Конец защищаемой зоны	1,5
Ступенчатые защиты тока и напряжения	Основная	Конец защищаемой зоны	1,5
Ступенчатые защиты тока и напряжения при наличии селективной резервной ступени	Основная	Конец защищаемой зоны	1,3
Дистанционные, вторая ступень при отсутствии третьей, третья ступень	Основная, ближнее резервирование	Конец защищаемой зоны	1,5
Дистанционные, вторая ступень при наличии третьей	Основная, ближнее резервирование	Конец защищаемой зоны	1,25
Дистанционные, вторая или третья ступень при отсутствии поста или при постах на разъединителях	Основная, ближнее резервирование	Конец защищаемой зоны	1,5
Защиты тока, напряжения, сопротивления	Резервная, дальнее резервирование	Конец смежного элемента, входящего в зону резервирования	1,2
Токовая отсечка	Дополнительная	Место установки защиты	1,2

Все ступени ДЗ должны быть направленными. Их уставки в нужном направлении выбираются отдельно для режима питания от подстанции А и режима питания от подстанции В.

Для каждой ступени должно проверяться условие согласования по чувствительности с предыдущими защитами (защитами смежных присоединений), действующими в том же направлении.

Аналогичные защиты с такими же графиками селективности устанавливаются на других выключателях (QA2...QAn) тяговой подстанции А, через которые питается межподстанционная зона $\ell_{\text{АВ}}$. Защиты на пунктах секционирования ПС1 и ПС2 в данном направлении выполняются аналогично, но число ступеней этих защит может уменьшаться по мере приближения к концу межподстанционной зоны в соответствии с остающимся числом предыдущих участков контактной сети. Число ступеней направленных защит в устройстве РС830-ФКС достаточно для реализации на пункте секционирования защит, действующих в разных направлениях со своими уставками. Все требования и рекомендации, сформулированные для защит

присоединений, питающихся в нормальном режиме от подстанции А, распространяются также на защиты присоединений, питающихся в нормальном режиме от подстанции В.

При выборе параметров направленности ступеней защит рекомендуется пользоваться следующими соображениями.

В соответствии с Л.1 при металлическом коротком замыкании фазовый угол может быть от 60 до 85 градусов, при коротком замыкании через переходное сопротивление величиной от 5 до 8 Ом фазовый угол может снижаться до 42 градусов. С учетом этого для ступеней, которые не отстраивают от нагрузки по углу, рекомендуется принимать значение угла максимальной чувствительности $\phi_{мч}$ и ширины зоны срабатывания $\phi_{зоны}$:

$$\phi_{мч} = 50^\circ; \quad (1.1)$$

$$\phi_{зоны} = 110^\circ.$$

Такие параметры обеспечивают надежное попадание в зону защиты для всех указанных режимов.

Если выполняется отстройка от нагрузки по углу параметрами круговой характеристики (рис. 5), то рекомендуется принимать:

$$\phi_{зоны} = 100^\circ - \phi_{н}; \quad (1.2)$$

$$\phi_{мч} = 50^\circ + 0,5\phi_{н}.$$

Такие уставки обеспечивает расположение границы зоны срабатывания за пределами угла отстройки от нагрузки $\phi_{н}$.

Характеристика в виде сектора круга с отстройкой от нагрузки по углу

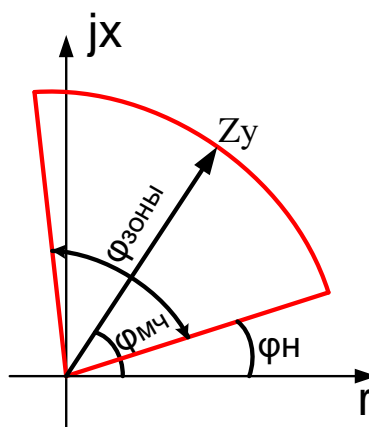


Рис. 5

Для первой и второй ступени ДЗ условие отстройки от нагрузки обычно выполняется по величине сопротивления. Для третьей ступени ДЗ выбор параметров направленности по условиям 1.1 следует выполнять, если отстройка от нагрузки по величине сопротивления выполняется, а по условиям 1.2 – если отстройка от нагрузки по величине сопротивления не выполняется и обеспечить такое выполнение заглублением защиты недопустимо по условиям чувствительности.

2. Выбор уставок ступеней дистанционной защиты и токовой отсечки

2.1. Первая ступень ДЗ

2.1.1. Требования к первой ступени

Первая ступень должна обеспечивать селективное отключение без выдержки времени металлических КЗ на 85% полного сопротивления основного участка защиты (ближайшего от места установки защиты участка контактной сети, на котором действует защита). Первая ступень должна быть отстроена от КЗ за пределами указанного участка (месте установки предыдущих защит). С учетом этого, первая ступень имеет мертвую зону в конце защищаемого участка. В соответствии с Л.1 для первой – второй ступени при выборе уставок можно не учитывать сопротивление дуги, переходное сопротивление в месте повреждения и сопротивление троса группового заземления.

2.1.2. Выбор уставок первой ступени

2.1.2.1. Выбор уставки по сопротивлению $Z_{сз1}$ производится по условию отстройки действия защиты от КЗ за пределами основного участка (месте установки предыдущих защит) и охвата 85% полного сопротивления участка $Z_{ос\text{уч}}$:

$$Z_{сз1} = 0,85 Z_{ос\text{уч}} \quad (2.1)$$

2.1.2.2. Отключения КЗ через переходное сопротивление при круговой характеристике обеспечивается выбором параметров срабатывания по углу в соответствии с выражениями (1.1), при которых ось активных сопротивлений оказывается в зоне срабатывания. Переходное сопротивление $R_{пер}$, через которое обеспечивается отключение КЗ в начале линии при круговой характеристике составит

$$R_{пер} = Z_{сз1} \quad (2.2)$$

Это значение не нормируется и его определение выполняется исключительно с информационной целью.

2.1.2.3. Первая ступень ДЗ должна быть отстроена от бросков тока намагничивания трансформаторов электроподвижного состава. С этой целью рекомендуется вводить пуск по току первой ступени ДЗ. Значение уставки пуска по току $I_{сз1}$ для отстройки от броска тока намагничивания с учетом рекомендаций Л.1 следует принимать:

-для защиты фидеров на тяговых подстанциях

$$I_{сз1} = 2400 \text{ А} \quad (2.3)$$

-для защиты фидеров на постах секционирования

$$I_{сз1} = 1200 \text{ А} \quad (2.4)$$

2.1.2.4. Для ступени ДЗ, с введенным пуском по току, следует проверять выполняется ли ее условие срабатывания по току $I_{сз}$ на пороге пуска по сопротивлению $Z_{сз}$. Для этого

определяют расчетный ток КЗ $I_{p\text{ кз}}$ в данной сети, соответствующий сопротивлению срабатывания ступени

$$I_{p\text{ кз}} = 10^3 U_n / Z_p, \quad (2.5)$$

где:

- U_n – номинальное напряжение контактной сети, $U_n = 27,5 \text{ кВ}$;
- Z_p – расчетное сопротивление, до точки сети, соответствующей $Z_{сз}$ (Ом).

$$Z_p = X_{тр} + Z_{кс} + Z_{сз}, \quad (2.6)$$

где:

- $X_{тр}$ – сопротивление трансформатора, питающего контактную сеть, приведенное к номинальному напряжению контактной сети (при двухфазном КЗ);
- $Z_{кс}$ – сопротивление контактной сети от подстанции до точки установки защиты (за спиной).

$$X_{тр} = 2U_{к\%} U_n^2 / 100 S_n, \quad (2.7)$$

где:

- $U_{к\%}$ – напряжение короткого замыкания трансформатора между стороной его питания и стороной подключения контактной сети (обычно стороны В-С), %;
- U_n – номинальное напряжение контактной сети ($U_n = 27,5 \text{ кВ}$);
- S_n – номинальная мощность трансформатора, МВА.

Суммирование в выражении (2.6) следует выполнять в комплексной форме.

Условие срабатывания ступени:

$$I_{сз} \leq I_{p\text{ кз}} \quad (2.9)$$

2.1.2.5. Время срабатывания первой ступени T_1 следует принять равным нулю:

$$T_1 = 0 \quad (2.10)$$

2.2. Токовая отсечка (дополнительная защита)

2.2.1. Требования к токовой отсечке

Токовая отсечка без выдержки времени как дополнительная защита должна обеспечивать быстрое отключение КЗ в начале основного участка защищаемой контактной сети при больших значениях тока КЗ. Ее преимущества связаны с отсутствием зависимости работы отсечки от величины и фазы контролируемых напряжений, для которых в зоне действия отсечки характерно снижение по величине вплоть до нуля. Ток срабатывания отсечки должен быть отстроен от максимального тока КЗ в конце защищаемого участка сети, а ее чувствительность должна обеспечиваться при минимальном значении тока КЗ в начале защищаемого участка (точке установки защиты) с $K_{ч} = 1,2$.

2.2.2. Выбор уставок токовой отсечки

2.2.2.1. Выбор уставки по току $I_{отс}$ производится по условию отстройки действия защиты от максимального тока КЗ $I_{кз\text{ max}}$ за пределами основного участка контактной сети (месте установки предыдущих защит):

$$I_{отс} = 1,2 I_{кз \max} \quad (2.11)$$

2.2.2.2. Ток срабатывания отсечки по выражению 2.11 должен быть проверен по условиям отстройки от броска тока намагничивания трансформаторов электроподвижного состава. В соответствии с Л.1:

-для защиты фидеров на тяговых подстанциях

$$I_{отс} \geq 2400 \text{ A} \quad (2.12)$$

-для защиты фидеров на постах секционирования

$$I_{отс} \geq 1200 \text{ A} \quad (2.13)$$

2.2.2.3. Коэффициент чувствительности отсечки должен определяться при минимальном значении тока КЗ в месте ее установки $I_{кз \min}$

$$K_{ч \text{ отс}} = I_{кз \min} / I_{отс} \quad (2.14)$$

Значение $K_{ч \text{ отс}}$ в соответствии с таблицей 1 должно быть не менее 1,2.

2.3. Вторая ступень ДЗ

2.3.1. Требования ко второй ступени

Вторая ступень является основной и должна обеспечивать надежного отключения КЗ по всей длине основного (ближайшего от точки установки защиты) участка контактной сети, обеспечение селективности действия при к.з. за пределами указанного участка за счет отстройки по времени и чувствительности от первых ступеней предыдущих защит, а также возможное использование ступени в качестве ускоряемой автоматически в режимах опробования фидера при ручном включении и АПВ. В соответствии с Л.1 для первой – второй ступени при выборе уставок можно не учитывать сопротивление дуги, переходное сопротивление в месте повреждения и сопротивление троса группового заземления.

2.3.2. Выбор уставок второй ступени

2.3.2.1. Выбор уставки по сопротивлению $Z_{сз2}$ по условию обеспечения чувствительности при КЗ в конце основного (ближайшего от места установки защиты) участка контактной сети (месте установки предыдущих защит, на шинах поста секционирования) выполняется в соответствии с выражением

$$Z_{сз2} \geq k_{ч} Z_{ос \text{ уч}}, \quad (2.15)$$

где:

- $k_{ч} = 1,25$ – необходимый коэффициент чувствительности при КЗ в конце участка;
- $Z_{ос \text{ уч}}$ – сопротивление основного участка

2.3.2.2. Для согласования второй ступени по чувствительности с предыдущими защитами находят точку сети, сопротивление при КЗ в которой соответствует порогу срабатывания

ступени предыдущей дистанционной защиты или ток трехфазного КЗ в которой, соответствует току срабатывания ступени предыдущей токовой защиты. В качестве ступени предыдущей защиты (с которой выполняется согласование) принимают ступень, время действия которой, меньше времени действия согласуемой ступени. Обычно для второй ступени такой является первая ступень предыдущей защиты. Для выполнения условия согласования сопротивление Z от точки установки рассматриваемой ступени ДЗ до найденной точки сети должно соответствовать требованию

$$Z_{сз2} \leq 0,85Z. \quad (2.16)$$

Расчетное сопротивление для проверки условия согласования (2.16), определяется как модуль сопротивления \dot{Z} , получаемого суммированием сопротивления участка $\dot{Z}_{уч}$ между согласуемыми защитами и сопротивления срабатывания предыдущей защиты $\dot{Z}_{сз пред}$:

$$\dot{Z} = \dot{Z}_{уч} + \dot{Z}_{сз пред}. \quad (2.17)$$

При этом сложение выполняется в комплексной форме, а соотношение активной и реактивной составляющих $\dot{Z}_{сз пред}$ принимается таким же, как для участка сети, защищаемого предыдущей защитой.

2.3.2.3. Для второй ступени также должно проверяться условие отстройки от нагрузки по величине сопротивления

$$Z_{сз2} \leq Z_{н}, \quad (2.18)$$

где $Z_{н}$ – сопротивление нагрузки.

$$Z_{н} = 0,85U_{мин}/I_{н макс}, \quad (2.19)$$

где:

- $U_{мин}$ – действующее значение минимального рабочего напряжения в В;
- $I_{н макс}$ – действующее значение максимального нагрузочного тока в А.

Параметры нагрузки участков контактной сети должны определяться с учетом реального графика движения на этих участках и в соответствии с принятыми в эксплуатационном подразделении методиками.

2.3.2.4. Время срабатывания второй ступени ДЗ T_2 выбирается по условиям отстройки на ступень селективности ΔT от времени действия первых ступеней предыдущих защит $T_{1пр}$

$$T_2 = T_{1пр} + \Delta T, \quad (2.20)$$

Ступень селективности ΔT рекомендуется принимать 0,5с если согласование выполняется с электромеханическими защитами или на защищаемых присоединениях используются выключатели старых типов. При согласовании с цифровыми защитами и при использовании современных выключателей с временем отключения не более 0,1с ступень селективности может быть уменьшена до 0,25-0,3с.

2.3.2.5. Если фидер контактной сети может иметь питание с противоположной стороны от другой подстанции, то вторая ступени ДЗ должна быть дополнена дополнительной зоной, охватывающей начало координат и предназначенной для отключения КЗ на шинах «За спиной» при питании от источника с противоположного конца фидера. Сопротивление срабатывания ненаправленной дополнительной зоны $Z_{сз доп}$ должно быть отстроено от сопротивления срабатывания первой ступени защиты своего фидера и первых ступеней защит

всех присоединений секции шин, к которой подключен защищаемый фидер, в соответствии с выражением

$$Z_{сз доп} \leq 0,85Z_{сз1}, \quad (2.21)$$

где $Z_{сз1}$ – сопротивление срабатывания первых ступеней дистанционных защит, от которых выполняется отстройка, или сопротивление от места установки защиты до точки сети, в которой ток трехфазного КЗ равняется току срабатывания защиты для токовых защит.

Время действия ступени, реализующей дополнительную зону, принимается равным времени действия второй ступени. Время действия ступени в дополнительной зоне необходимо также проверить по условиям отстройки от времен действия первых ступеней тех защит, от которых выполнялась отстройка по сопротивлению срабатывания дополнительной зоны.

Отстройка дополнительной зоны второй ступени ДЗ по сопротивлению от указанных первых ступеней защит и ее работа с временем срабатывания второй ступени, отстроенным от времен действия этих первых ступеней, обеспечивает ее срабатывание при питании с противоположного конца фидера только если точка КЗ располагается на шинах или в мертвой зоне между трансформаторами тока защищаемого фидера и трансформаторами тока тех присоединений, от первых ступеней защит которых выполнена отстройка. Этим обеспечивается селективность при работе в дополнительной зоне.

2.3.2.6. Пуск по току для второй ступени, если отсутствуют особые соображения, вводить не следует, так как это может вызвать загробление ступени. Если пуск по току все же вводится, то для предотвращения загробления ступени следует проверить значение тока срабатывания в соответствии с рекомендациями пункта 2.1.2.4.

2.4. Третья ступень ДЗ

2.4.1. Требования к третьей ступени

Отключения КЗ с $K_{ч} \geq 1.5$ на основном (ближайшем от места установки защиты) участке сети и с $K_{ч} \geq 1.2$ на участке резервирования.

Работа через активное сопротивление дуги или переходное сопротивление и сопротивление троса группового заземления R при КЗ в конце основного (ближайшего) участка фидера контактной сети и КЗ в конце участка резервирования с соответствующими $K_{ч}$. Если работу через указанное сопротивление R обеспечить не удастся, для этого следует дополнительно применить специальную четвертую ступень.

Обеспечение селективности действия при КЗ за пределами защищаемого основного участка за счет отстройки по времени и чувствительности от вторых ступеней предыдущих защит.

Обеспечение дальнего резервирования действия защит смежных элементов сети (предыдущего участка).

Отстройка от параметров нагрузки.

2.4.2. Выбор уставок третьей ступени

2.4.2.1. Выбор уставки по сопротивлению $Z_{сз3}$ по условию отстройки по чувствительности от ступеней предыдущих защит выполняется так же как при расчете уставок вторых ступеней по пункту 2.3.2.2, но с использованием параметров не первых, а вторых ступеней предыдущих защит.

А именно:

Для согласования третьей ступени по чувствительности с предыдущими защитами находят точку сети, сопротивление при КЗ в которой соответствует порогу срабатывания ступени предыдущей дистанционной защиты или ток трехфазного КЗ в которой, соответствует току срабатывания ступени предыдущей токовой защиты. В качестве ступени предыдущей защиты (с которой выполняется согласование) принимают ступень, время действия которой, меньше времени действия согласуемой ступени. Обычно для третьей ступени такой является вторая ступень предыдущей защиты. Для выполнения условия согласования сопротивление Z от точки установки рассчитываемой ступени ДЗ до найденной точки сети должно соответствовать требованию

$$Z_{сз3} \leq 0,85Z. \quad (2.22)$$

Сопротивление Z принимается как модуль сопротивления по выражению 2.17.
2.4.2.2. Для отстройки третьей ступени ДЗ от параметров нагрузки проверяют условие

$$Z_{сз3} \leq Z_n. \quad (2.23)$$

Сопротивление нагрузки Z_n определяется в соответствии с выражением 2.19.

2.4.2.3. Коэффициент чувствительности третьей ступени при КЗ в конце основного участка защиты через сопротивление R (сопротивление дуги или переходное сопротивление и сопротивление троса защитного заземления)

$$k_{ч3} = Z_{сз2} / Z_{РАС}, \quad (2.24)$$

$$Z_{РАС} = \sqrt{X_{ос\ уч}^2 + (R_{ос\ уч} + R)^2};$$

где $X_{ос\ уч}$ и $R_{ос\ уч}$ – активная и реактивная составляющие сопротивления основного участка сети до места установки предыдущих защит.

Сопротивление дуги или переходное сопротивление и сопротивление троса защитного заземления R в соответствии с Л1 может быть первоначально принято

$$R = 5-8 \text{ Ом.}$$

Коэффициент чувствительности третьей ступени $k_{ч3}$ должен быть не меньше 1,5. Если это значение коэффициента чувствительности при работе через принятое значение сопротивление R обеспечить не удастся, то рекомендуется выполнить уточненный расчет сопротивления с учетом реальных параметров места короткого замыкания в соответствии с рекомендациями, приведенными в приложении 1. При этом сопротивление троса защитного заземления определяется с учетом его активной и реактивной составляющей, а сопротивление $Z_{РАС}$ определяется суммированием его составляющих в комплексном виде. Если обеспечить необходимое значение коэффициента чувствительности при уточненном расчете не удастся, то следует дополнительно применить специальную четвертую ступень, а указанное значение $k_{ч3}$ обеспечить без учета сопротивления в месте повреждения (принять значение $R=0$).

2.4.2.4. Проверка выполнения резервирования осуществляется путем сравнения сопротивления срабатывания Z_3 с сопротивлением Z_p от места установки защиты до точки сети, определяющей конец зоны резервирования (конец предыдущего участка сети) с учетом сопротивления R (сопротивление дуги или переходное сопротивление и сопротивление троса защитного заземления). Сопротивление R определяется так же как в пункте 2.4.2.3. Коэффициент чувствительности при резервировании

$$k_{чр} = Z_{сз3} / |\dot{Z}_p + \dot{R}| \quad (2.25)$$

должен быть не менее 1,2.

2.4.2.5. Время срабатывания третьей ступени **T3** выбирается по условиям отстройки от времени действия вторых ступеней предыдущих защит **T2пр**

$$T3 = T2пр + \Delta T, \quad (2.26)$$

2.4.2.6. Для третьей ступени ДЗ рекомендуется вводить автоматическое ускорение при включении выключателя.

2.4.2.7. Пуск по току для третьей ступени, если отсутствуют особые соображения, вводить не следует, так как это может вызвать загробление ступени. Если пуск по току все же вводится, то для предотвращения загробления ступени следует проверить значение тока срабатывания в соответствии с рекомендациями пункта 2.1.2.4.

2.5. Четвертая ступень ДЗ

2.5.1. Требования к четвертой ступени

Четвертая ступень дистанционной защиты используется, если при конкретных характеристиках защищаемой сети не удалось обеспечить необходимое значение коэффициента чувствительности при работе через сопротивление дуги или переходное сопротивление и сопротивление троса защитного заземления **R** в соответствии с требованиями пункта 2.4.2.3. В этом случае выбирается специальная характеристика четвертой ступени в виде трапеции, расположенной вдоль оси активных сопротивлений, ориентированная на работу через повышенное переходное сопротивление.

Кроме того, четвертая ступень может применяться, если с помощью трех первых ступеней не удастся выполнить другие требования, предъявляемые к этим ступеням. В этом случае характеристика четвертой ступени выбирается такой же, как для первых трех ступеней, а выбор ее уставок выполняется так же как для третьей ступени, но при условии согласования не со второй, а с третьей ступенью предыдущих защит.

2.5.2. Выбор уставок четвертой ступени при характеристике в виде трапеции

2.5.2.1. Выбор уставки R_y (рис.6) выполняется по условию обеспечения чувствительности с соответствующими $K_{ч}$ при $K3$ в конце основного участка защиты ($R_{oc\text{ уч}}$) и в конце участка резервирования (R_p) через сопротивление дуги или переходное сопротивление и сопротивление троса защитного заземления **R**

$$\begin{aligned} R_y &\geq 1,5(R_{oc\text{ уч}} + R); \\ R_y &\geq 1,2(R_p + R) \end{aligned} \quad (2.27)$$

Здесь $R_{oc\text{ уч}}$ и **R** - те же, что в в пункте 2.4.2.3.

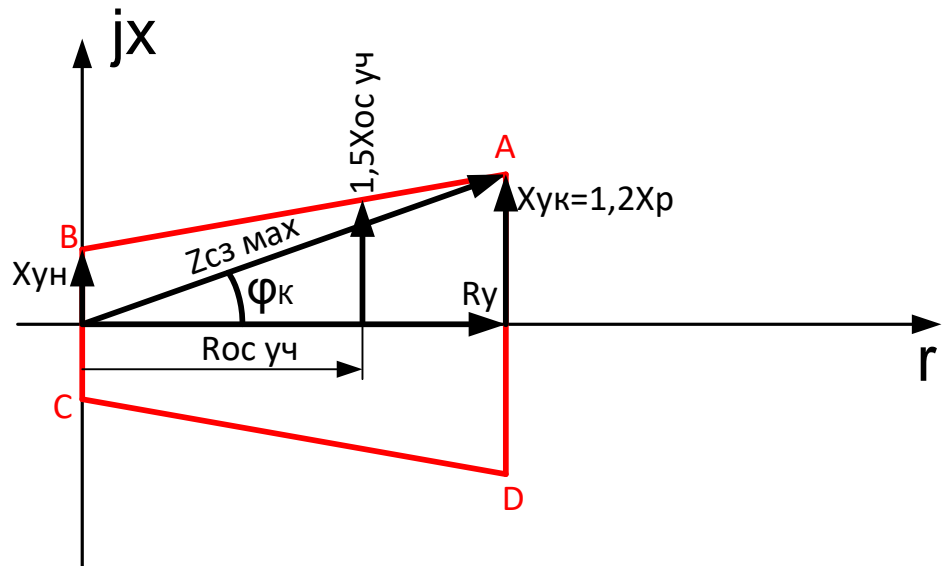


Рис. 6

2.5.2.2. Выбор уставки $X_{ук}$ выполняется по условию обеспечения работы четвертой ступени по реактивной составляющей при КЗ в конце основной зоны с $K_{ч}=1,5$ и в конце зоны резервирования с $K_{чр}=1,2$

$$\begin{aligned} X_{ук} &\geq 1,5X_{ос \text{ уч}}; \\ X_{ук} &\geq 1,2X_{р}. \end{aligned} \quad (2.28)$$

Здесь $X_{ос \text{ уч}}$ и $X_{р}$ – реактивные сопротивления сети от места установки защиты до конца основного участка сети и конца зоны резервирования (конца предыдущего участка).

2.5.2.3. Выбор уставки $X_{ун}$ выполняется по характеристике рис. 6 при условии наличия в конце характеристике точки с координатами $R_{у}$, $X_{ук}$ и средней точки, соответствующей активному сопротивлению основного участка защиты $R_{ос \text{ уч}}$ при реактивном сопротивлении в этой точке, равном реактивному сопротивлению основного участка $X_{ос \text{ уч}}$ с коэффициентом $1,5$. Указанное значение коэффициента вытекает из необходимости отключения по характеристике металлического КЗ в конце основного участка защиты с коэффициентом чувствительности $K_{ч}=1,5$.

$$X_{ун} \geq (1,5X_{ос \text{ уч}} R_{у} - X_{ук} R_{ос \text{ уч}}) / (R_{у} - R_{ос \text{ уч}}). \quad (2.29)$$

Также следует проверить значение $X_{ун}$ по условию отключения металлического КЗ в конце участка резервирования с $K_{чр}=1,2$:

$$X_{ун} \geq (1,2X_{р} R_{у} - X_{ук} R_{р}) / (R_{у} - R_{р}). \quad (2.30)$$

2.5.2.4. Согласование по чувствительности четвертой ступени выполняется при ее максимальном сопротивлении срабатывания $Z_{сз \text{ max}}$ (рис. 6)

$$Z_{сз \text{ max}} = \sqrt{R_{у}^2 + X_{ук}^2} \quad (2.31)$$

Для согласования четвертой ступени по чувствительности с предыдущими защитами находят точку сети, сопротивление при КЗ в которой соответствует порогу срабатывания ступени предыдущей дистанционной защиты или ток трехфазного КЗ в которой, соответствует

току срабатывания ступени предыдущей токовой защиты. В качестве ступени предыдущей защиты (с которой выполняется согласование) принимают ступень, время действия которой, меньше времени действия согласуемой ступени. Обычно для четвертой ступени такой является третья ступень предыдущей защиты. Для выполнения условия согласования сопротивление Z от точки установки рассчитываемой ступени ДЗ до найденной точки сети должно соответствовать требованию

$$Z_{сз \max} \leq 0,85Z. \quad (2.32)$$

Сопротивление Z принимается как модуль сопротивления по выражению 2.17.

2.5.2.5. Для отстройки четвертой ступени ДЗ от параметров нагрузки проверяют условие

$$Z_{сз \max} \leq Z_n. \quad (2.33)$$

Сопротивление нагрузки Z_n определяется в соответствии с выражением 2.19.

2.5.2.6. Время срабатывания третьей ступени T_4 выбирается по условиям отстройки от времени действия третьих ступеней предыдущих защит $T_{3пр}$

$$T_4 = T_{3пр} + \Delta T, \quad (2.34)$$

2.5.2.7. Пуск по току для четвертой ступени с характеристикой в виде трапеции, ориентированной на работу через повышенное переходное сопротивление, вводить не следует.

2.6. Выбор уставки по току срабатывания ступеней ДЗ при их переводе в МТЗ в результате неисправности цепей напряжения

Работа дистанционной защиты при потере или неисправности цепей напряжения невозможна. В устройстве выявление неисправности цепей напряжения осуществляется специальной функцией блокировки при неисправности цепей напряжения (БНН), которая автоматически переводит дистанционные ступени в максимально-токовые с отдельными уставками.

Для совпадения зон срабатывания ступеней ДЗ и МТЗ, в которые переводятся ступени ДЗ, уставку по току МТЗ следует выбирать равной расчетному току $I_p \text{ кз}$ при КЗ в конце зоны действия соответствующей ступени дистанционной защиты. Ток срабатывания 1 (2, 3, 4) ступени ДЗ после перевода в МТЗ $I_{сз1(2,3,4)}$

$$I_{сз1(2,3,4)} = I_p \text{ кз} , \quad (2.35)$$

где $I_{сз1(2,3,4)}$ - ток КЗ в конце зоны действия 1(2,3,4) ступени ДЗ.

Значение тока $I_p \text{ кз}$ выбирается в соответствии с выражениями 2.5-2.7.

Время срабатывания ступени ДЗ после перевода в МТЗ можно оставить без изменения.

Альтернативой предложенной методике выбора уставок ступеней ДЗ после их перевода в МТЗ при БНН может быть полный расчет уставок ступеней как МТЗ.

После такого перевода сеть будет защищаться менее эффективной по сравнению с ДЗ токовой защитой. Это может вызвать снижение чувствительности, но другого выхода при потере цепей напряжения просто не существует.

3. Уставки функции блокировки при неисправности цепей напряжения БНН

Функция БНН может работать по трем алгоритмам, а именно:

- контроль цепей напряжения по сравнению напряжений шин и фидера;
- контроль по соотношению тока и напряжения;
- контроль с внешним пуском по назначенному дискретному входу.

Уставку по напряжению небаланса в алгоритме по сравнению напряжений рекомендуется принимать **10 В**.

Другие алгоритмы ввода уставок не требуют.

4. Выбор уставок защит по напряжению

Каждая из ступеней защиты по напряжению (ЗН) в устройстве может назначаться как защита минимального напряжения (ЗМН) или защита максимального напряжения (от повышения напряжения – ЗПН). Защиту минимального напряжения в контактных сетях обычно называют потенциальной защитой. Ее используют в качестве резервной защиты на постах секционирования, выполненной на отличных от основной (дистанционной или токовой) защиты принципах. На фидерах контактной сети, отходящих от тяговых подстанций, потенциальную защиту не используют.

4.1. Потенциальная защита (ЗМН)

4.1.1. Уставку срабатывания $U_{у змн}$ выбирают по условию отстройки от минимального напряжения в месте установки защиты в нормальном режиме

$$U_{у змн} = U_{н min} / K_{в} K_{з}, \quad (4.1)$$

где $U_{н min}$ — наименьшее значение напряжения контактной сети в том же месте в нормальном режиме (21000 В).

Коэффициент запаса $K_{з}$ равен от 1,1 до 1,3, коэффициент возврата $K_{в} = 1,05$.

Для минимального напряжения в нормальном режиме, равного 21000 В, и указанных значений коэффициентов возврата и запаса для защит постов секционирования принимают

$$U_{у змн} = 16600 \text{ В.}$$

4.1.2. Коэффициент чувствительности потенциальной защиты (ЗМН) определяют по напряжению $U_{к max}$ в месте установки защиты в максимальном режиме источника ($U_{д} = 28900 \text{ В}$) при токе КЗ $I_{к}$ в конце зоны защиты с учетом параметров места повреждения (сопротивления дуги или переходного сопротивления и сопротивления троса защитного заземления)

$$K_{ч} = U_{у змн} / U_{к max} \quad (4.2)$$

$$U_{к max} = I_{к} Z_{кз max} \quad (4.3)$$

Сопротивление в месте повреждения для расчета $I_{к}$ и $Z_{кз max}$ принимается в соответствии с рекомендациями пункта 2.4.2.3 или приложения 1.

4.1.3. Уставку по времени потенциальной защиты (ЗМН) выбирают на ступень селективности больше уставки второй ступени дистанционной защиты своего присоединения.

Приложение 1. Учет параметров места повреждения

Место повреждения характеризуется тремя параметрами: сопротивлением троса группового заземления $Z_{ТГЗ}$, сопротивлением дуги R_d и переходным сопротивлением «контактная сеть-земля» R_3 . При перекрытии гирлянды изоляторов или стержневого изолятора по загрязненной поверхности (до 70% всех коротких замыканий) образуется электрическая дуга, падение напряжения в которой от величины тока (при токах свыше 500 А) практически не зависит.

При падении провода контактной сети на землю или шпальную решетку место повреждения характеризуется переходным сопротивлением R_3 .

В расчетах учитывается либо сопротивление дуги R_d (тогда принимают $R_3 = 0$), либо переходное сопротивление R_3 (тогда принимают $R_d = 0$).

П.1.1. Погонное сопротивление троса группового заземления принимают по таблице П.1. Сопротивление троса группового заземления вычисляют по формуле:

$$Z_{ТГЗ} = z_{ТГЗ} \ell_{ТГЗ}, \quad (\text{П.1})$$

где $z_{ТГЗ}$ — индуктивно развязанное погонное сопротивление троса группового заземления, Ом/км;

$\ell_{ТГЗ}$ — длина троса группового заземления от заземляющего спуска до наиболее удаленного конца троса, км.

Конструктивная длина троса группового заземления регламентируется Инструкцией по заземлению устройств электроснабжения на электрифицированных железных дорогах. В качестве расчетной длины троса группового заземления $\ell = \ell_{ТГЗз}$ принимают расстояние от точки присоединения заземляющего спуска до наиболее удаленного его конца. При этом расчетная длина $\ell_{ТГЗз}$ при Т-образной схеме подключения равна половине конструктивной длины всего троса. Поэтому в схемах Г- и Т-образного способа подвешивания троса группового заземления в тяговой сети 27,5 кВ принимают $\ell_{ТГЗ} = 0,2$ км.

Таблица П.1

Марка провода	Активная r и индуктивная x составляющие и модуль z индуктивно развязанного сопротивления провода, Ом/км		
	r	x	z
АС 70/11	0,549	0,466	0,720
АС 95/16	0,450	0,439	0,629
АС 120/27	0,253	0,416	0,487
АС 150/34	0,201	0,408	0,455
АС 185/43, А185	0,158	0,400	0,430
А95	0,308	0,428	0,527
А120	0,246	0,421	0,488
А150	0,194	0,414	0,457
ПБСМ 70	0,794	0,550	0,966
ПБСМ 95	0,724	0,561	0,916
ПБСА 50/70	0,690	0,574	0,898

П.1.2 Сопротивление дуги R_d вычисляют по формуле, Ом:

$$R_{д} = \frac{1050L_{у}n_{из}b}{I_{к}}, \quad (П.2)$$

где $L_{у}$ — длина пути утечки по поверхности одного изолятора, м;

$n_{из}$ — число изоляторов в гирлянде;

b — коэффициент, учитывающий возможность развития дуги по наикратчайшему пути в воздухе;

$I_{к}$ — ток короткого замыкания, протекающий в дуге, А.

Длину пути утечки принимают в соответствии с типом используемых в контактной сети изоляторов на основании справочных данных. При их отсутствии допускается принимать эту длину равной для тарельчатых изоляторов от 0,26 до 0,37 м, а для тарельчатых изоляторов для загрязненных районов от 0,45 до 0,48 м. Коэффициент b принимают равным от 0,8 до 0,9 для защит, действующих без выдержки времени. Для защит с выдержкой времени 0,5 с и более значение коэффициента b следует увеличить от 1,5 до 2 раз за счет эффекта растягивания дуги ветром, конвекции воздуха и электродинамических усилий.

П.1.3. Величину переходного сопротивления «контактная сеть-земля» при падении провода на землю или шпальную решетку принимают равной от 3,5 до 4,5 Ом. В эту величину входит и сопротивление дуги.

П.1.4 Параметры места повреждения рекомендуется учитывать при анализе нештатных ситуаций, областей изменения фазовых соотношений (углов) параметров короткого замыкания и в других специальных случаях.

При вычислении уставок токовых и дистанционных защит первой и второй ступени (для трехступенчатых защит) допускается принимать $R_{д} = 0$, $R_{з} = 0$, $Z_{ТГЗ} = 0$. Возникающая погрешность компенсируется при этом коэффициентом чувствительности.

Для дистанционных защит третьей ступени и потенциальных защит учет параметров места повреждения обязателен. В соответствии с Техническим указанием № П-4/96 ЦЭТ-2 от 11.07.96 г. «О защите контактной сети от токов короткого замыкания на участках переменного тока 27,5 кВ» уставка срабатывания резервных защит с зоной действия до смежной подстанции должна выбираться с учетом внесения в цепь короткого замыкания активного сопротивления дуги (троса группового заземления) с сопротивлением от 5 до 8 Ом. При необходимости в этом случае угол отстройки от нагрузки $\varphi_{н}$ угловой характеристики дистанционной защиты (рис. 5) может быть снижен до значения от 40 до 42°.

Приложение 2. Определение сопротивлений участков контактной сети

П.2.1. Сопротивление тяговой сети зависит от марки и числа проводов контактной сети, их взаимного расположения, расстояния до проводов соседних путей и до рельсов, числа путей.

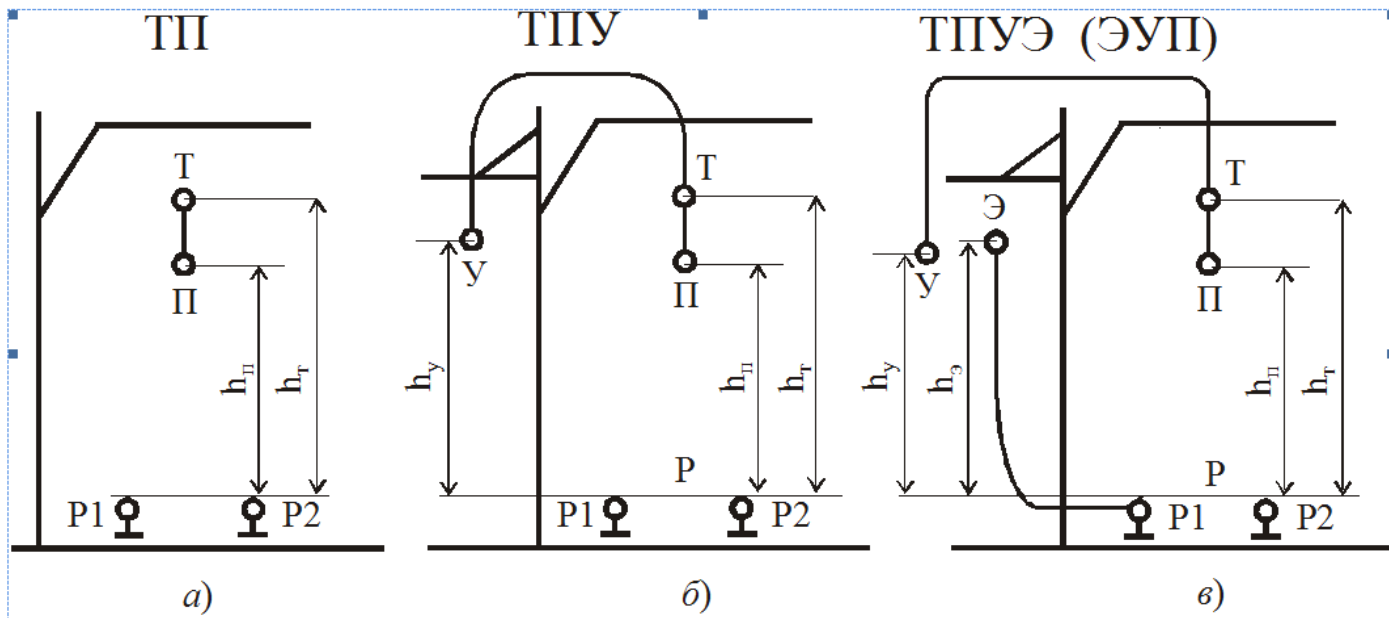


Рис. П.2. Расположение проводов контактной сети

Ниже приведены данные для следующих видов тяговой сети:

ТП (рисунок П.2, а) — несущий трос (Т), контактный провод (П), рельсовый путь ($h_r = 7,1$ м, $h_п = 6$ м);

ТПУ (рисунок П.2, б) — то же с усиливающим проводом ($h_y = 8$ м);

ТПУЭ (рисунок П.2, в) — несущий трос, контактный провод, усиливающий провод У, экранирующий Э (обратный) провод, подключенный параллельно рельсам ($h_r = 7,1$ м, $h_п = 6$ м, $h_э = 8,5$ м, $h_y = 8$ м). Этот вид тяговой сети называют также системой ЭУП (система с экранирующим и усиливающим проводами).

Среднее расстояние на прямых участках пути от усиливающего провода У до оси пути (по горизонтали) — 5 м, от обратного Э (экранирующего Э) до оси пути — 4.1 м.

Число рельсовых путей обозначено буквой m . Число путей, по контактной сети которых протекает ток короткого замыкания, обозначено n . Если уточняется, что это число относится к j -му участку, то вводится обозначение n_j . В расчетных схемах контактная сеть части путей может быть отключена, поэтому $n \leq m$.

П.2.2. Для вычисления результирующих сопротивлений схемы замещения тяговой сети используются справочные значения погонных сопротивлений Z_{mn} , $Z_{-n,1}$, $Z'_{p,m}$, Ом/км:

Z_{mn} — сопротивление 1 км тяговой сети m -путного участка, на котором контактная сеть n путей включена в работу при условии, что токи в контактной сети всех n путей одинаковы по величине и направлению (сопротивление тяговой сети m -путного участка, на котором контактная сеть n путей соединена параллельно);

$Z_{-1,n}$ — сопротивление 1 км тяговой сети одного пути многопутного участка, на котором контактная сеть на n путях включена в работу, при условии, что ток в контактной сети этого пути равен по величине сумме токов всех остальных $n-1$ путей, но имеет по отношению к ним противоположное направление;

$Z'_{p,m}$ — сопротивление 1 км рельсовой цепи m -путного участка с учетом взаимного индуктивного влияния контактных сетей всех путей друг на друга.

Для однопутного участка $z_{mn} = z_{11}$, все остальные сопротивления не учитываются. Для двухпутного участка, на котором контактная сеть одного пути отключена, $z_{mn} = z_{21}$. Для двухпутного участка при параллельном соединении контактных сетей обоих путей $z_{mn} = z_{22}$. Если на двухпутном участке токи в контактных сетях обоих путей одинаковы, но имеют противоположное направление, то $z_{-1,n} = z_{-1,2}$ и т. д.

В таблице П2.1 приведены усредненные значения этих сопротивлений для следующих условий: несущий трос марок ПБСМ70, ПБСМ95 или ПБСА50/70; контактный провод марок МФ100, МФО100, НлФ100, НлОФ100, БрФ100 или БрФО100; усиливающий и обратный (экранирующий) провода марки А185; рельсы марки Р65.

Для однопутных и двухпутных участков уточненные значения этих сопротивлений приведены в таблицах П2.2, П2.3 и П2.4 для номеров следующих контактных подвесок:

- 1 — ПБСМ70+МФ100;
- 2 — ПБСМ95+МФ100 и ПБСА50/70+МФ100;
- 3 — МСН70+МФ100;
- 4 — МСН95+МФ100;
- 5 — МСН120+МФ100;
- 6 — М95+МФ100.

Таблица П2.1

Шифр сопротивления	Значения погонных сопротивлений тяговой сети ТП, Ом/км, для контактной сети вида		
	ТП	ТПУ	ТПУЭ
r_{11}	0,224	0,134	0,125
X_{11}	0,464	0,361	0,272
Z_{11}	0,515	0,385	0,300
r_{21}	0,204	0,114	0,109
X_{21}	0,423	0,320	0,229
Z_{21}	0,470	0,339	0,254
r_{22}	0,117	0,072	0,067
X_{22}	0,278	0,222	0,151
Z_{22}	0,301	0,234	0,165
r_{31}	0,196	0,106	0,101
X_{31}	0,400	0,299	0,207
Z_{31}	0,446	0,317	0,230
r_{32}	0,109	0,064	0,059
X_{32}	0,255	0,202	0,129
Z_{32}	0,278	0,212	0,142
r_{33}	0,079	0,047	0,042
X_{33}	0,195	0,165	0,095
Z_{33}	0,211	0,172	0,104
$r_{-1,2}$	0,175	0,085	0,085
$X_{-1,2}$	0,287	0,204	0,158
$Z_{-1,2}$	0,336	0,221	0,179
$r_{-1,3}$	0,175	0,085	0,085
$X_{-1,3}$	0,298	0,198	0,168
$Z_{-1,3}$	0,346	0,215	0,188
$r'_{p,2}$	0,029	0,029	0,024
$X'_{p,2}$	0,136	0,116	0,071
$Z'_{p,2}$	0,139	0,119	0,075
$r'_{p,3}$	0,021	0,021	0,016
$X'_{p,3}$	0,102	0,101	0,039
$Z'_{p,3}$	0,104	0,103	0,042

Таблица П2.2

Шифр сопротивления	Значения погонных сопротивлений тяговой сети ТП, Ом/км, для номера контактной подвески					
	1	2	3	4	5	6
r_{11}	0,212	0,206	0,196	0,180	0,166	0,141
x_{11}	0,469	0,467	0,441	0,431	0,424	0,421
z_{11}	0,515	0,510	0,483	0,467	0,455	0,444
r_{21}	0,192	0,186	0,176	0,160	0,146	0,121
x_{21}	0,435	0,433	0,407	0,397	0,390	0,387
z_{21}	0,475	0,471	0,443	0,428	0,416	0,405
r_{22}	0,111	0,108	0,103	0,095	0,088	0,075
x_{22}	0,286	0,285	0,272	0,267	0,263	0,263
z_{22}	0,307	0,315	0,291	0,283	0,277	0,273
$r_{-1,2}$	0,163	0,157	0,147	0,131	0,117	0,092
$x_{-1,2}$	0,292	0,290	0,264	0,254	0,254	0,251
$z_{-1,2}$	0,334	0,330	0,302	0,286	0,280	0,267
$r'_{p,2}$	0,029					
$x'_{p,2}$	0,136					
$z'_{p,2}$	0,139					

Таблица П2.3

Шифр сопротивления	Значения погонных сопротивлений тяговой сети ТПУ с усиливающим проводом марки А185, Ом/км, для номера контактной подвески					
	1	2	3	4	5	6
r_{11}	0,134	0,132	0,130	0,124	0,118	0,107
x_{11}	0,356	0,355	0,344	0,339	0,336	0,334
z_{11}	0,380	0,379	0,368	0,361	0,356	0,351
r_{21}	0,114	0,112	0,110	0,104	0,098	0,087
x_{21}	0,320	0,319	0,308	0,303	0,300	0,298
z_{21}	0,340	0,338	0,327	0,320	0,316	0,310
r_{22}	0,072	0,071	0,070	0,065	0,064	0,058
x_{22}	0,218	0,217	0,212	0,210	0,208	0,207
z_{22}	0,230	0,228	0,223	0,220	0,218	0,215
$r_{-1,2}$	0,085	0,083	0,081	0,075	0,069	0,058
$x_{-1,2}$	0,204	0,203	0,192	0,187	0,184	0,182
$z_{-1,2}$	0,221	0,219	0,208	0,201	0,197	0,191
$r'_{p,2}$	0,029					
$x'_{p,2}$	0,116					
$z'_{p,2}$	0,120					

Таблица П.2.4

Шифр сопротивления	Значения погонных сопротивлений тяговой сети ТПУЭ (ЭУП) с усиливающим и экранирующим проводами марки А185, ом/км, для номера контактной подвески					
	1	2	3	4	5	6
r_{11}	0,125	0,123	0,121	0,115	0,109	0,098
x_{11}	0,271	0,270	0,259	0,254	0,251	0,249
z_{11}	0,298	0,297	0,282	0,279	0,274	0,268
r_{21}	0,109	0,107	0,105	0,099	0,093	0,082
x_{21}	0,250	0,249	0,238	0,233	0,230	0,228
z_{21}	0,273	0,271	0,260	0,253	0,248	0,242
r_{22}	0,067	0,066	0,065	0,060	0,059	0,053
x_{22}	0,160	0,160	0,155	0,153	0,151	0,150
z_{22}	0,173	0,173	0,168	0,164	0,162	0,159
$r_{-1,2}$	0,085	0,083	0,081	0,075	0,069	0,058
$x_{-1,2}$	0,223	0,222	0,211	0,206	0,203	0,201
$z_{-1,2}$	0,239	0,237	0,226	0,219	0,214	0,209
$r'_{p,2}$	0,024					
$x'_{p,2}$	0,071					
$z'_{p,2}$	0,075					

Приложение 3. Определение параметров схемы замещения

Типовые схемы питания контактной сети в межстанционной зоне приведены на рис. 1 (а — раздельное, б — узловое, в — параллельное питание). На многопутных участках раздельное питание применяют, как правило, при выводе поста секционирования ПС в ремонт. Для выбора уставок защиты от коротких замыканий и анализа возможных или наступивших нештатных ситуаций в виде отказа защит используются расчетные схемы при фиксированном расположении места повреждения возле узловых точек. В расчетных схемах указаны место короткого замыкания и отличия схемы питания от нормальной. Расчетные схемы приведены в таблице ПЗ.1, в которой для каждой из них указан выключатель, для которого рассчитываются параметры короткого замыкания. Для каждой схемы указан шифр выключателя, соответствующий рисунку 1, и ее назначение (для расчета защит: О — основная, Р — резервная, Д — дополнительная).

Для вычисления параметров короткого замыкания необходимо вычислить сопротивления Z_A , Z_B , Z_{AB} результирующей схемы замещения (рисунок ПЗ.1)

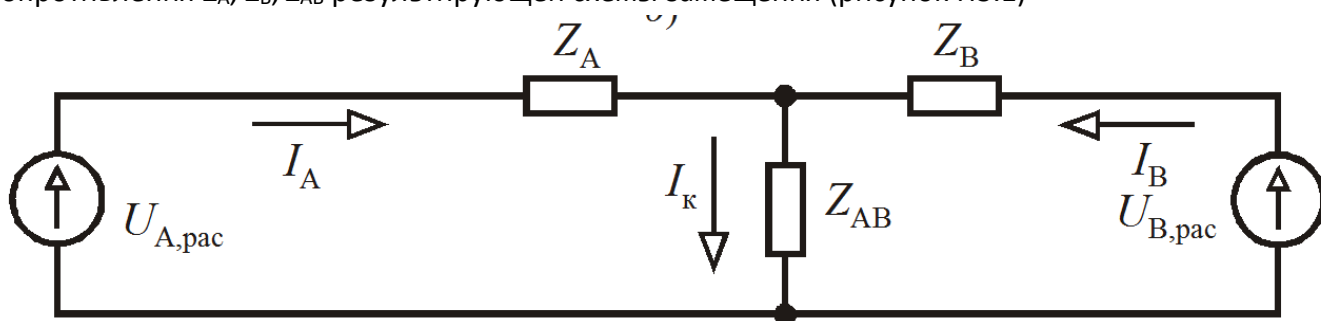


Рис.ПЗ.1

$$Z_A = Z_{пА} + Z_{тсА},$$

$$Z_B = Z_{пВ} + Z_{тсВ}, \quad (ПЗ.1)$$

$$Z_{AB} = Z_{тсAB} + R_d + Z_{тгз}.$$

Здесь $Z_{пА}$, $Z_{пВ}$ — сопротивления тяговых подстанций А и В, Ом, определяемое согласно выражению:

$$Z_{п} = X_{п} = 2U_H^2 \left[\frac{1}{Sc} + \frac{u_K}{100 S_T n_T} \right], \quad (ПЗ.2)$$

где $X_{п}$ — индуктивная составляющая сопротивления подстанции. Ом;

U_H — номинальное напряжение на выводах тяговой обмотки трансформатора, кВ;

Sc — мощность короткого замыкания на вводе в подстанцию, МВА;

S_T — номинальная мощность трансформатора, МВ А;

n_T — число включенных в работу трансформаторов;

u_K — напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

$Z_{тсА}$, $Z_{тсВ}$, $Z_{тсAB}$ — эквивалентные сопротивления тяговой сети, формулы для вычисления которых, приведены в таблице ПЗ.1, Ом;

$Z_{ТГЗ}$ — индуктивно развязанное сопротивление троса группового заземления, Ом (пункт П1.1).

R_d — сопротивление дуги, Ом (пункт П1.2);

В необходимых случаях вместо сопротивления дуги R_d может использоваться сопротивление R_3 — переходное сопротивление провод — земля в месте падения провода на верхнее строение пути, Ом (пункт П1.3);

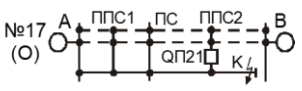
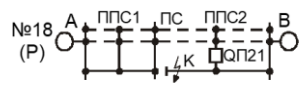


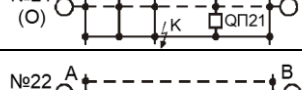
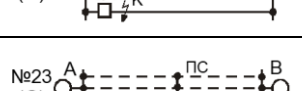
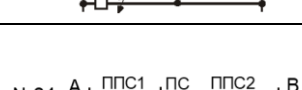
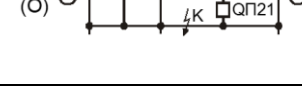
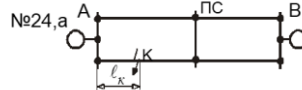

В этой же таблице приведены формулы для вычисления параметров схемы замещения тяговой сети $Z_{Тс,А}$, $Z_{Тс,В}$, $Z_{Тс,АВ}$.

В таблице П3.1 обозначение n_j относится к числу путей на j -м участке ($j = 1, 2, 3, 4$), на которых контактная сеть включена в работу. Например, $n_2 = 3$ означает, что на участке 2 включена в работу контактная сеть на трех путях.

Таблица ПЗ.1

Расчетная схема	Ток выключателя	Значения составляющих выражений (ПЗ.1)		
		$Z_{ТсА}$	$Z_{ТсВ}$	$Z_{ТсАВ}$
1	2	3	4	5
№1 (О) 	I_A	$Z_{m1} \ell_{AB}$	∞	0
№2 (О) 	I_A/n	$Z_{mn} \ell_{AB}$	0	0
№3 (О) 	I_B	0	$Z_{m1} \ell_{AB}$	0
№4 (О) (Д) 	I_K	$z'_{p,m} \ell_{АП}$	$\frac{z_{-1,n}}{n_1 - 1} \ell_{АП} + z_{mn} \ell_{ПВ}$	$Z_{-1,n} \ell_{АП}$
№5 (О) (Д) 	I_A	$Z_{m1} \ell_{АП}$	$Z_{mn} \ell_{ПВ}$	0
№6 (P) 	I_A/n_1	$Z_{mn} \ell_{АП}$	$Z_{mn} \ell_{ПВ}$	0
№7 (О) 	I_B	0	$Z_{m1} \ell_{АП} + Z_{mn} \ell_{ПВ}$	0
№8 (P) 	I_A/n_1	$Z_{mn} \ell_{АП} + Z_{mn} \ell_{ПВ}$	0	0
№9 (P) 	I_A/n_1	$Z_{mn} \ell_{АП} + z'_{p,m} \ell_{ПВ}$	$\frac{z_{-1,n}}{n_2 - 1} \ell_{ПВ}$	$Z_{-1,n} \ell_{ПВ}$
№10 (P) 	I_K	$\frac{z_{-1,n}}{n_1 - 1} \ell_{АП}$	$z'_{p,m} \ell_{АП} + Z_{mn} \ell_{ПВ}$	$Z_{-1,n} \ell_{АП}$
№11 (О) (P) 	I_A/n_2	$Z_{mn} \ell_{АП} + Z_{mn} \ell_{ПВ}$	0	0
№12 (О) (Д) 	I_K	$Z_{mn} \ell_{АП} + z'_{p,m} \ell_{ПВ}$	$\frac{z_{-1,n}}{n_2 - 1} \ell_{ПВ}$	$Z_{-1,n} \ell_{ПВ}$
№13 (О) (Д) 	I_K	$Z_{mn} \ell_{АП} + Z_{m1} \ell_{ПВ}$	∞	0
№14 (Д) 	I_B	$Z_{mn} \ell_{АП}$	$Z_{m1} \ell_{ПВ}$	0
№15 (Д) 	$I_K - I_B/n_2$	$Z_{mn} \ell_{АП}$	$Z_{mn} \ell_{ПВ}$	0
№16 (О) 	I_A/n_3	$Z_{mn} \ell_1 + Z_{mn} \ell_2 + Z_{mn} \ell_3 + z'_{p,m} \ell_4$	$\frac{z_{-1,n}}{n_4 - 1} \ell_4$	$Z_{-1,n} \ell_4$

Продолжение таблицы ПЗ.1

1	2	3	4	5
№17 (O) 	$I_K -$ $-I_A/n_3$	$Z_{mn}l_1 + Z_{mn}l_2 +$ $+ Z_{mn}l_3 + z'_{p,m} l_4$	$\frac{z_{-1,n}}{n_4 - 1} l_4$	$z_{-1,n} l_{ПВ}$
№18 (P) 	$I_K -$ $-I_B/n_4$	$Z_{mn}l_1 + Z_{mn}l_2 + +$ $\frac{z_{-1,n}}{n_3 - 1} l_3$	$Z_{mn}l_4 + z'_{p,m} l_3$	$z_{-1,n} l_3$
№19 (O) 	$I_K -$ $-I_A/n_3$	$Z_{mn}l_1 + Z_{mn}l_2 +$ $+ Z_{mn}l_3 + z_{m1} l_4$	∞	0
№20 (O) 	0	$Z_{mn}l_1 + Z_{mn}l_2 +$ $+ Z_{mn}l_3 + z_{mn} l_4$	0	0
№21 (O) 	0	$Z_{mn}l_1 + Z_{mn}l_2$	$Z_{mn}l_3 + z_{mn} l_4$	0
№22 (O) 	$I_K -$ $-I_B/n$	0	$Z_{mn} l_{AB}$	0
№23 (O) 	$I_K -$ $-I_B/n_1$	0	$Z_{mn}l_1 + Z_{mn}l_2$	0
№24 (O) 	$—$	$Z_{mn}l_1 + Z_{mn}l_2 +$ $+ Z_{mn}l'_3$	$Z_{mn}l''_3 + z_{mn} l_4$	$\frac{n-1}{n} z_{-1,n} \times$ $\times \frac{l'_3 l''_3}{l'_3 + l'_3}$
№24,а 	$—$	$Z_{22} l_K$	$Z_{22} (l_{АП} + l_{ПВ} - l_K)$	$z_{-1,2} l_K \times$ $\times \frac{l_{АП} - l_K}{2l_1}$
№24,б 	$—$	$Z_{22} l_K$	$Z_{22} (l_{АП} + l_{ПВ} - l_K)$	$z_{-1,2} \times$ $\times \frac{l_K - l_{АП}}{2l_2} \times$ $\times \frac{l_{АП} + l_{ПВ} - l_K}{2l_2}$

Литература

1.ОАО РЖД. Департамент электрификации и электроснабжения. Руководящие указания по релейной защите систем тягового электроснабжения.

2.Техническое указание № П-4/96 ЦЭТ-2 от 11.07.96 г. «О защите контактной сети от токов короткого замыкания на участках переменного тока 27,5 кВ».

3. С. А. Гондуров, Е. В. Илюхин, М. Г. Пирогов, А. Л. Соловьёв. Ступенчатые дистанционные защиты линий электропередачи 35–220 кВ. Методика расчёта. ПЕТЕРБУРГСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ (ФГАОУ ДПО «ПЭИПК»). КАФЕДРА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ, СЕТЕЙ И СИСТЕМ. Санкт-Петербург, 2013.

4.Рекомендации по выбору уставок дистанционных защит от всех видов КЗ и токовых защит терминала РС830-ДЗ «РЗА СИСТЕМЗ» при использовании их в качестве основной/резервной защиты от всех видов КЗ на ВЛ 110-150кВ. «РЗА СИСТЕМЗ», 2016.