

УКАЗАНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ

Дата:	10 июля 2007 г.
Версия исполнения:	J (P342/3/4) K (P345)
Версия программного обеспечения:	0320
Схемы соединений:	10P342xx (xx = 01 - 17) 10P343xx (xx = 01 - 19) 10P344xx (xx = 01 - 12) 10P345xx (xx = 01 - 07)

ОГЛАВЛЕНИЕ**(AP) 6**

1.	ВСТУПЛЕНИЕ	7
1.1	Защита генераторов	7
2.	ПРИМЕНЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАЩИТНЫХ ФУНКЦИЙ	9
2.1	Чередование фаз	9
2.1.1	Описание	9
2.1.1.1	Случай 1 – Фазоинвертирующие переключатели воздействуют на все ТТ и ТН	9
2.1.1.2	Случай 2 – Фазоинвертирующие переключатели воздействуют только на ТТ1	10
2.2	Дифференциальная защита генератора (87)	11
2.2.1	Установка параметров для дифференциальной защиты с торможением	11
2.2.2	Установка параметров для дифференциальной защиты с высоким импедансом	12
2.2.3	Защита от межвитковых замыканий (расщепленная фаза)	15
2.2.3.1	Дифференциальная межвитковая защита	15
2.2.3.2	Применение дифференциальной защиты с торможением для межвитковой защиты	16
2.2.3.3	Применение максимальной токовой защиты для межвитковой защиты	18
2.2.3.4	Межвитковая защита при помощи измерения напряжения нулевой последовательности	18
2.3	Защита максимальной мощности обратной последовательности (32NP)	21
2.3.1	Установка параметров для защиты максимальной мощности обратной последовательности	21
2.4	Максимальная токовая защита от междуфазных замыканий (50/51)	21
2.4.1	Функция удержания таймера	21
2.4.2	Установка параметров для максимальной токовой защиты (МТЗ)	22
2.5	Максимальная токовая защита (46OC) при обратной последовательности (NPS)	22
2.5.1	Установка параметров для максимальной токовой защиты обратной последовательности	23
2.5.2	Задание направленности элемента защиты максимального тока обратной последовательности	23
2.6	Резервная защита системы (51V/21)	24
2.6.1	Максимальная токовая защита, зависящая от напряжения (с пуском от напряжения)	25
2.6.1.1	Установка параметров для МТЗ с управляемым напряжением	25
2.6.1.2	Преобразование вектора напряжения для использования с трансформаторами с подключением треугольник-звезда	27
2.6.1.3	Установка параметров для МТЗ с ограниченным напряжением	28
2.6.2	Защита по малому импедансу	29
2.6.2.1	Установка параметров для функции минимального импеданса	29
2.7	Защита минимального напряжения (27)	30
2.7.1	Установка параметров для защиты минимального напряжения	30
2.8	Защита максимального напряжения (59)	31
2.8.1	Установка параметров для защиты минимального напряжения	31
2.9	Защита максимального напряжения обратной последовательности (47)	32

MiCOM P342, P343, P344, P345	(AP) 6-2
2.9.1 Установка параметров	32
2.10 Защита минимальной частоты (81U)	33
2.10.1 Установка параметров для защиты минимальной частоты	33
2.11 Защита максимальной частоты (81O)	34
2.11.1 Установка параметров для защиты максимальной частоты	35
2.12 Защита генератора от аномальной частоты турбины (81AB)	35
2.12.1 Установка параметров	36
2.13 Защита от потери поля (40)	36
2.13.1 Установка параметров для защиты от потери поля	37
2.13.1.1 Первый элемент полного сопротивления	37
2.13.1.2 Второй элемент полного сопротивления	38
2.13.1.3 Элемент по коэффициенту мощности	38
2.14 Тепловая защита обратной последовательности (46T)	38
2.14.1 Установка параметров для тепловой защиты обратной последовательности	40
2.15 Обратная мощность/максимальная мощность/малая выдаваемая мощность (32R/32O/32L)	41
2.15.1 Функция защиты малой выдаваемой мощности	41
2.15.1.1 Установка параметров для защиты малой выдаваемой мощности	42
2.15.2 Функция защиты обратной мощности	42
2.15.2.1 Установка параметров для защиты обратной мощности	43
2.15.3 Защита максимальной мощности	44
2.15.3.1 Установка параметров для защиты максимальной мощности	44
2.16 Защита статора от замыканий на землю (50N/51N)	44
2.16.1 Установка параметров для защиты статора от коротких замыкания на землю	45
2.17 Функция защиты от остаточного избыточного напряжения / напряжения смещения нейтрали (59N)	46
2.17.1 Руководство по вводу уставок для функции защиты от остаточного избыточного напряжения и напряжения смещения нейтрали	47
2.18 Чувствительная защита от замыканий на землю (50N/51N/67N/67W)	47
2.18.1 Руководство по вводу уставок чувствительной защиты от замыканий на землю	48
2.19 Ограниченная защита от замыканий на землю (64)	49
2.19.1.1 Руководство по вводу уставок дифференциальной защиты от замыканий на землю по методу торможения	49
2.19.1.2 Руководство по вводу уставок защиты от замыканий на землю с использованием метода большого полного сопротивления	49
2.20 100% защита статора от замыканий на землю (метод 3й гармоники) (27TN/59TN)	53
2.20.1 Руководство по вводу уставок 100% защиты статора от замыканий на землю	55
2.21 100% защита статора от замыканий на землю (метод внесения низкой частоты) (64S)	55
2.21.1 Руководство по вводу уставок 100% защиты статора от замыканий на землю	57
2.21.2 Расчет уставок для коэффициента R.	59
2.21.2.1 Генератор, заземленный через заземляющий трансформатор	60
2.21.2.2 Генератор, заземленный через резистор первичной обмотки в нейтраль "звезды"	61

MiCOM P342, P343, P344, P345

(AP) 6-3

2.21.2.3	Задание уставки на примере генератора, заземленного через резистор первичной обмотки в нейтраль "звезды" генератора	62
2.21.2.4	Задание уставки на примере генератора, заземленного через заземляющий трансформатор и резистор вторичной обмотки на выводах генератора	63
2.21.2.5	Задание уставки на примере генератора, заземленного через заземляющий трансформатор и резистор вторичной обмотки в нейтраль "звезды" генератора	64
2.21.3	Методы определения последовательных уставок для 64S	65
2.21.3.1	Расчет	65
2.22	Защита генератора от перевозбуждения (24)	65
2.22.1	Руководство по вводу уставок характеристики многоступенчатой защиты от перевозбуждения	67
2.23	Защита от непреднамеренного включения генератора (50/27)	68
2.23.1	Руководство по вводу уставок защиты от непроизвольного включения генератора	68
2.24	Тепловая защита с использованием температурных датчиков активного сопротивления (РТД)	69
2.24.1	Руководство по вводу уставок тепловой защиты с использованием РТД	69
2.25	Защита генератора от асинхронного хода P342 (78)	70
2.25.1	Защита от обратного направления мощности	70
2.25.2	Функция резервной защиты системы	70
2.25.3	Функция защиты от потери возбуждения	70
2.26	Защита генератора от асинхронного хода реле P343/4/5 (78)	72
2.26.1	Введение	72
2.26.2	Характеристики потери синхронизма	73
2.26.3	Характеристика асинхронного хода генератора	75
2.26.3.1	Что произойдет, если EG/ES имеет различные значения меньше единицы (1)?	75
2.26.3.2	Что произойдет, если приложены сопротивления разных систем?	75
2.26.3.3	Как определить реактивное сопротивление генератора в условиях асинхронного хода?	75
2.26.3.4	Как определить скорость скольжения асинхронного хода?	75
2.26.4	Общие требования к защите от асинхронного хода	76
2.26.5	Линзообразная схема	76
2.26.5.1	Характеристика	76
2.26.5.2	Генераторный и двигательный режимы	77
2.26.6	Рекомендации по выбору уставок защиты от асинхронного хода	78
2.26.6.1	Примеры уставок защиты от асинхронного хода	80
2.26.6.2	Пример расчета	80
2.27	Тепловая защита от перегрузки (49)	81
2.27.1	Введение	81
2.27.2	Тепловая модель	82
2.27.3	Указания по выбору уставок	83
2.28	Устройство резервирования отказа выключателя (УРОВ) (50BF)	83
2.28.1	Механизмы возврата таймеров УРОВ	83
2.28.1.1	Уставки таймеров УРОВ	84
2.28.2	Уставки минимального тока УРОВ	84

MiCOM P342, P343, P344, P345	(AP) 6-4
2.29 Защита от пробоя выключателя	85
2.30 Максимальная токовая защита с блокировкой	86
2.31 Аналоговые входы и выходы	88
2.31.1 Аналоговые входы	88
2.31.2 Указания по выбору уставок для аналоговых входов	88
2.31.3 Аналоговые выходы	89
2.31.4 Указания по выбору уставок для аналоговых выходов	89
<hr/>	
3. ПРИМЕНЕНИЕ НЕЗАЩИТНЫХ ФУНКЦИЙ	91
3.1 Контроль ТН (VTS)	91
3.1.1 Настройка элемента контроля ТН	91
3.2 Контроль ТТ (CTS)	91
3.2.1 Настройка элемента контроля ТТ	92
3.3 Контроль положения выключателя	92
3.3.1 Выбор уставок	92
3.3.1.1 Выбор уставки суммарного тока отключения	92
3.3.1.2 Уставка количества операций	92
3.3.1.3 Уставка времени срабатывания	93
3.3.1.4 Уставка пороговой частоты короткого замыкания	93
3.4 Контроль контура отключения (TCS)	93
3.4.1 TCS - Схема 1	93
3.4.1.1 Описание схемы	93
3.4.2 PSL для схемы 1	94
3.4.3 TCS - Схема 2	95
3.4.3.1 Описание схемы	95
3.4.4 PSL для схемы 2	95
3.4.5 TCS - Схема 3	96
3.4.5.1 Описание схемы	96
3.4.6 PSL для схемы 3	97
3.5 Соединения ТН	97
3.5.1 Схема соединения трансформаторов напряжения открытым треугольником (V-образное соединение)	97
3.5.2 Заземление ТН в одной точке	97
<hr/>	
4. ТРЕБОВАНИЯ К ТРАНСФОРМАТОРУ ТОКА	98
4.1 Функция дифференциальной защиты генератора	98
4.1.1 Дифференциальная защита по методу торможения	98
4.1.2 Дифференциальная защита по методу большого полного сопротивления	99
4.2 Защита максимального тока, зависящего от напряжения, потери возбуждения, тепловой перегрузки, асинхронного хода, минимального сопротивления и защита обратной послед.	99
4.3 Вход остаточного тока чувствительной направленной защиты от замыканий на землю	99
4.3.1 Линейные ТТ	99

MiCOM P342, P343, P344, P345	(AP) 6-5
4.3.2 ТТ нулевой последовательности	100
4.4 Защита статора от замыканий на землю	100
4.4.1 Ненаправленная защита от короткого замыкания на землю с нез. выдержкой времени/IDMT	100
4.4.2 Ненаправленная мгновенная защита от замыкания на землю	100
4.5 Ограниченная защита от замыканий на землю	101
4.5.1 Малое полное сопротивление	101
4.5.2 Большое полное сопротивление	101
4.6 Защита обратной и малой мощности	101
4.6.1 Класс защиты ТТ	101
4.6.2 ТТ измерительного класса	102
4.7 20-Гц входы 100% защиты статора от КЗ на землю	102
4.7.1 Линейные трансформаторы тока	102
4.7.1.1 Генератор, заземленный через первичный резистор в нейтральной точке звезды генератора	102
4.7.1.2 Генератор, заземленный через заземляющий трансформатор и вторичный резистор на выводах или нейтральной точке звезды генератора	103
4.7.2 Заземляющие трансформаторы	103
4.7.2.1 Генератор, заземленный через первичный резистор в нейтральной точке звезды генератора	103
4.7.2.2 Генератор, заземленный через заз. тр-р и вторичный резистор на выводах генератора	103
4.7.2.3 Генератор, заземленный через заземляющий трансформатор и вторичный резистор в нейтральной точке звезды генератора	103
4.8 Конвертация классификации стандартной защиты трансформатора тока по МЭК185 в порог по напряжению	103
4.9 Конвертация классификации стандартной защиты трансформатора тока по МЭК185 в номинальный параметр по стандарту ANSI/IEEE	104

5. ПАРАМЕТРЫ ПЛАВКОЙ ВСТАВКИ В ЦЕПЯХ ПИТАНИЯ СОБСТВЕННЫХ НУЖД **105**

Рисунок 1:	Стандартная и инвертированная последовательность фаз	10
Рисунок 2:	Межвитковая защита генератора с использованием отдельных ТТ	15
Рисунок 3:	Межвитковая защита генератора с использованием балансовых трансформаторов тока с проёмом для первичной цепи	16
Рисунок 4:	Поперечная дифференциальная защита с торможением для генераторов с двойной обмоткой	17
Рисунок 5:	Дифференциальная и межвитковая защита генератора	17
Рисунок 6:	Максимальная токовая защита от пробоя между витками	18
Рисунок 7:	Межвитковая защита (VN2) и защита от замыкания на землю (VN1) путем измерения напряжения нулевой последовательности	20
Рисунок 8:	PSL блокировки межвитковой защиты	21
Рисунок 9:	Стандартная кривая затухания тока замыкания генератора	24
Рисунок 10:	Преобразование вектора напряжения для трансформатора с подключением треугольник-звезда	28
Рисунок 11:	Согласование защиты минимальной частоты с делением нагрузки в системе	34
Рисунок 12:	Защищаемая зона защиты от замыкания на землю обмотки статора	45

MiCOM P342, P343, P344, P345

(AP) 6-6

Рисунок 13:	Распределение компонента 3-й гармоники по обмотке статора большого генератора, (а) стандартное функционирование, (b) замыкание на землю статора в нейтральной точке звезды (с), замыкание на землю статора на выводах	53
Рисунок 14:	Подключение максимального и минимального напряжения 3-й гармоники для 100% защиты статора от замыкания на землю	54
Рисунок 15:	Принципиальная схема 100% защиты статора от замыкания на землю с трансформатором заземления (разомкнутый треугольник) или трансформатором нейтрали	57
Рисунок 16:	64S Соединение для генераторов, заземленных через заземляющий трансформатор	60
Рисунок 17:	Подключение генератора, заземленного через резистор первичной обмотки	63
Рисунок 18:	Многоступенчатая характеристика защиты от перевозбуждения для больших генераторов	66
Рисунок 19:	Логическая схема многоступенчатой характеристики защиты от перевозбуждения для больших генераторов	66
Рисунок 20:	Многоступенчатая характеристика защиты от перевозбуждения для небольших генераторов	67
Рисунок 21:	Логическая схема многоступенчатой характеристики защиты от перевозбуждения для небольших генераторов	67
Рисунок 22:	Характеристика защиты от асинхронного хода генератора (небольшой когенератор)	71
Рисунок 23:	Упрощенная система из двух машин	73
Рисунок 24:	Кривые кажущегося полного сопротивления на выводах генератора (точка А)	74
Рисунок 25:	Защита от асинхронного хода с использованием линзообразной характеристики и оси линзы	77
Рисунок 26:	Линзообразная характеристика срабатывания	78
Рисунок 27:	Защита от асинхронного хода с использованием линзообразной характеристики и ее оси	79
Рисунок 28:	Пример конфигурации системы	80
Рисунок 29:	Защита от пробоя выключателя при прямом подключении генератора к системе	85
Рисунок 30:	Защита от пробоя выключателя при подключении генератора к системе через повышающий трансформатор	86
Рисунок 31:	Простая схема защиты шин с блокировкой (один ввод)	87
Рисунок 32:	Простая схема защиты шин с блокировкой (один ввод)	87
Рисунок 33:	TCS - Схема 1	93
Рисунок 34:	PSL для TCS - схем 1 и 3	94
Рисунок 35:	TCS - схема 2	95
Рисунок 36:	PSL для TCS - схемы 2	96
Рисунок 37:	TCS - схема 2	96

1. ВСТУПЛЕНИЕ

1.1 Защита генераторов

Генератор переменного тока обеспечивает электромеханический этап процесса преобразования энергии, следствием которого является получение электроэнергии. Поршневой двигатель или любая разновидность турбины представляет собой первичный источник энергии, обеспечивающий подачу вращающего механического импульса на генератор.

Существует много типов электростанций, использующих разнообразные источники энергии, например, сжигание топлива, плотины на реках, деление ядер. Генераторы могут обеспечивать базисную выработку энергии, снижение максимума нагрузки или подачу резервной мощности.

Электрическая защита служит для быстрого обнаружения и организации отключения при возникновении коротких замыканий на станции, а также для обнаружения аварийных эксплуатационных условий, которые могут стать причиной повреждения оборудования станции.

Аварийные эксплуатационные условия могут возникать вследствие неисправности самого генератора, а также в результате внешних воздействий. Ниже перечислены основные категории замыканий и аварийных условий, которые могут быть обнаружены с помощью электрической защиты: (Не все условия должны быть обнаружены во всех ситуациях).

Основные короткие замыкания

- Пробой изоляции в обмотке статора или на соединениях

Вторичные замыкания

- Пробой изоляции в системе возбуждения
- Пробой системы возбуждения
- Несинхронное перенапряжение

Аварийные состояния первичного двигателя или системы управления

- Неисправность первичного двигателя
- Повышенная частота
- Повышенный магнитный поток
- Включение нерабочего двигателя
- Перекрытие выключателя
- Системные неисправности
- Подача питания на неустранимое замыкание
- Длительная или несбалансированная нагрузка
- Длительная или большая перегрузка
- Потеря синхронизации
- Повышение частоты
- Понижение частоты
- Синхронное увеличение напряжения
- Повышенный магнитный поток
- Пониженное напряжение

Кроме этого, может возникнуть необходимость в механической защите различных типов, например, обнаружение вибраций, контроль за состоянием смазывающих веществ и охладителей, температурный контроль и т.д.

Действие электрической или механической защиты можно разделить на следующие категории:

- Аварийное отключение системы
- Неаварийное отключение системы
- Включение сигнализации

Аварийное отключение может потребоваться, например, при обнаружении междуфазного короткого замыкания в электрических соединениях генератора. Неаварийное отключение применяется в случаях, когда первичный двигатель можно отключить до снятия нагрузки с генератора, что необходимо для того, чтобы избежать превышения допустимой скорости вращения. Такое отключение может быть следствием длительной несбалансированной нагрузки. В этом случае перед отключением рекомендуется включать сигнализацию, которая предупредит оператора и позволит принять необходимые меры.

При аварийном отключении рекомендуется поддерживать питание с помощью блокировочных выходных контактов, для которых может потребоваться ручной возврат. При неаварийном отключении может потребоваться, чтобы данные выходные контакты были с самовозвратом, что необходимо для того, чтобы восстановить работу генератора при первой же возможности.

Реле P342/3/4/5 способны выполнять все защитные функции при обслуживании широкого спектра рабочих частот благодаря наличию системы сопровождения частот (5 - 70 Hz). Система сопровождения частот реле P342/3/4/5 представляет особый интерес для ГАЭС, поскольку в режиме накачки синхронизированные машины могут эксплуатироваться от источника переменной частоты. Кроме того, в случае с комбинированными электростанциями может потребоваться использование и синхронизация парового генерирующего агрегата одновременно с газовым генерирующим агрегатом на низкой частоте до перехода на номинальную частоту и синхронизацию с энергосистемой.

В случае, если требуется использование защитных функций P342/3/4/5 с определенным уровнем точности при низкой частоте, необходимо использовать трансформаторы тока с большими сердечниками. Фактически, требования ТТ необходимо умножить на f_n/f , где f - минимальная требуемая рабочая частота, а f_n – номинальная рабочая частота.

2. ПРИМЕНЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАЩИТНЫХ ФУНКЦИЙ

В данном разделе приведены описания индивидуальных защитных функций, а также способы их применения. Каждая глава представляет собой выдержку из меню реле, что наглядно отражает работу тех или иных уставок.

2.1 Чередование фаз

2.1.1 Описание

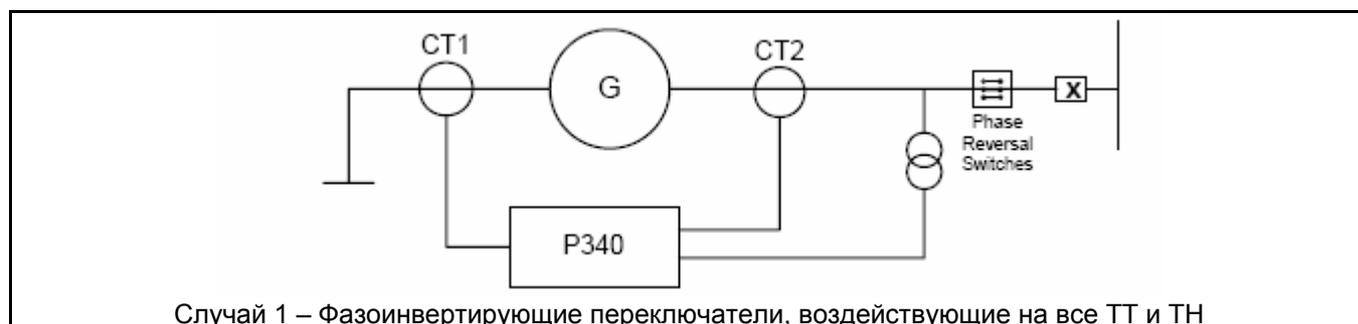
P340 обеспечивает правильное функционирование всех защитных функций, даже если генератор функционирует в обратной последовательности фаз. Это достигается благодаря настраиваемым пользовательским уставкам, которые доступны для четырех групп уставок.

По умолчанию последовательность фаз для P340 – чередование по часовой стрелке ABC. Некоторые энергетические системы могут использовать чередование против часовой стрелки ACB. В случаях применения на ГАЭС стандартной практикой является инвертирование двух фаз для облегчения процесса накачки, используя фазоинвертирующие переключатели. Однако, в зависимости от положения переключателей по отношению к трансформаторам тока и трансформаторам напряжения, чередование фаз может не воздействовать на все входы напряжения и токовые входы реле. Далее в разделах будут описаны некоторые распространенные ситуации и производимый ими эффект. В данном описании ТТ1 обеспечивает измерение тока для всех токовых защит (IA-1/IB-1/IC-1), ТТ2 (IA-2/IB-2/IC-2) используется только для дифференциальной защиты генератора.

В случаях применения на ГАЭС уставки правильного чередования фаз могут использоваться для отдельных эксплуатационных режимов и фазовых конфигураций в различных группах уставок. Фазовая конфигурация может быть выставлена при помощи выбора соответствующей группы уставок. Для получения более детальной информации см. раздел 3.10. Данный метод выбора фазовой конфигурации исключает необходимость внешнего переключения контуров ТТ или дубликации реле с подключениями к различным фазам ТТ. Уставки чередования фаз необходимо изменять только при выключенном генераторе, для того, чтобы несовпадения в переходном состоянии в чередовании фаз между реле и энергетической системой, возникающие вследствие коммутации фаз, не вызвало включение каких-либо защитных функций. Для обеспечения невозможности изменения групп уставок при включенном генераторе изменение групп уставок может быть заблокировано при помощи сигналов пуска минимального тока IA/IB/IC и сигналом пуска минимального напряжения в PSL.

2.1.1.1 Случай 1 – Фазоинвертирующие переключатели воздействуют на все ТТ и ТН

Опрокидывание фазы в одинаковой мере отражается на всех измерениях напряжения и тока, независимо от того, какие две фазы были инвертированы. Это является эквивалентом энергосистемы с постоянно инвертированной обратной фазой.



Надписи на рисунке: Phase reversal switches = Фазоинвертирующие переключатели

Будет оказываться воздействие на все функции защиты, которые используют составляющую прямой и обратной последовательности напряжения и тока (защита максимального тока обратной последовательности, защита максимального напряжения обратной последовательности, защита от перегрева, контроль ТТ). Направленный максимальный ток также будет находиться под воздействием, когда поляризирующий сигнал (V_{bc} , V_{ca} , V_{ab}) инвертирован посредством изменения в чередовании фаз. Дифференциальная защита генератора не будет находиться под воздействием, поскольку опрокидывание фазы в одинаковой мере применяется к ТТ1 и ТТ2.

Ниже показана взаимосвязь между напряжениями и токами из ТТ1 для стандартного и обратного чередования фаз.

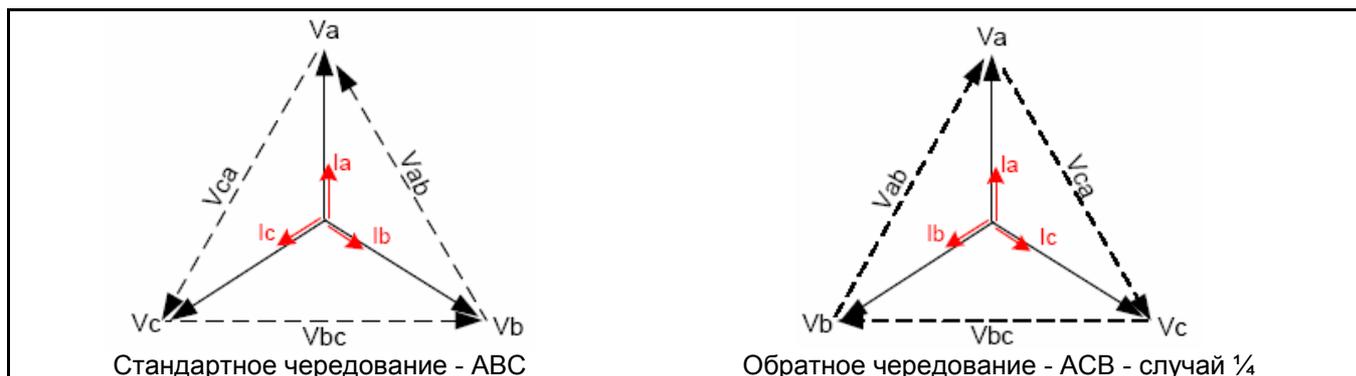
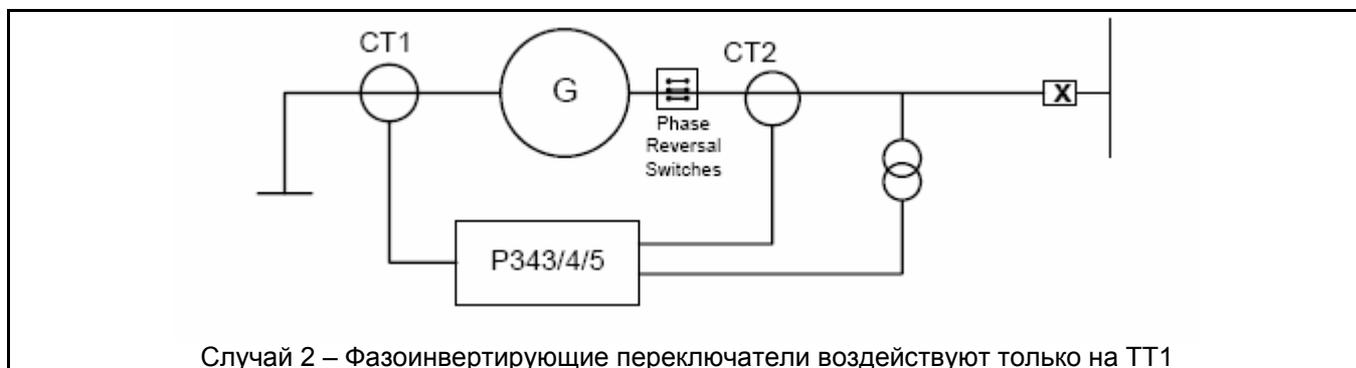


Рисунок 1: Стандартное и обратное чередование фаз

В примере выше уставки конфигурации системы – стандартное чередование ABC и обратное чередование ACB – могут быть использованы в 2-х группах уставок для воздействия на чередование фаз в зависимости от положения фазоинвертирующего переключателя.

2.1.1.2 Случай 2 – Фазоинвертирующие переключатели воздействуют только на ТТ1

Опрокидывание фазы воздействует только на ТТ1. Будут находиться под воздействием все функции защиты, которые используют токи и 3-х фазные напряжения ТТ1 (мощность, асинхронный ход, потеря возбуждения, минимальное полное сопротивление, максимальный ток управляемый напряжением, направленный максимальный ток). Данное воздействие будет наблюдаться вследствие инвертированного изменения взаимоотношения фаз между напряжениями и токами. Также будет находиться под воздействием дифференциальная защита генератора и защита, которая использует напряжение и ток прямой и обратной последовательности.



Надписи на рисунке: Phase reversal switches = Фазоинвертирующие переключатели

Обратите внимание, что существует 2 подхода к использованию уставок конфигурации системы с 2-мя инвертированными фазами. Данные уставки могут быть использованы для обеспечения распознавания генератором последовательности фаз или распознавания системой (шинопроводом) последовательности фаз при коротком замыкании на генераторе.

Например, в случае 2 для короткого замыкания фазы А на обмотке генератора, реле передаст информацию о коротком замыкании фазы В, если инвертированная уставка ТТ1 имеет значение А-В Swapped (Инвертирование А-В) (распознавание системой или шинопроводом поврежденной фазы). При коротком замыкании на шинопроводом правильная поврежденная фаза будет указана в регистре коротких замыканий. В примере выше вместо инвертирования фаз А-В трансформатора тока 1 пользователь может также задать инвертирование для ТТ2 Reversal (ТТ2 РЕВЕРС) и ТН Reversal (ТН РЕВЕРС), и применить уставку последовательности фаз для инвертирования ACB. При таком подходе, внутренние короткие замыкания (например, замыкание фазы А на обмотке) отобразит правильную информацию о фазе в регистре коротких замыканий (определение генератором поврежденной фазы), поскольку внешнее короткое замыкание фазы А будет представлено как короткое замыкание фазы В.

Поэтому, для обеспечения последовательности фаз при возможности определения генератором замыкания генератора, трансформаторы тока/трансформаторы напряжения, на которые не воздействует изменение, должны иметь уставку фазового инвертирования для соответствия внешнему

переключению. Поскольку воздействие также оказывается на чередование фаз генератора, уставка изменения последовательности должна быть введена соответствующим образом. Для обеспечения последовательности фаз при возможности определения системой замыкания генератора, трансформаторы тока/трансформаторы напряжения, на которые не воздействует изменение, должны иметь уставку фазового инвертирования для соответствия внешнему переключению.

Чувствительная защита мощности представляет собой элемент однофазной защиты мощности, использующий ток и напряжение фазы А. В случае, если применяется чувствительная защита мощности, а инвертирован только ток фазы А, определение мощности будет неверным, поскольку входы тока и напряжения не принадлежат одной фазе. Например, если в случае 2 фазы А-В инвертированы, а чувствительный ТТ установлен с генераторной стороны переключателя. В этом случае можно использовать альтернативный подход, при котором фазы ТТ2 и ТН инвертированы таким образом, что возникает напряжение фазы А (воспринимаемое генератором), что необходимо для правильного определения мощности фазы А. Данная проблема не может быть решена при применении другого подхода, при котором инвертированы только фазы ТТ1 и следовательно должна быть выведена защита или фазоинвертирующие переключатели настроены так, чтобы фаза А не была инвертирована или чувствительная защита мощности ТТ была расположена на той же стороне переключателя, что и ТН.

2.2 Дифференциальная защита генератора (87)

Замыкание на обмотках статора или пробой изоляции соединений может стать причиной серьезного повреждения обмоток и сердечника статора. Степень этого повреждения будет зависеть от величины тока замыкания и продолжительности замыкания. Для снижения степени повреждения и, соответственно, затрат на его устранение, следует принять защитные меры. Например, быстрое отключение генератора от энергосистемы на первичной станции может сохранить стабильность всей системы.

Для генераторов с номиналом выше 1 МВА обычно используют дифференциальную защиту. Принцип действия такой защиты заключается в селективном обнаружении замыканий на обмотке, без выдержки времени, при которой появляется значительный ток замыкания. Зона защиты, определяемая расположением трансформаторов тока - ТТ, должна покрывать защиту других элементов станции, таких как шинопровод или повышающий трансформатор.

Большой сквозной ток внешнего замыкания может стать причиной того, что один ТТ будет насыщаться быстрее другого. Это вызовет разницу в величинах вторичного тока каждого ТТ. В таких условиях важно стабилизировать защиту. Обычно для этого используют два способа. Первый называется методом торможения - уставки реле повышают, когда увеличивается величина сквозного тока. Второй – это метод высокого импеданса, при котором сопротивление реле таково, что даже при максимальном значении сквозного тока реле не срабатывает.

Функция дифференциальной защиты генератора в реле P343/4/5 может быть использована в любом из режимов – торможения или высокого импеданса. Оба режима являются равноценными и используются в зависимости от предпочтения пользователей. Принцип работы каждого режима описан в разделе эксплуатации P34x/EN OP.

2.2.1 Установка параметров для дифференциальной защиты с торможением

Для включения дифференциальной защиты с торможением необходимо переключить ячейку "GenDiff Function (ФУНКЦИЯ ДЗГ)" в положение 'Biased'.

Уставка дифференциального тока "Gen Diff Is1 (ДЗГ Is1)" должна быть минимальной, чтобы обеспечить защиту как можно большего числа витков обмотки генератора. Обычно нормальной уставкой считается 5% от номинального тока. Значение уставки порога тока, выше которого включается уставка второго дифференциального тока, "Gen Diff Is2 (ДЗГ Is2)", необходимо определить как 120% номинального тока генератора.

Первая уставка торможения "Gen Diff k1 (ДЗГ k1)" должна быть установлена на 0%. Это обеспечит оптимальную чувствительность к внутренним замыканиям. Значение второй уставки торможения можно установить на 150%, что обеспечит достаточную чувствительность к внешним замыканиям.

Значения этих уставок могут быть увеличены, если для защиты используются ТТ с низким классом точности.

2.2.2 Установка параметров для дифференциальной защиты с высоким импедансом

Для включения дифференциальной защиты с высоким импедансом необходимо переключить ячейку "GenDiff Function (ФУНКЦИЯ ДЗГ)" в положение 'High Impedance'.

Уставка дифференциального тока "Gen Diff Is1 (ДЗГ Is1)" должна быть минимальной, чтобы обеспечить защиту как можно большего числа витков обмотки генератора. Обычно нормальной уставкой считается 5% от номинального тока. Может потребоваться увеличение этой уставки, если в защите используются ТТ с низким классом точности. Также необходимо убедиться, что рабочий ток в первичной цепи меньше предполагаемого минимального значения тока замыкания, при появлении которого сработает система.

Рабочий ток первичной обмотки (I_{op}) будет находиться в функциональной зависимости от коэффициента ТТ, рабочего тока реле (Gen Diff Is 1 (ДЗГ Is1)), количества (n) ТТ, подключенный параллельно с реле и тока намагничивания каждого ТТ (I_e) при устойчивом напряжении (V_s).

Эта зависимость может быть выражена тремя способами:

1. Определение максимального тока намагничивания ТТ для получения определенного рабочего тока первичной обмотки с рабочим током некоторого реле.

$$I_e < \frac{1}{n} \times \left(\frac{I_{op}}{CT \text{ ratio}} - \text{Gen diff REF} > I_{s1} \right)$$

2. Определение максимальной токовой уставки реле для получения определенного рабочего тока первичной обмотки с данным током намагничивания ТТ.

$$\text{Gen diff Is1} < \left(\frac{I_{op}}{CT \text{ ratio}} - nI_e \right)$$

3. Определение рабочего тока первичной обмотки для конкретного значения рабочего тока реле и с особым уровнем тока намагничивания.

$$I_{op} = (CT \text{ ratio}) \times (\text{Gen diff Is1} + nI_e)$$

Чтобы получить требуемый рабочий ток первичной обмотки ТТ, для элемента высокого сопротивления необходимо выбрать токовую уставку (Gen Diff Is1 (ДЗГ Is1)), как описано в выражении (ii) выше. Уставка стабилизирующего резистора (RST) рассчитывается следующим способом, где это значение находится в функциональной зависимости от уставки стабилизирующего напряжения V_s и токовой уставки реле (Gen Diff Is 1 (ДЗГ Is1)).

$$R_{ST} = \frac{V_s}{\text{Gen diff Is1}} = \frac{1.5 I_f (R_{CT} + 2R_L)}{\text{Gen diff Is1}}$$

Примечание: Вышеприведенная формула предполагает несущественную нагрузку реле.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ РЕЗИСТОРОВ "METROSIL"

Резисторы "Metrosil" используются для ограничения пикового напряжения, вырабатываемого трансформаторами тока при внутренних замыканиях, до значения ниже уровня изоляции ТТ, реле и соединительных проводов, которые в обычных условиях способны выдерживать пиковое напряжение 3000 В.

Для определения пикового неустановившегося напряжения, которое может возникнуть в результате внутреннего замыкания, следует использовать следующую формулу. Пиковое напряжение, вырабатываемое во время внутреннего замыкания, находится в функциональной зависимости от напряжения точки загиба ТТ и предполагаемого значения напряжения при внутреннем коротком замыкании, которое появится в случае, если не произойдет насыщение ТТ. Это предполагаемое значение, в свою очередь, находится в функциональной зависимости от максимального значения тока замыкания во вторичной обмотке, коэффициента ТТ, сопротивления вторичной обмотки ТТ, сопротивления выводов ТТ в общей точке, сопротивления выводов реле и значения стабилизирующего резистора.

$$V_p = 2\sqrt{2V_k (V_f - V_k)}$$

$$V_f = I'_f (R_{CT} + 2R_L + R_{ST})$$

Где:

V_p = пиковое напряжение, вырабатываемое ТТ при внутреннем замыкании.

V_k = напряжение точки загиба ТТ.

V_f = максимальное напряжение, которое появится в случае, если не произойдет насыщение ТТ.

I'_f = максимальное значение тока замыкания во вторичной обмотке.

R_{CT} = сопротивление вторичной обмотки ТТ.

R_L = максимальная нагрузка вывода от ТТ к реле.

R_{st} = сопротивление стабилизирующего резистора реле.

Если в результате расчетов по формуле выходное пиковое значение превышает 3000 В, то в этом случае следует использовать резисторы Metrosil. Резисторы подключаются параллельно цепи реле и, таким образом, шунтируют выходной ток вторичной обмотки трансформатора тока от реле для предотвращения сверхвысоких во вторичной обмотке.

Резисторы устанавливаются с внешней стороны и имеют форму кольцеобразных дисков. Рабочие характеристики резисторов выражаются следующим образом:

$$V = C I^{0.25}$$

Где:

V = мгновенное напряжение нелинейного резистора (Metrosil).

C = постоянная нелинейного резистора (Metrosil).

I = мгновенный ток, протекающий через нелинейный резистор (Metrosil).

При использовании синусоидального напряжения, подаваемого параллельно Metrosil, ток уставки стабилизирующего резистора (RMS) будет составлять приблизительно 0,52х от пикового значения и может быть рассчитан по формуле:

$$I(\text{rms}) = 0.52 \left(\frac{V_s(\text{rms}) \times \sqrt{2}}{C} \right)^4$$

Где:

$V_s(\text{rms})$ = действующее значение синусоидального напряжения параллельно резистору.

Следует отметить тот факт, что ток, протекающий через нелинейный резистор (Metrosil) не синусоидальный, а с существенными искажениями.

Для успешного использования нелинейных резисторов (Metrosil) следует учитывать следующие требования:

1. С учетом уставки напряжения реле ток на нелинейном резисторе (Metrosil) должен быть максимально мал, не больше приблизительно 30 мА (действующее значение) для трансформаторов тока 1 А и приблизительно 100 мА (действующее значение) для трансформаторов тока 5 А.
2. При максимальном значении тока вторичной обмотки нелинейный резистор (Metrosil) должен ограничивать напряжение до 1500 В (действующее значение) или 2120В (пиковое значение) за 0,25 секунд. При высоких уставках напряжения реле не всегда возможно ограничить напряжение замыкания до 1500 В (действующее значение), поэтому можно допустить появление высоких напряжений замыкания.

В нижеследующих таблицах приведены стандартные требуемые типы резисторов Metrosil в зависимости от номинального значения тока реле, уставки напряжения REF и т.д.

Параметры Metrosil для реле с трансформатором тока 1 А

Резисторы Metrosil для реле с трансформатором тока 1 А были разработаны для соответствия следующим ограничениям.

- С учетом уставки напряжения реле ток на резисторе не должен превышать 30 мА (действующее значение).
- При максимальном значении тока замыкания резистор Metrosil, если возможно, должен ограничивать напряжение до 1500 В (действующее значение).

В следующей таблице приведены рекомендуемые типы резисторов Metrosil для использования с трансформаторами тока 1 А.

Уставка напряжения реле	Номинальная характеристика		Рекомендуемый тип резистора Metrosil	
	C	β	Однополюсное реле	Трехполюсное реле
До 125 В действ.	450	0,25	600A/S1/S256	600A/S3/1/S802
125 В – 300 В действ.	900	0,25	600A/S1/S1088	600A/S3/1/S1195

Примечание: Metrosil для однополюсных реле обычно поставляются без крепежных скоб (если не заказано отдельно).

Резисторы Metrosil для реле с трансформатором тока 5 А

Эти резисторы Metrosil были разработаны для соответствия следующим ограничениям:

- С учетом уставки напряжения реле ток на резисторе не должен превышать 100 мА (действ.) (фактические максимальные значения токов, проходящих через резисторы, приведены после описания типов резисторов.)
- При максимальном значении тока замыкания резистор Metrosil должен ограничивать напряжение до 1500 В (действующее значение) за 0,25 с. При высоких уставках реле невозможно ограничить напряжения замыкания до 1500 В, поэтому следует допускать возможность появления высоких напряжений замыкания (с отметками *, **, ***).

В следующей таблице приведены рекомендуемые типы резисторов Metrosil для использования с трансформаторами тока 5 А и однополюсными реле:

Ток внутреннего короткого замыкания во вторичной обмотке	Рекомендуемый тип резистора Metrosil			
	Уставка напряжения реле			
A (действ.)	До 200 В (действ.)	250 В (действ.)	275 В (действ.)	300 В (действ.)
50 А	600A/S1/S1213 C = 540/640 35 мА действ.	600A/S1/S1214 C = 670/800 40 мА действ.	600A/S1/S1214 C = 670/800 50 мА действ.	600A/S1/S1223 C = 740/870* 50 мА действ.
100 А	600A/S2/P/S1217 C = 470/540 70 мА действ.	600A/S2/P/S1215 C = 570/670 75 мА действ.	600A/S2/P/S1215 C = 570/670 100 мА действ.	600A/S2/P/S1196 C = 620/740 100 мА действ. *
150 А	600A/S3/P/S1219 C = 430/500 100 мА действ.	600A/S3/P/S1220 C = 520/620 100 мА действ.	600A/S3/P/S1221 C = 570/670** 100 мА действ.	600A/S3/P/S1222 C = 620/740*** 100 мА действ.

Примечание: *2400 В **2200 В ***2600 В (пик)

В некоторых случаях могут использоваться одинарные диски. За более подробной информацией обращайтесь в компанию AREVA T&D.

- Резисторы Metrosil, рекомендованные для использования с трансформаторами тока 5 А, также могут применяться и с трехфазными реле. Резисторы представляют собой три однополюсных устройства, скомпонованных на одном стержне и электрически изолированных друг от друга. Для заказа таких резисторов следует указать "Triple pole Metrosil type" ("Трехполюсный тип"), а затем привести описание однополюсного резистора.
- При необходимости могут поставляться резисторы Metrosil для более высоких значений напряжения реле и токов замыкания.

Для более подробной информации по выбору резисторов Metrosil просьба обращаться в отдел заявок компании AREVA T&D.

2.2.3 Защита от межвитковых замыканий (расщепленная фаза)

В генераторах с многovitковыми обмотками статора существует возможность возникновения межвиткового замыкания. Такое замыкание не будет обнаружено традиционными защитами, пока не перерастет в замыкание статора на землю. В гидрогенераторах обычно используются многостаторные обмотки с параллельными обмотками.

2.2.3.1 Дифференциальная межвитковая защита

На рисунке 2 показана дифференциальная схема, использующая проходные токовые трансформаторы, которая обычно используется для дифференциальной защиты. В данной схеме контуры в каждой фазе обмотки статора разделены на две равнозначные группы, и ток сравнивается для каждой группы. Разница между этими токами указывает на асимметрию, вызванную внутренним замыканием. Поскольку при наличии нормальных условий между обмотками наблюдается некоторая асимметрия тока, защита имеет уставку, которая не позволяет защите срабатывать при наличии такой асимметрии, но асимметрия, вызванная одновитковым замыканием, вызовет срабатывание защиты. В некоторых случаях генератор может продолжать работу при наличии межвиткового замыкания, до тех пор пока оно не будет устранено. В таком случае необходимо увеличить уровень тока при котором произойдет срабатывание защиты, но не выше уровня, вызывающего срабатывание защиты при замыкании во вторичной обмотке.

Для дифференциальной защиты от межвитковых замыканий могут использоваться токовые входы P343/4/5 IA2/IB2/IC2, и существуют независимые уставки для каждой фазы (Interturn Is_A (МЕЖВИТ.КЗ Is_A), Interturn Is_B (МЕЖВИТ.КЗ Is_B), Interturn Is_C (МЕЖВИТ.КЗ Is_C)). Следовательно, токовая уставка может увеличиваться только на поврежденной фазе, не влияя на чувствительность защиты на других, неповрежденных фазах. Для предотвращения срабатывания от случайных токов в ТТ, могущих возникнуть при внешних КЗ, используется выдержка времени. Проблема переходных токов в ТТ может быть снята путем использования балансовых трансформаторов тока с проёмом для первичной цепи. (См. рисунок 3).

Данный метод межвитковой защиты распознает межфазные короткие замыкания и некоторые типы замыканий на землю в обмотке статора. Однако, из-за невысокой скорости срабатывания такой защиты обычно используют стандартную высокоскоростную дифференциальную защиту для каждой фазы и отдельную защиту от замыкания на землю. В случае, если в качестве основных реле 1 и 2 установлены реле защиты P343/4/5, для межвитковой защиты могут использоваться входы IA2/IB2/IC2 одного реле, а на другом реле они могут использоваться для стандартной дифференциальной защиты параллельно генератору.

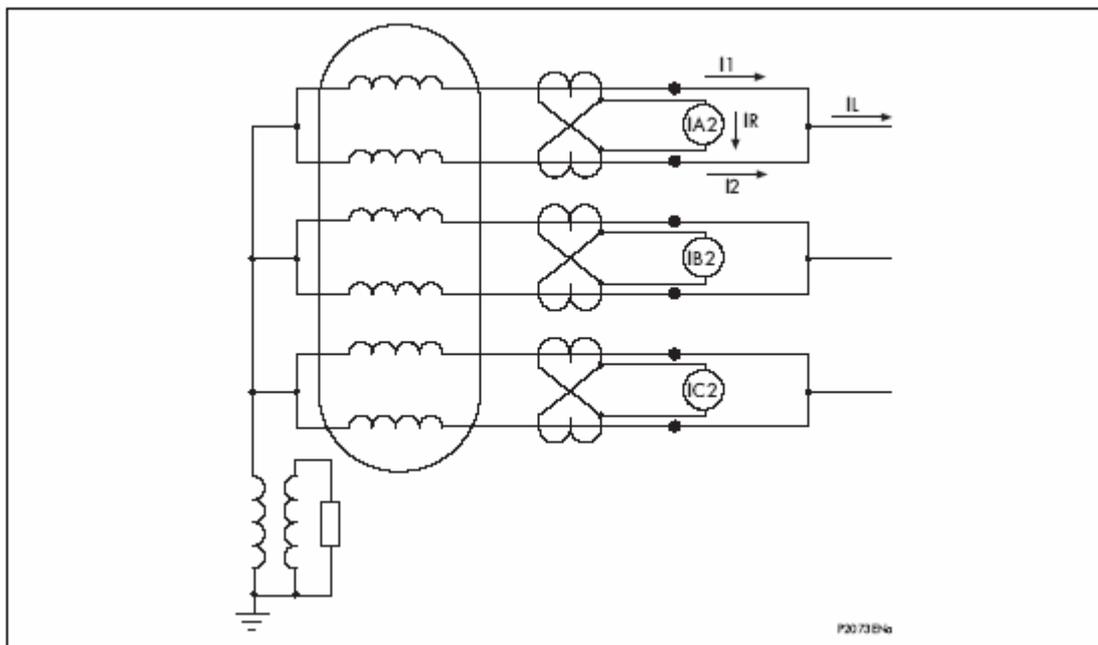


Рисунок 2: Межвитковая защита генератора с использованием отдельных ТТ

В этом случае также может использоваться P343/4/5 с входами IA/IB/IC, подключенными со стороны выводов ТТ, поскольку здесь присутствует максимальный номинальный ток. Обратите внимание, что входы IA/IB/IC питают защиту по импедансу, защиту мощности и токовую защиту. Однако, в случае, если изолированная система запитывается от одного генератора, резервная защита должна использовать трансформаторы тока на нейтральных выводах генератора, что необходимо для обеспечения обнаружения внутренних коротких замыканий в обмотке генератора. Поэтому в данном случае для межвитковой защиты рекомендуется использование отдельной дифференциальной защиты с торможением. Для остальных защит может использоваться P342 от отдельных ТТ на нейтральных выводах генератора.

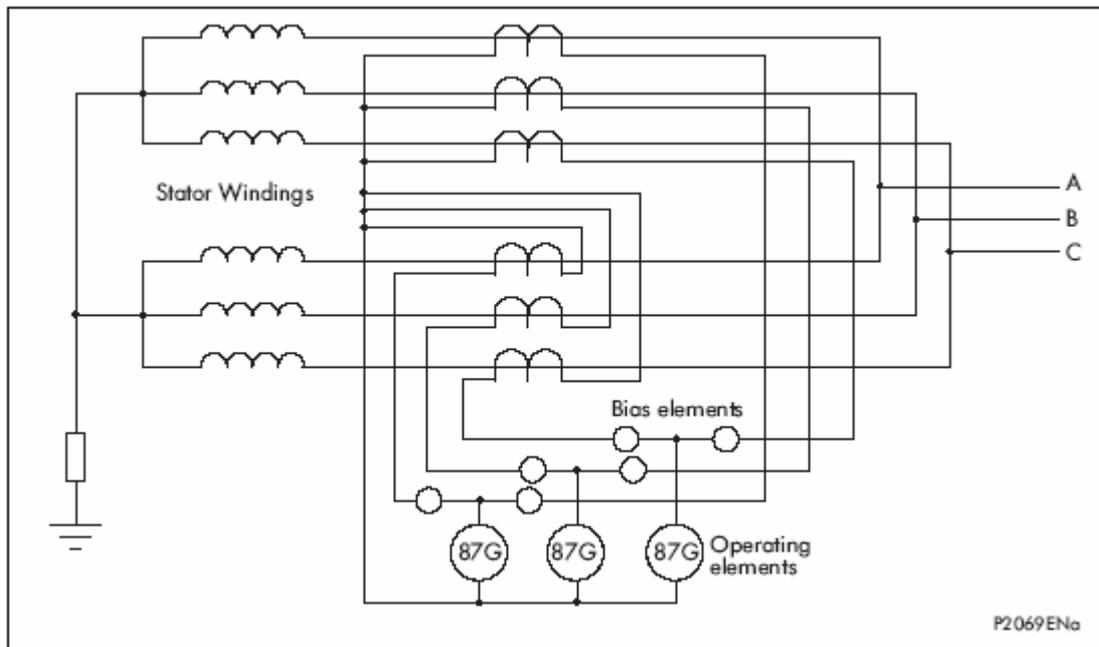


Рисунок 4: Поперечная дифференциальная защита с торможением для генераторов с двойной обмоткой

Надписи на рисунке: Stator Windings = Обмотки статора
 Bias elements = Элементы торможения
 Operating elements = Эксплуатационные элементы

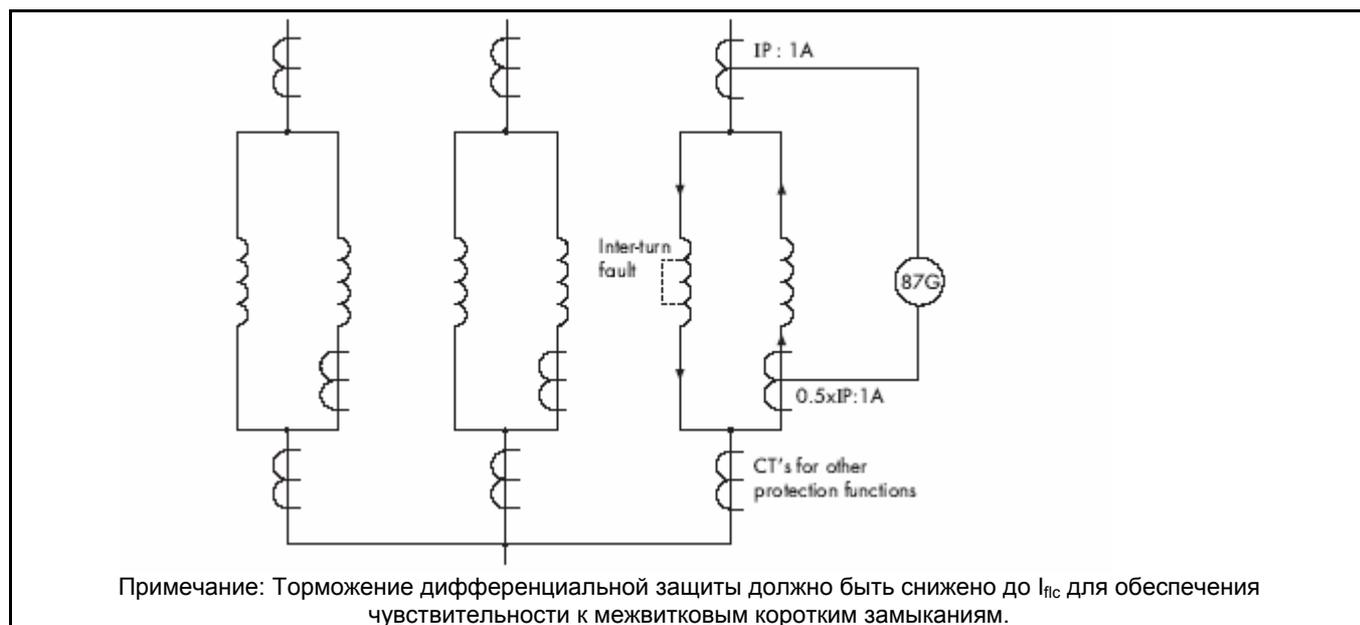


Рисунок 5: Дифференциальная и межвитковая защита генератора

Надписи на рисунке: Inter-turn fault = Межвитковая защита
 CT's for other protection functions = Трансформаторы тока для других функций защиты

2.2.3.3 Применение максимальной токовой защиты для межвитковой защиты

Еще один метод, который может быть использован для межвитковой защиты, заключается в использовании функции защиты статора от замыкания на землю, управляемую током и использующую одиночный ТТ, как показано на рисунке 6. В данном случае защита смещения нейтрали (59N) будет действовать как основная защита от замыкания статора на землю, хотя защита статора от замыкания на землю, управляемая током, все еще может реагировать на некоторые замыкания на землю. Данная форма межвитковой защиты от коротких замыканий, использующая защиту статора от замыкания на землю, управляемую током ($I_N > 1/2$ или $I_{SEF} > 1$), дает возможность обеспечить большую чувствительность в сравнении с методикой показанной на рисунке 6. Данная возможность становится доступной благодаря тому, что данной организации требуемый коэффициент одиночного трансформатора является произвольным. Уставка по току основной защиты, управляемой током ($I_N > 1/2$ или $I_{SEF} > 1$), должна быть выставлена в соответствии с выбранным коэффициентом ТТ, что необходимо для обеспечения соответствующей первичной чувствительности для минимального тока межвиткового замыкания. Из этих же соображений используемая выдержка времени должна иметь одинаковое значение с рекомендуемой для основного элемента защиты, управляемого током, стандартной защиты статора от замыкания на землю.

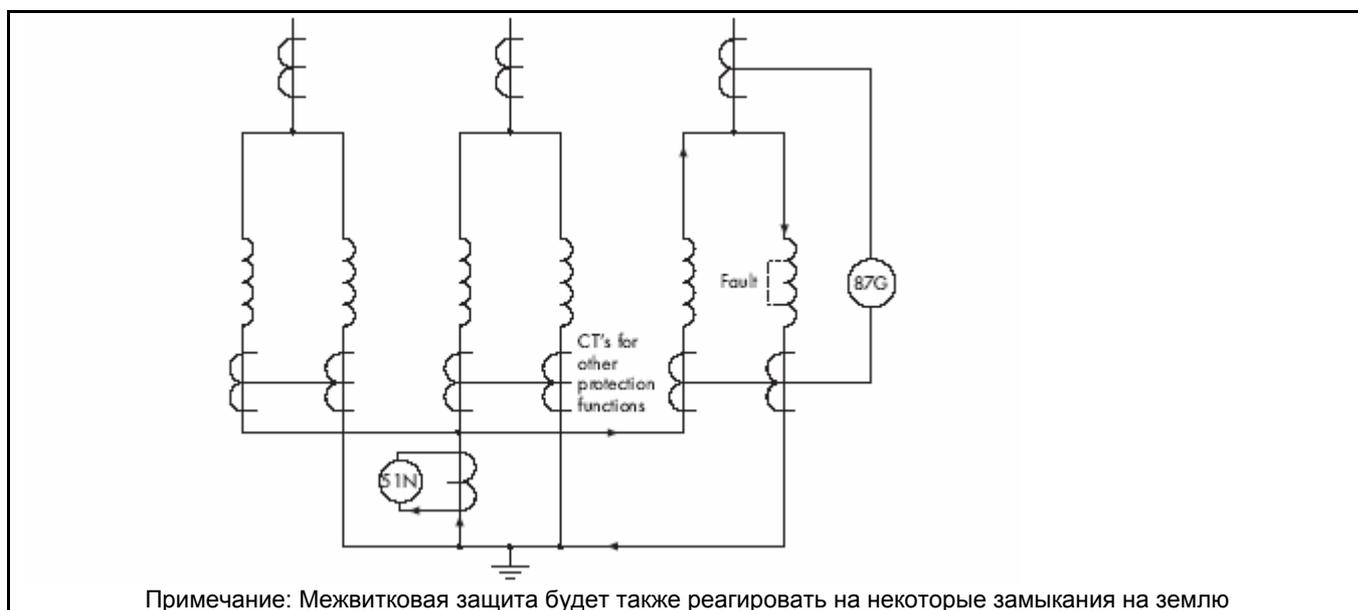


Рисунок 6: Максимальная токовая защита от пробоя между витками

Надписи на рисунке:

Fault = Короткое замыкание

CT's for other protection functions = Трансформаторы тока для других функций защиты

2.2.3.4 Межвитковая защита при помощи измерения напряжения нулевой последовательности

Межвитковые короткие замыкания в однообмоточном генераторе могут быть обнаружены при помощи измерения напряжения нулевой последовательности параллельно генератору. Обычно напряжение нулевой последовательности должно отсутствовать короткое замыкание одного или большего количества витков приведет к тому, что генерированная ЭДС будет содержать некоторое количество составляющей нулевой последовательности. Данный метод межвитковой защиты может обеспечиваться с использованием защиты смещения нейтрали в P342/3/4/5, см. раздел 2.17.

Внешние замыкания на землю также приводят к возникновению напряжения нулевой последовательности на генераторе с прямым подключением. В основном напряжение будет падать параллельно заземляющему резистору, поскольку падение напряжения на генераторе небольшое, защита напряжения нулевой последовательности ограничивается 1-м или 2-мя процентами. Поэтому, желательно измерять падение напряжения параллельно обмотке, а не напряжение нулевой последовательности на землю на линейных выводах. Это можно сделать при помощи ТН, подключенного со стороны генератора с нейтралью первичной обмотки, подключенной к нейтрали генератора над заземляющим резистором или заземляющим трансформатором. Данная организация изображена на рисунке 7. Напряжение нулевой последовательности может быть измерено напрямую от вышедшей из строя обмотки с соединением треугольником трансформатора напряжения, подключенной ко входу напряжения нейтрали ($V_N > 3/4$), на P342/3 и VN1 ($V_N > 3/4$) или VN2 ($V_N > 5/6$) на P344/5. В качестве альтернативы напряжение нулевой последовательности может быть получено ($V_N > 1/2$) от трехфазных входов напряжения VA, VB, VC к реле.

Составляющая защиты 3-й гармоники ЭДС может быть больше требуемых уставок, однако исключается неправильная работа, поскольку данная составляющая фильтруется фурье-фильтром реле.

При прямом подключении генератора существует возможность того, что внутреннее замыкание на землю вызовет падение напряжения нулевой последовательности, которое будет больше, чем вызванное коротким замыканием одного витка. Поэтому необходимо использовать выдержку по времени для отключающего элемента. При наличии блока генератор-трансформатор внешнее замыкание на землю может не вызывать ток нулевой последовательности через обмотку с соединением треугольником трансформатора. Следовательно, ТН не будет давать остаточного напряжения, и поэтому в данном случае для отключающего элемента не требуется выдержка по времени.

При таком подключении ТТ напряжение нулевой последовательности от ТТ является недостаточным для внешнего замыкания. Также выход соединенной звездой вторичной обмотки ТН не будет правильно отображать напряжения фаза-земля (для внешних замыканий), точным будут только напряжения фаза-фаза. Поэтому чувствительная защита от замыкания на землю и элемент слежения ТТ, которые используют напряжение нулевой последовательности могут не функционировать, если поляризованный вход VN установлен на 'Derived'. Поляризованный вход VN должен быть установлен на 'Measured' или данная функция отключена для функций, в которых основной ТН используется для межвитковой защиты ('Measured' – вход ТН1 для P342/3/4/5). Защита минимального и максимального напряжения может быть установлена как межфазное измерение с этим типом подключения ТН.

Минимальный импеданс и максимальный ток, зависящий от напряжения, в любом случае используют межфазное напряжение, следовательно, точность не будет затронута. Функции защиты, использующие напряжения фаза-нейтраль, - это защита мощности, защита от потери возбуждения, защита от асинхронного хода. Все эти защиты предназначены для обнаружения аномального функционирования генератора в условиях сбалансированности трех фаз, следовательно, точность данных защит не будет затронута.

Если для 95% защиты статора от замыкания на землю требуется защита напряжения смещения нейтрали, а также межвитковая защита, потребуется отдельное соединение ТН на выводах генератора или распределительный трансформатор на земле генератора, что необходимо для обеспечения правильного напряжения нулевой последовательности. Обратите внимание, что защита напряжения смещения нейтрали в реле P342/3 может использовать измеренное остаточное напряжение от входа VN1 и полученное остаточное напряжение от трехфазных входов напряжения. Таким образом, если измеренное остаточное напряжение используется для межвитковой защиты, то измеренное остаточное напряжение от распределительного трансформатора на нейтрали генератора не может использоваться для 95% защиты статора от замыкания на землю, использующую одно реле.

P344/5 имеет два выделенных входа напряжения смещения нейтрали VN1 и VN2, а также выделенный элемент напряжения нейтрали. Поэтому один вход напряжения нейтрали может быть использован для межвитковой защиты, а другой для 95% защиты статора от замыкания на землю, см. рисунок 7. Для получения более подробной информации по защите напряжения смещения нейтрали см. раздел 2.17

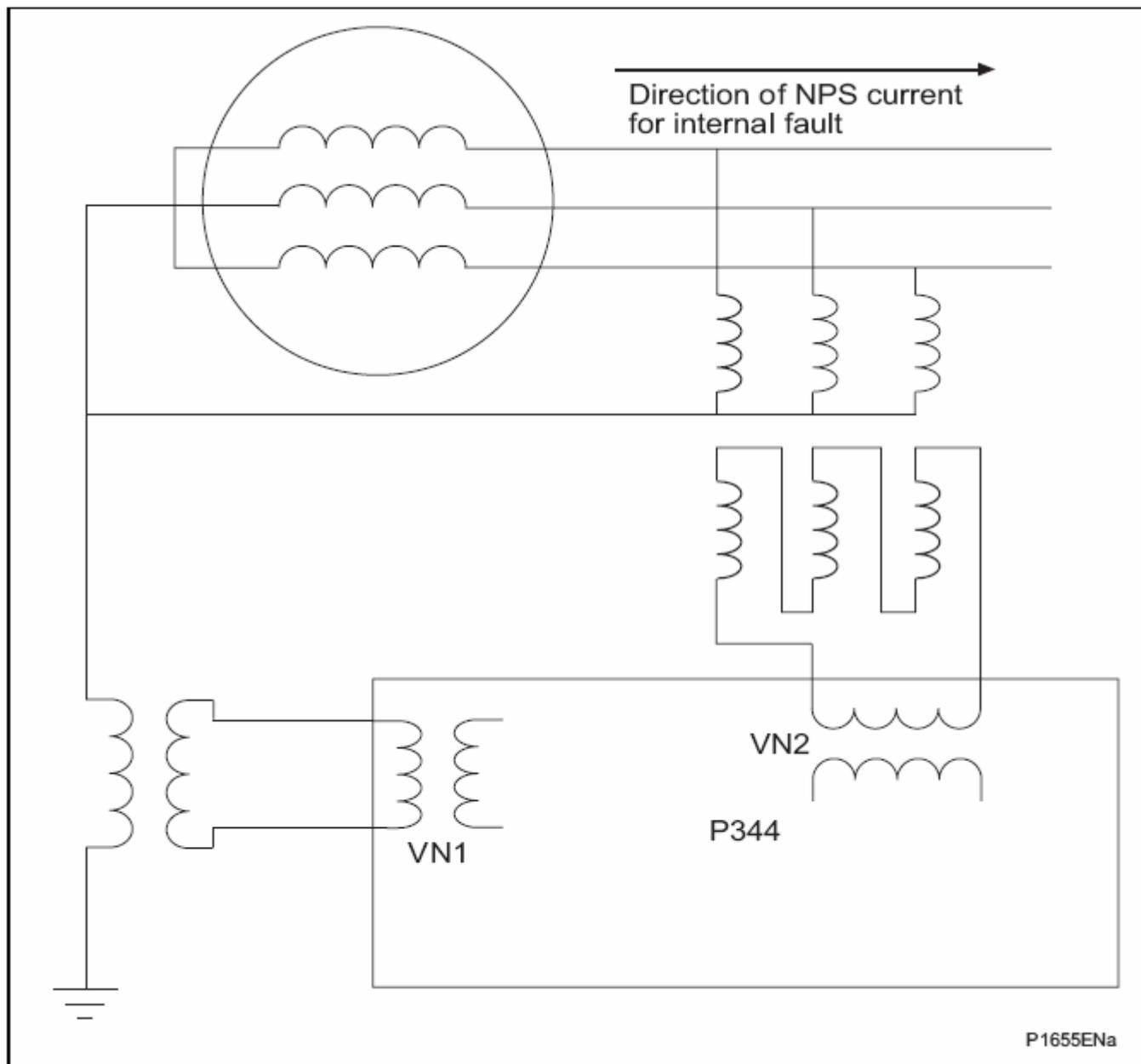


Рисунок 7: Межвитковая защита (VN2) и защита от замыкания на землю (VN1) путем измерения напряжения нулевой последовательности

Надписи на рисунке: Direction of NPS current for internal fault =
= Направление тока обратной последовательности для внутреннего замыкания

2.2.3.4.1 Блокировка защиты максимальной мощности обратной последовательности и МТЗ обратной последовательности для межвитковой защиты напряжения нулевой последовательности

Для предотвращения неправильного функционирования элемента напряжения нейтрали (нулевой последовательности), используемого для межвитковой защиты при внешнем межфазном замыкании или замыкании на землю, элемент может быть заблокирован при помощи элемента защиты фиксируемой мощности обратной последовательности ($S2 = I2 \times V2$, ненаправленная) и направленного элемента защиты тока обратной последовательности, если смотреть от генератора. Сигнал отключения подается только тогда, когда функционируют все элементы VNx , $S2$ и $I2$. Пример PSL для этой блокировки изображен на рисунке 8.

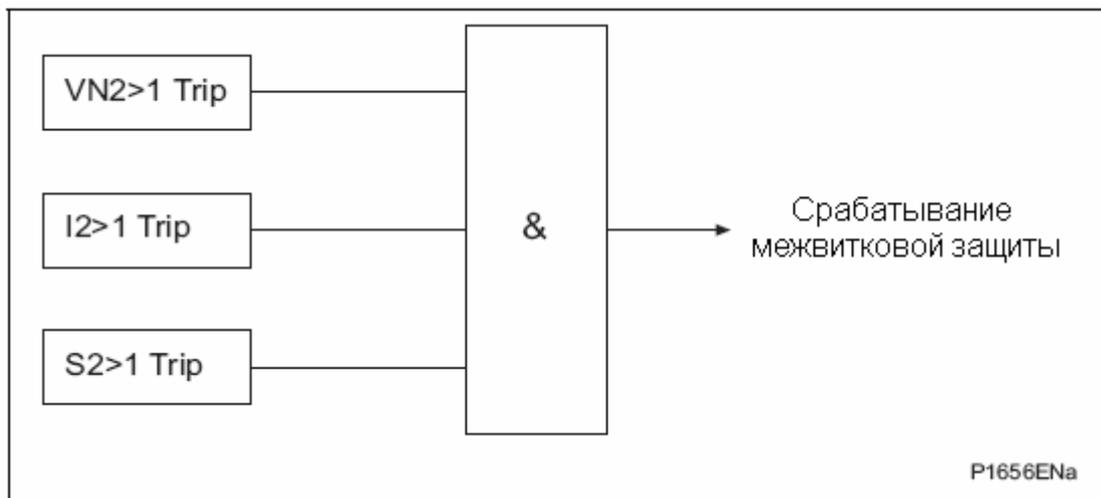


Рисунок 8: PSL блокировки межвитковой защиты

Для получения подробной информации о защите максимальной мощности обратной последовательности и направленной максимальной токовой защите обратной последовательности см. разделы 2.3 и 2.5

2.3 Защита максимальной мощности обратной последовательности (32NP)

Для межвитковой блокирующей логики предусмотрен элемент одноступенчатой защиты фиксируемой максимальной мощности обратной последовательности S2>1.

2.3.1 Установка параметров для защиты максимальной мощности обратной последовательности

Порог срабатывания по мощности должен быть установлен выше фиксируемой мощности обратной последовательности, что необходимо по причине максимальной асимметрии стандартной нагрузки в системе. Обычно он устанавливается на стадии ввода в эксплуатацию, благодаря чему измерительная функция реле служит для отображения фиксируемой мощности стоячей волны напряжения обратной последовательности и уставки, превышающей данное значение не менее, чем на 20%.

Данный элемент применяется, в первую очередь, для обеспечения блокирующего сигнала для межвитковой защиты. Поэтому можно провести ассоциацию с небольшой выдержкой по времени, которая меньше времени срабатывания защиты напряжения смещении нейтрали.

2.4 Максимальная токовая защита от междуфазных замыканий (50/51)

В реле P34x предусмотрен четырехступенчатый направленный/ненаправленный элемент максимального тока. Этот элемент может быть использован для резервной защиты с выдержкой времени, а также для обеспечения защиты с высокими значениями уставок, что необходимо для обеспечения быстрого срабатывания при коротких замыканиях генератора.

Первые две ступени имеют характеристику выдержки времени – это либо обратозависимая выдержка (IDMT), либо независимая выдержка (DT). Третья и четвертая ступени имеют независимую выдержку времени, значение которой может быть установлено на ноль для мгновенного срабатывания. Каждая ступень может быть введена или выведена.

Этот элемент использует входы реле I_A, I_B, I_C и может питаться от трансформаторов тока главных выводов или нейтрали генератора (в зависимости от подключения).

2.4.1 Функция удержания таймера

Данная функция может оказаться полезной при ступенчатой выдержке времени с электромеханическими реле максимального тока, которые имеют выдержки времени сбрасывания. Она также делает элемент чувствительным к условиям выпадения из синхронизма при циклическом срабатывании элемента во время выпадения генератора из синхронизма.

Функция удержания таймера также может использоваться для снижения времени устранения короткого замыкания при наличии перемежающихся коротких замыканий. В случае, если время сброса реле максимального тока можно охарактеризовать как мгновенное, реле будет постоянно сбрасываться и не будет отключаться пока замыкание не станет постоянным. Благодаря использованию функции удержания таймера реле будет интегрировать импульсы тока короткого замыкания, снижая при этом время устранения короткого замыкания.

2.4.2 Установка параметров для максимальной токовой защиты (MTЗ)

Первая и вторая ступени MTЗ выбираются при установке значения ячейки " $I>1/2$ Function (1/2 CT.I>:ФУНКЦ.)" на обратнoзависимую или независимую выдержку. Первая вторая ступени отключаются при установке ячейки " $I>1/2$ Function (1/2 CT.I>:ФУНКЦ.)" в положение 'Disabled' (Выведена). В первой и второй ступенях предусмотрена резервная защита от замыканий на генераторе и системе. Резервную защиту необходимо согласовать с общей защитой для выделения системных замыканий. Для этого следует соответствующим образом установить токовый порог (" $I>1/2$ Current Set (1/2 CT.I>:УСТАВК)") и выдержку времени.

" $I>1$ TMS"	- для кривых характеристик IEC;
" $I>1$ Time Dial"	- для кривых характеристик US/IEEE;
" $I>1$ Time Delay"	- для независимой выдержки.

Для обеспечения резервной защиты генератора и системы защитный элемент должен питаться от трансформаторов тока, подключенных к главным выводам генератора. Если для этого используется сторона нейтрали генератора, то элемент будет обеспечивать защиту только системы (если генератор не подключен параллельно к другому источнику питания).

Третья и четвертая ступени MTЗ выбираются при установке значения ячейки " $I>3/4$ Function (3/4 CT.I>:ФУНКЦ.)" на независимую выдержку (DT). Тем самым обеспечивается эксплуатационная характеристика для независимой выдержки. Третья и четвертая ступени отключаются при установке ячейки " $I>3/4$ Function" в положение 'Disabled' (Выведена). При использовании трансформаторов тока главных выводов третья и четвертая ступени могут работать как мгновенные MTЗ, обеспечивая защиту от внутренних замыканий генератора. Уставка тока для третьей и четвертой ступени " $I>3/4$ Current Set (3/4 CT.I>:УСТАВК)" может быть равна 120% максимального значения замыкания генератора, обычно это 8-кратный ток полной нагрузки. Время срабатывания " $I>3/4$ Time Delay (3/4 CT.I>:СТУП.t)" необходимо установить на 0 для мгновенного срабатывания. В результате этого ступень будет устойчива к внешним замыканиями, поскольку ток замыкания генератора будет ниже токовой уставки для ступени. При замыканиях внутри генератора ток замыкания будет поступать от системы, и его значение превысит токовую уставку для второй ступени, что приведет к срабатыванию защиты и быстрому устранению внутреннего замыкания.

Направленная MTЗ в целом не требуется для генераторов, так как трансформаторы тока нейтрали генератора обычно используются MTЗ, но она необходима для совместимости с другим оборудованием.

2.5 Максимальная токовая защита (46OC) обратной последовательности (NPS)

При применении стандартной фазовой максимальной токовой защиты уставка элементов максимального тока должны быть выше уставки тока максимальной нагрузки, ограничивая, таким образом, чувствительность элемента. Большинство схем защиты также используют элемент защиты от замыкания на землю, который увеличивает чувствительность к замыканиям на землю. Однако, существует возможность возникновения определенных замыканий, которые такие схемы могут не обнаруживать.

Асинхронное замыкание вызовет ток обратной последовательности некоторой величины. Таким образом, элемент максимальной токовой защиты обратной последовательности срабатывает как при межфазных замыканиях, так и при однофазных замыканиях на землю. В следующем разделе описывается, как может применяться максимальная токовая защита обратной последовательности в сочетании со стандартной защитой от замыкания на землю и максимальной токовой защитой. Описание помогает в решении некоторых менее распространенных проблем, связанных с применением этой защиты.

- Элементы максимальной токовой защиты обратной последовательности имеют большую чувствительность к межфазным коротким замыканиям через большое активное сопротивление там, где элементы максимальной токовой защиты от замыканий на фазу могут не срабатывать. Зависимая от напряжения максимальная токовая защита и защита минимального импеданса обычно используются для обеспечения резервной защиты генератора от коротких замыканий на фазу в системе. Эта защита более чувствительна, чем просто защита максимального тока. Однако, максимальная токовая защита обратной последовательности может также использоваться для обеспечения чувствительной резервной защиты от межфазных коротких замыканий.

Примечание: максимальная токовая защита обратной последовательности не обеспечивает резервную защиту системы от трехфазных коротких замыканий.

- В отдельных случаях реле защиты, срабатывающее при замыкании на землю, может не определять остаточный ток из-за конфигурации системы. Например, реле защиты, срабатывающее при замыкании на землю со стороны "треугольника" трансформатора со схемой соединения "треугольник - звезда" не в состоянии определять замыкания на землю со стороны "звезда".

Однако, при замыкании ток обратной последовательности будет присутствовать на обеих сторонах трансформатора независимо от конфигурации трансформатора. Поэтому для того, чтобы обеспечить резервную защиту с выдержкой по времени при неустранимых асимметрических коротких замыканиях ниже по схеме может задействоваться элемент максимальной токовой защиты обратной последовательности.

- Во вращающихся машинах большое количество тока обратной последовательности может представлять опасность для машины из-за теплового воздействия на ротор. Поэтому может применяться элемент максимальной токовой защиты обратной последовательности для того, чтобы обеспечить резервную защиту тепловой защиты, которая обычно применяется на вращающейся машине, см. раздел 2.14.
- Может потребоваться просто сигнализировать о присутствии токов обратной последовательности в системе. Затем операторы могут изучить причину возникновения асимметричного тока.
- Направленный элемент максимальной токовой защиты обратной последовательности может использоваться для предотвращения неправильного функционирования защиты максимального напряжения нулевой последовательности, которая используется для обеспечения межвитковой защиты при коротком замыкании между фазами или на землю в системе, см. раздел 2.2.3.4.

2.5.1 Установка параметров для максимальной токовой защиты обратной последовательности

Порог срабатывания по току должен быть установлен выше, чем ток обратной последовательности из-за максимально асимметричной нагрузки в системе. Настройку можно произвести практически на этапе введения оборудования в эксплуатацию, используя функцию измерения в реле для того, чтобы отобразить постоянный ток обратной последовательности, а также уставку, которая, по меньшей мере, на 20% выше этого числового значения. Там, где требуется, чтобы элемент защиты обратной последовательности срабатывал при обнаружении особых асимметричных коротких замыканий, необходимо, чтобы точная пороговая уставка основывалась на анализе отдельного короткого замыкания для конкретной системы из-за встречающихся сложностей. Однако для того, чтобы гарантировать функционирование защиты, уставка срабатывания по току должна быть установлена приблизительно на 20% ниже наименьшего вычисленного значения подпитки током короткого замыкания обратной последовательности по отношению к конкретному удаленному короткому замыканию. Обратите внимание, что на практике, если необходимая информация по короткому замыканию недоступна, уставку нужно выставлять, придерживаясь минимального порога, который был установлен ранее, а также задействуя подходящую выдержку по времени для согласования с устройствами ниже по схеме. Это также необходимо для предотвращения нарушения питания вследствие случайного срабатывания этого элемента.

Как сказано выше, правильная уставка выдержки по времени для этой функции очень важна. Следует также отметить, что этот элемент первоначально применяется для обеспечения резервной защитой других защитных устройств или для подачи аварийного сигнала. Он также может использоваться в сочетании с защитой напряжения смещения нейтрали и защитой максимальной мощности обратной последовательности для межвитковой защиты. Поэтому, на практике, если этот элемент будет использоваться для обеспечения резервной защиты или подачи аварийного сигнала, это будет связано с большой задержкой по времени. Если эта защита используется в качестве направленного элемента защиты максимального тока обратной последовательности в сочетании с защитой напряжения смещения нейтрали и защитой максимальной мощности обратной последовательности для межвитковой защиты, тогда необходимо выставить малую выдержку по времени (меньше чем время срабатывания защиты напряжения смещения нейтрали), чтобы гарантировать стабильность при межфазных коротких замыканиях и внешних коротких замыканиях на землю.

Когда эта защита используется в качестве резервной или для подачи аварийного сигнала, необходимо выставить выдержку по времени таким образом, чтобы она превышала время срабатывания других защитных устройств (минимальная погрешность) системы, которые могут реагировать на асимметричные короткие замыкания. Это могут быть, например, такие устройства, как:

- Элементы максимальной токовой защиты от замыкания на фазу
- Элементы защиты от коротких замыканий на землю
- Резервная защита системы - зависимый от напряжения максимальный ток/минимальный импеданс
- Разомкнуты элементы проводника
- Элементы тепловой защиты обратной последовательности

2.5.2 Задание направленности элемента защиты максимального тока обратной последовательности

Для того, чтобы определить, является ли межфазное короткое замыкание или короткое замыкание на землю внутренним или внешним по отношению к машине, необходимо задействовать направленное управление элементом. Направленность достигается путем сравнения угла между обратной величиной напряжения обратной последовательности фаз ($-V_2$) и величиной тока обратной последовательности (I_2).

Элемент может работать как в прямом направлении, так и в обратном. Для того, чтобы обеспечить оптимальную производительность, выбирается подходящая уставка ($I_2 > \text{Char. Angle (Fi M.C.)}$) характеристического угла реле. Необходимо, чтобы эта уставка равнялась фазовому углу тока обратной последовательности по отношению к обратной величине напряжения обратной последовательности ($-V_2$) для того, чтобы быть в центре характеристики направленности.

Угол, который образуется между V_2 и I_2 в условиях замыкания, имеет прямую зависимость от импеданса источника обратной последовательности системы. Однако, стандартные уставки для этого элемента приведены ниже:

- Для системы передачи электроэнергии RCA необходимо установить на -60° .
- Для системы распределения RCA необходимо установить на -45° .

Для срабатывания направленных элементов защиты обратной последовательности реле должно обнаруживать поляризующее напряжение ниже минимального порога, " $I_2 > V_2 \text{pol Set (I}_2 > \text{УСТАВКА U}_2 > \text{)}$ ", который необходимо установить таким образом, чтобы он превышал напряжение обратной последовательности в установившемся состоянии, которое можно определить во время введения оборудования в эксплуатацию по результатам измерений обратной последовательности в реле.

2.6 Резервная защита системы (51V/21)

Генератор – это источник электрической энергии, который будет питать системные замыкания до тех пор, пока они не будут устранены системной защитой. В таких случаях для генератора следует применить резервную защиту, что позволит устранить замыкания при несрабатывании выключателей общей защиты.

Ток замыкания изменяется на протяжении всего цикла замыкания, что видно на кривой затухания генератора, рис. 9. Характеристика тока замыкания определяется работой автоматического регулятора напряжения (АРН) на генераторе. В некоторых типах генераторов ток замыкания создает "поддерживающий" контур от АРН, который удерживает его на относительно высоком уровне. Если этот регулятор установлен на ручное управление или поддерживающие контуры отсутствуют, то в этих случаях ток замыкания может быть ограничен, что скажется на замедленном срабатывании резервной защиты. В худшем случае значение тока замыкания упадет ниже значения полной нагрузки генератора ("full load current" на рисунке), в результате чего не работает МТЗ с уставкой выше тока полной нагрузки.

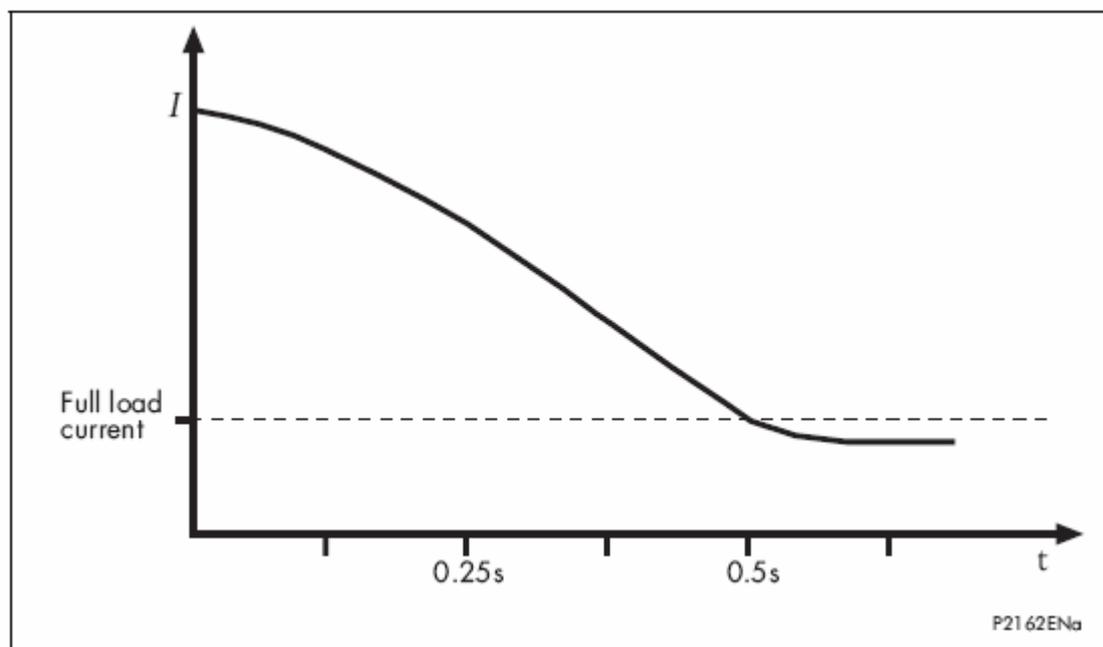


Рисунок 9: Стандартная кривая затухания тока замыкания генератора

Надписи на рисунке: Full load current = Ток полной нагрузки

Поэтому при появлении замыкания резервная защита должна быстро сработать и, в то же время, не срабатывать в режимах нагрузки. Для удовлетворения этих двух требований обычно используется два метода резервной защиты системы:

9. МТЗ с пуском по напряжению. Наличие замыкания фиксируется элементом минимального напряжения (уставка реле отрегулирована соответствующим образом). Такая защита имеет два режима: "с управляемым напряжением" и "с ограниченным напряжением".
10. Защита минимального сопротивления. Этот элемент контролирует полное сопротивление системы на выводах генератора. При падении значения импеданса ниже установленного порога, защитный элемент срабатывает.

Режим работы определяется выбором пользователя. Тем не менее, в некоторых случаях определенные параметры системы могут стать причиной выбора первого режима защиты, а не второго, и наоборот.

Для резервной защиты системы в реле P34x предусмотрен защитный элемент, который может быть настроен как для МТЗ с зависимостью от напряжения, так и для защиты минимального сопротивления. Работа этого элемента описывается в следующих разделах.

Данный элемент питается от фазных токов, значения которых измеряются входами I_A, I_B, I_C реле.

2.6.1 Максимальная токовая защита с пуском по напряжению

Во время замыкания напряжение на выводах генератора падает. Таким образом, для контроля токовой уставки может использоваться элемент измерения напряжения. При обнаружении замыкания значение токовой уставки снижается на коэффициент K. В результате этого замыкания устраняются, несмотря на наличие затухающей характеристики генератора. Для контроля элемента МТЗ каждой фазы используются линейные напряжения:

Фазный ток	Управляющее напряжение
I _a	V _{ab}
I _b	V _{bc}
I _c	V _{ca}

Кроме этого, предусмотрен одноступенчатый элемент ненаправленной МТЗ. Этот элемент имеет временной параметр – либо обратозависимое минимальное время (IDMT), либо определенное время (DT). Элемент может питаться от трансформаторов тока со стороны главных выводов или нейтрали генератора.

При выборе МТЗ с пуском по напряжению этот элемент может работать в двух режимах: МТЗ с управляемым напряжением или МТЗ с ограниченным напряжением. Если он подключен непосредственно к шине, предпочтительнее будет использовать МТЗ с пуском по напряжению.

2.6.1.1 Установка параметров для МТЗ с управляемым напряжением

Этот режим защиты выбирается в ячейке меню "Backup Function (ФУНКЦИЯ РЕЗ.3-Т)" путем установки параметра 'Voltage Controlled'. Защита выводится при установке параметра 'Disabled' в этой же ячейке.

Токовая уставка ("V Dep OC I> Set (MT3/V: I> CPAБ.)") должна иметь первичное рабочее значение, превышающее максимальный ток нагрузки генератора.

Коэффициент токовой уставки ("V Dep OC k Set (MT3/V:k УСТ.)") регулирует ее значение при низком напряжении. Значение коэффициента необходимо установить таким образом, чтобы первичный рабочий ток не превышал 50% минимального значения тока устойчивого замыкания (многофазного замыкания на удаленном конце фидера; причем генератор является единственным источником питания). Это обеспечит соответствующую резервную защиту от остаточных замыканий на данном фидере.

Характеристики этой защиты следует согласовать с характеристиками защиты фидера. Для этого необходимо соответствующим образом установить рабочие параметры ("V Dep OC Char (MT3/V: X-КА)") и выдержку времени ("V Dep OC TMS (MT3/V: TMS)" - для характеристик IEC; "V Dep OC T Dial (MT3/V: КРАТ.ВРЕМ)" – для характеристик US/IEEE; "V Dep OC Delay (MT3/V: t CPAБ.)" - для независимой выдержки).

При наличии параллельных источников питания, замыкание на удаленном конце фидера может не привести к существенному снижению напряжения для срабатывания защиты. В этих случаях для устранения замыкания можно использовать временной элемент минимального напряжения (см. раздел 2.7). Также можно применить тепловую защиту обратной последовательности (см. раздел 2.14).

Уставка напряжения (для переключения параметров нагрузки и замыкания) "V Dep OC V<1 Set (MT3/V: V<1 УСТ.)" должна превышать значение напряжения на выводах (если необходима резервная защита). На системе с глухим заземлением элемент можно сделать нечувствительным к замыканиям на землю путем уставки напряжения ниже 57% Vn (минимальное междуфазное напряжение для однофазного замыкания на землю). Как правило, устанавливают 30% Vn. Уставка напряжения на значение выше 57% Vn позволит реле срабатывать как при фазных, так и при замыканиях на землю.

Более точные значения уставок можно определить при помощи следующих формул.

Минимальный ток замыкания (для многофазного замыкания на удаленном конце фидера) определяется следующим образом. Расчеты основаны на возбуждении при нулевой нагрузке, без гашения поля или работы автоматического регулятора напряжения во время замыкания.

Трехфазное замыкание:

$$I_f = \frac{E_n}{\sqrt{(nR_f)^2 + (X_s + nX_f)^2}}$$

Междуфазное замыкание:

$$I_f = \frac{\sqrt{3}E_n}{\sqrt{(2nR_f)^2 + (X_s + X_2 + 2nX_f)^2}}$$

Где:

I_f = Минимальный первичный ток генератора при многофазном замыкании на конце фидера

E_n = Внутренняя ЭДС генератора при нулевой нагрузке фаза-нейтраль

X_s = Синхронное реактивное сопротивление генератора по продольной оси

X_2 = Реактивное сопротивление обратной последовательности генератора

R_f = Сопротивление прямой последовательности фидера

X_f = Реактивное сопротивление прямой последовательности фидера

n = количество параллельно подключенных генераторов

Устойчивое напряжение реле при внешнем замыкании рассчитывается следующим образом:

Трехфазное замыкание:

$$V_{\phi-\phi} = \frac{E_n \sqrt{3} \sqrt{(nR_f)^2 + (nX_f)^2}}{\sqrt{(nR_f)^2 + (X_s + nX_f)^2}}$$

Междуфазное замыкание:

$$V_{\phi-\phi} = \frac{2E_n \sqrt{3} \sqrt{(nR_f)^2 + (nX_f)^2}}{\sqrt{(2nR_f)^2 + (X_s + 2nX_f)^2}}$$

Значение коэффициента токовой уставки ("V Dep OC k Set (MT3/V:k УСТ.)") следует установить таким образом, чтобы произведение "V Dep OC k Set (MT3/V:k УСТ.)" x "V Dep OC I Set (MT3/V: I СРАБ.)" было меньше значения I_f , рассчитываемого выше. Значение уставки напряжения "V Dep OC V<1 Set (MT3/V: V<1 УСТ.)" должно быть больше значения $V_{\phi-\phi}$.

MT3 с управляемым напряжением обеспечена таймером. При установке таймера на значение, не равное нулю, происходит задержка срабатывания защитного элемента.

2.6.1.2 Преобразование вектора напряжения для использования с трансформаторами с подключением треугольник-звезда

Для улучшения чувствительности защиты минимального импеданса и защиты максимального тока, зависящего от напряжения, для межфазных замыканий высокого напряжения, на которые подается питание через повышающий трансформатор Yd1 или Yd11, необходимо включение соответствующего блока трансформации сигнала напряжения, как части уставок P34x. Ранее подобные корректировки сигналов напряжения адресовались путем адаптации измерения напряжения фаза-нейтраль или использования промежуточного ТН с соединением треугольник - звезда. Подобный подход нельзя применять с реле P34x, поскольку входы напряжения реле используются другими функциями защиты и измерения, на которые корректировка сигнала напряжения окажет нежелательное влияние.

В случае, если генератор подключен к шинному проводу через повышающий трансформатор с соединением треугольник – звезда, глухое межфазное короткое замыкание на шинном проводе высокого напряжения (HV), вызовет только частичную межфазную лавину напряжения на выводах генератора. Функции максимального тока зависящего от напряжения и минимального импеданса (51V/21) могут оказаться недостаточно чувствительными для обнаружения таких коротких замыканий. С другой стороны короткое замыкание фаза-земля на стороне высокого напряжения будет причиной низкого межфазного напряжения на стороне подключения треугольником и (51V/21) может давать неверный отклик. Такие короткие замыкания должны обнаруживаться защитой от замыкания на землю высокого напряжения.

Для правильной координации функции максимального тока, зависящего от напряжения с другими реле системы, в которой есть повышающий трансформатор с соединением треугольник-звезда, предусмотрена трансформация вектора внутреннего напряжения. Это позволяет защите 51V/21 использовать полученные напряжения с таким же межфазным соотношением, что и у стороны высоких напряжений.

Если выбран вариант уставки “Delta-Star” (Треугольник-Звезда) для уставки “Vector Rotation (СДВИГ ФАЗЫ U)”, то зависимости напряжения для трех элементов максимального тока, зависящего от напряжения и элементов будут представлены в следующем виде. Обратите внимание, что зависимости напряжения указаны для повышающего трансформатора Yd11, но величина напряжения также применима для повышающих трансформаторов Yd1, Yd5 или Yd7.

Для Ia или Za $V = \text{величина } (V_{ab} - V_{ca})/\sqrt{3}$

Для Ib или Zb $V = \text{величина } (V_{bc} - V_{ab})/\sqrt{3}$

Для Ic или Zc $V = \text{величина } (V_{ca} - V_{bc})/\sqrt{3}$

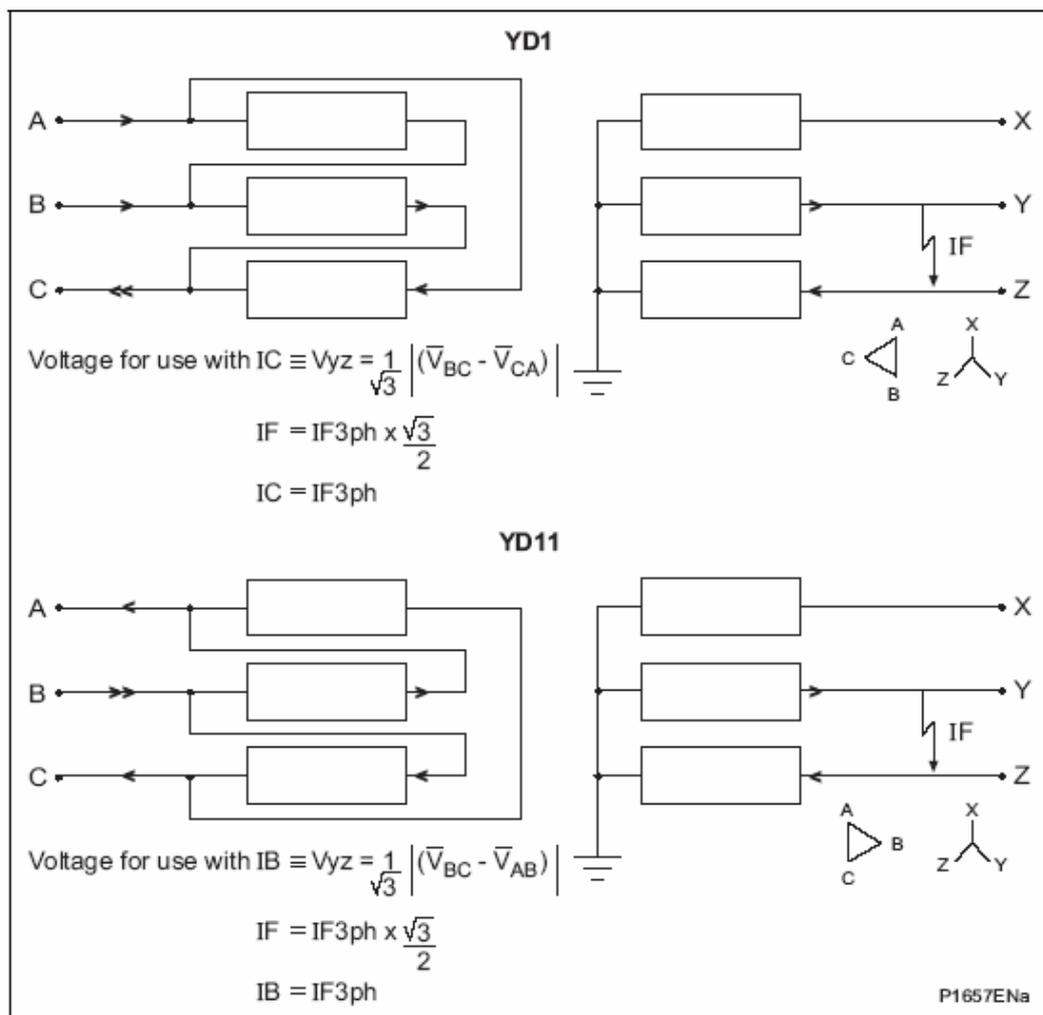


Рисунок 10: Преобразование вектора напряжения для трансформатора с подключением треугольник-звезда

Надписи на рисунке: Voltage for use with = Напряжение для использования с...

2.6.1.3 Установка параметров для МТЗ с ограниченным напряжением

Этот режим защиты выбирается в ячейке меню "Backup Function (ФУНКЦИЯ РЕЗ.3-Т)" путем установки параметра 'Voltage Restrained'. Защита выводится при установке параметра 'Disabled' в этой же ячейке.

Критерии, по которым следует проводить установку параметров для МТЗ с ограниченным напряжением, сходны с критериями, приведенными для режима с управляемым напряжением (см. раздел 2.6.1.1 и 2.7.1.4). Наиболее чувствительные уставки реле следует согласовать с общей защитой (т.е. для напряжений, значения которых меньше уставки "V Dep OC V<2 Set (MT3/V: V<2 УСТ.)"). Значения токового порога, временные характеристики и задержки можно устанавливать по принципам, описанным в разделе 2.6.1.1 (защита с управляемым напряжением).

МТЗ с ограниченным напряжением должна срабатывать при замыкании на удаленном конце фидера. Если генератор подключен через повышающий трансформатор, то при замыканиях на землю в месте подсоединения реле будет отсутствовать нулевая последовательность. Поэтому в этом случае будет целесообразно использовать в качестве резервной тепловую защиту обратной последовательности. Тепловой элемент обратной последовательности также обеспечит резервную защиту и для междуфазных замыканий. Рассмотрим обнаружение элементом трехфазного замыкания на удаленном конце фидера (единственным источником питания является защищаемый генератор).

Для такого замыкания можно рассчитать уровень тока и напряжения в месте подсоединения реле. Следует убедиться, что значение токовой уставки реле ("V Dep OC k Set (MT3/V:k УСТ.)" x "V Dep OC I Set (MT3/V: I СРАБ.)") установлено ниже 50% значения тока замыкания. Значение порога напряжения ("V Dep OC V<2 Set (MT3/V: V<2 УСТ.)") следует установить выше значения напряжения на реле. При частых замыканиях (которые могут вызвать высокие токи и низкие напряжения) будет отсутствовать необходимость в снижении токовой уставки. Наоборот, снижение токовой уставки в таких случаях может осложнить согласование с МТЗ фидера (если этого еще не произошло).

Устойчивые значения первичного тока и напряжения для трехфазного замыкания на удаленном конце фидера рассчитываются следующим образом:

Где:

I_f = Минимальный первичный ток генератора при многофазном замыкании на конце фидера

E_n = Внутренняя ЭДС генератора при нулевой нагрузке фаза-нейтраль

X_s = Синхронное реактивное сопротивление генератора по продольной оси

X_2 = Реактивное сопротивление обратной последовательности генератора

X_t = Реактивное сопротивление повышающего трансформатора

R_f = Сопротивление прямой последовательности фидера

X_f = Реактивное сопротивление прямой последовательности фидера

n = количество параллельно подключенных генераторов

Все вышеуказанные значения относятся к генераторной стороне трансформатора.

Значение уставки верхнего порога напряжения "V Dep OC V<1 Set (MT3/V: V<1 УСТ.)" необходимо установить ниже минимального откорректированного уровня междуфазного напряжения для внутреннего короткого замыкания на землю высокого напряжения. Это сделает элемент нечувствительным к замыканиям. При глухом заземлении значение этого напряжения должно быть установлено на минимум 57% номинального рабочего напряжения.

MT3 с ограниченным напряжением обеспечена таймером см. раздел 2.6.1.1. При установке таймера на значение, не равное нулю, происходит задержка срабатывания защитного элемента.

2.6.2 Защита по малому импедансу

Защита по малому импедансу является альтернативой максимальной токовой защите, зависящему от напряжения, и зачастую является более предпочтительной из-за легкости настройки. Независимая выдержка по времени может представлять трудности для обеспечения координирования с максимальными токовыми защитами с обратозависимой выдержкой времени ниже по схеме, но будет легче обеспечить координирование с дистанционной защитой.

Измерение импеданса основывается на межфазном напряжении и токе фаза-нейтраль. Это необходимо для того, чтобы защиты была невосприимчива к замыканиям на землю на стороне низкого напряжения блока генератор – трансформатор или для генератора напрямую, подключенному к шинпроводам. Основной целью является обеспечение резервной защиты для замыканий фаза-фаза и трехфазных замыканий. Защита от замыкания на землю должна быть настроена на устранение коротких замыканий.

Защита по малому импедансу имеет 2 ступени защиты импеданса. Для генераторных трансформаторов одна ступень может использоваться для распространения на повышающий трансформатор, а другая ступень для распространения на энергетическую систему для обеспечения 2-х зон защиты.

2.6.2.1 Установка параметров для функции минимального импеданса

Защита по малому импедансу может быть выбрана установкой "Backup Function (ФУНКЦИЯ РЕЗ.3-Т)" на 'Under Impedance'. Защита будет выведена, если "Backup Function (ФУНКЦИЯ РЕЗ.3-Т)" установлена на 'Disabled' ("Выведена"). Если используется межфазное напряжение при измерении импеданса, уставки импеданса должны быть увеличены на коэффициент $\sqrt{3}$ для расчета данного значения для генераторов, подключенных напрямую, а также для генераторов, подключенных не напрямую (трансформатор). Для генераторов, подключенных к шинпроводам через повышающий трансформатор с соединением треугольник-звезда, вариант уставки "Delta-Star" (треугольник-звезда) должен быть выбран в уставке "Vector Rotation" (СДВИГ ФАЗЫ U), см. раздел 2.6.1.2.

Уставка первой ступени защиты импеданса “Z<1 Setting (Z<1 УСТАВКА)” должна быть выставлена на 70% максимального импеданса нагрузки. Это обеспечит необходимый запас для кратковременных перегрузок, скачков напряжения и т.д. и в то же время обеспечит надлежащую резервную защиту для коротких замыканий генератора, блока генератор-трансформатор и шинпровода.

Например,

$$Z_{<1} = \sqrt{3} \times 0.7 \times \left(\frac{V_{ph-n}}{I_{fio} \times 1.2} \right) \quad \text{с учётом 20\% перегрузки тока полной нагрузки генератора.}$$

Уставка второй ступени защиты импеданса “Z<2 Setting (Z<2 УСТАВКА)” может быть выставлена на 50-60% импеданса блока генератор-трансформатор. Данная ступень может быть использована для ускорения срабатывания для коротких замыканий, которые возникают ближе к генератору

Выдержка времени “Z<1 Time Delay (Z<1 t СРАБ)” должна позволять координирование с устройствами максимального тока ниже по схеме и устройствами дистанционной защиты и с защитой по малому импедансу зоны 2. Выдержка времени “Z<1 Time Delay (Z<1 t СРАБ)” должна позволять координирование с защитой фазного короткого замыкания при низком напряжении генератора и трансформатора.

Защита по малому импедансу снабжена функцией удержания таймера, как описано в разделе 2.6.1.1. Установка удержания таймера “Z< tRESET (Z<1 t ВОЗВ.)” на значение отличное от нуля, задерживает сброс таймера элемента защиты на это значение.

2.7 Защита минимального напряжения (27)

Защита минимального напряжения не входит в число обычно используемых защит генератора. Тем не менее, элементы минимального напряжения иногда применяются в качестве блокировочных элементов для других защит, например, при потере поля. В реле P34x такая блокировка может быть достигнута с помощью логических схем реле. Защита минимального напряжения может быть использована для резервной защиты в тех случаях, когда сложно обеспечить соответствующую чувствительность с помощью элементов защиты напряжения / защиты по минимальному сопротивлению / защиты обратной последовательности.

При использовании изолированного генератора или блока генераторов на длительное время может возникнуть минимальное напряжение. Это может произойти по нескольким причинам. Одна из них – неисправность автоматического регулятора напряжения (АРН). Длительное состояние минимального напряжения может неблагоприятно отразиться на работе генератора, особенно, если для питания вспомогательного оборудования генератора - насосов смазки, нагнетательных вентиляторов и т.д. – используется дополнительный трансформатор. В таких ситуациях решением будет применение защиты минимального напряжения с выдержкой времени.

2.7.1 Установка параметров для защиты минимального напряжения

Для первой ступени в ячейке “V<1 Function (ФУНКЦИЯ V<1)” можно выбрать следующие параметры времени: 'IDMT' (обратнозависимая выдержка), 'DT' (независимая выдержка) или 'Disabled' (Выведена). Для второй ступени можно установить только независимую выдержку ('DT') и параметр Enabled/Disabled (Введена/Выведена) в ячейке “V<2 Status (СТАТУС V<2)”. Соответствующим образом следует настроить выдержку времени (“V<1 TMS (V<1 TMS)” - для обратнозависимой характеристики; “V<1 Time Delay (V<1 t СРАБ.)”, “V<2 Time Delay (V<2 t СРАБ.)” - для независимой характеристики).

Защита минимального напряжения может работать как от междуфазного, так и от напряжения фаз-нейтраль (выбирается в ячейке “V< Measur't Mode (V< РЕЖ.ИЗМЕР)”. Режим работы (однофазный или трехфазный) выбирается в ячейке “V<1 Operate Mode (V< РЕЖИМ РАБОТЫ)”. При выборе параметра 'Any Phase' (любая фаза) элемент срабатывает, когда напряжение какой-либо фазы падает ниже значения уставки. При выборе 'Three Phase' (трехфазный) элемент срабатывает, если напряжения всех трех фаз падают ниже значения уставки.

В случае, когда данная защита используется в качестве резервной, значение уставки напряжения (“V<1 Voltage Set (V<1 УСТ.СРАБ.)”) должно быть выше значения устойчивого междуфазного напряжения реле при трехфазном замыкании на удаленном конце любого фидера, подключенного к шинам генератора. Следует учитывать влияние параллельных генераторов, которые стремятся поддерживать напряжение основного генератора. Если режим работы – междуфазный, то можно уменьшить чувствительность элемента для замыканий на землю, т.е. установить ячейку “V< Measur't Mode (V< РЕЖ.ИЗМЕР.)” в положение 'Phase-Phase' (междуфазный). Для обнаружения любых междуфазных замыканий ячейку “V< Operate Mode (V< РЕЖИМ РАБОТЫ)” следует установить в положение 'Any Phase' (любая фаза). Формулы для определения междуфазного напряжения реле приведены в разделе 2.6.1.1.

Обычно в качестве рабочей характеристики устанавливают определенное время (в ячейке "V<1 Function (ФУНКЦИЯ V<1)" параметр 'DT'). Выдержку времени ("V<1 Time Delay (V<1 t СРАБ.)") необходимо согласовать с общими защитами, а также с резервной защитой системы (если введена). Кроме этого, значение выдержки должно быть достаточно длительным, чтобы предотвратить срабатывание защиты при кратковременных понижениях напряжения. Это может произойти во время устранения замыканий в энергосистеме или при запуске местных генераторов. Обычно необходимая выдержка может быть выше 3-5 с.

Вторая ступень может использоваться в качестве сигнализации для извещения оператора об изменении напряжения. Это имеет смысл, когда генератор работает с АРН на ручном управлении.

Если реле используется для защиты при подключении генератора параллельно с местной энергосистемой (например, согласно требованиям G59 в Объединенном Королевстве), то значения уставок для элемента могут быть рекомендованы работниками данного ведомства. Значения этих уставок должны предотвратить включение генератора в сеть (т.е. с напряжением, превышающим установленные нормы).

Во избежание срабатывания любой ступени защиты минимального напряжения во время отключения генератора, в реле предусмотрена специальная логическая схема "poledead" ("логика отключенного выключателя"). Данная схема включается при установке ячейки "V Poledead Inh" в положение 'Enabled' (Введена). Это означает, что при обнаружении состояния Poledead (т.е. значения всех фазных токов находятся ниже порога минимального тока, или отключен выключатель) работа элемента минимальной защиты будет приостановлена.

2.8 Защита максимального напряжения (59)

Перенапряжение на выводах генератора может возникнуть в том случае, если генератор работает, однако не подсоединен к энергосистеме, или генератор выдает энергию в автономную энергосистему. Такое же перенапряжение может возникнуть и в случае неполадки автоматического регулятора напряжения или в случае ошибки оператора при управлении АРН в ручном режиме. Для предотвращения возможного повреждения изоляции генератора, длительного перемагничивания генератора, неисправности в энергосистеме следует установить защиту максимального напряжения.

Когда же генератор синхронизирован с энергосистемой и другими источниками, то перенапряжение может возникнуть, если генератор незначительно нагружен подачей высокого емкостного зарядного тока энергосистемы. Перенапряжение также может быть следствием разделения системы, когда полная нагрузка генератора снижена, в то время как он все еще подключен к части первоначальной энергосистемы. В таких случаях быстрое срабатывание автоматического регулятора напряжения и стабилизатора генератора должны восстановить нормальный уровень напряжения. Тем не менее, для страховки от возможной неполадки регулятора напряжения или ошибки оператора при работе с АРН в ручном режиме рекомендуется установить защиту максимального напряжения. При использовании гидрогенераторов время срабатывания регуляторов скорости может быть таким большим, что происходит временное увеличение номинальной скорости на 200%. Даже при своевременном срабатывании регуляторов напряжения такое увеличение скорости может стать причиной перенапряжения 150%, что, в свою очередь, приведет к быстрому разрушению изоляции.

2.8.1 Установка параметров для защиты минимального напряжения

Для первой ступени в ячейке "V>1 Function (ФУНКЦИЯ V>1)" можно выбрать следующие параметры времени: 'IDMT' (обратнозависимая выдержка), 'DT' (независимая выдержка) или 'Disabled' (выведена). Для второй ступени можно установить только определенное время ('DT') и параметр Enabled/Disabled (введена/выведена) в ячейке "V>2 Status (СТАТУС V>2)". Соответствующим образом следует настроить выдержку времени ("V>1 TMS (V>1 TMS)" - для обратнозависимой характеристики; "V>1 Time Delay (V>1 t СРАБ.)", "V>2 Time Delay (V>2 t СРАБ.)" - для независимой характеристики).

Защита максимального напряжения может работать как от междуфазного, так и от напряжения фаз-нейтраль (выбирается в ячейке "V> Measur't Mode (V> РЕЖ.ИЗМЕР.)"). Режим работы (однофазный или трехфазный) выбирается в ячейке "V> Operate Mode (V> РЕЖИМ РАБОТЫ)". При выборе параметра 'Any Phase' (любая фаза) элемент срабатывает, когда напряжение какой-либо фазы падает ниже значения уставки. При выборе 'Three Phase' (трехфазный) элемент срабатывает, если напряжения всех трех фаз падают ниже значения уставки.

Обычно генераторы выдерживают длительное перенапряжение 5%. Устойчивость к более высокому значению определяется производителем генератора.

Для предотвращения срабатывания при замыканиях на землю элемент должен работать от междуфазных напряжений. Для этого ячейку "V>1 Measur't Mode (V>1 РЕЖ.ИЗМЕР.)" устанавливают в положение 'Phase-Phase', а "V>1 Operating Mode (V>1 РЕЖИМ РАБОТЫ)" - в положение 'Three Phase'. Значение порога максимального напряжения ("V>1 Voltage Set (V>1 УСТ.СРАБ.)") устанавливают на 100-120% номинального междуфазного напряжения реле (рассчитывается). Значение выдержки времени ("V>1 Time Delay (V>1 t СРАБ)") должно предотвратить нежелательное отключение защиты максимального напряжения в случае появления кратковременных перенапряжений, не представляющих опасности для станции; например, сброс нагрузки, при котором срабатывает АРН / стабилизатор. Обычно значение выдержки составляет 1-3 с. Для низких значений уставки порога напряжения устанавливают большее время выдержки.

Вторая ступень может быть использована для обеспечения мгновенной защиты максимального напряжения с высокими значениями уставок. Значение порога ("V>2 Voltage Set (V>2 УСТ.СРАБ.)") обычно устанавливают на 130-150% номинального междуфазного напряжения реле (рассчитывается), в зависимости от рекомендаций производителя. Для мгновенного срабатывания значение выдержки времени ("V>2 Time Delay (V>2 t СРАБ.)") следует установить на 0.

Если реле используется для защиты при подключении генератора параллельно с местной энергосистемой (например, согласно требованиям G59 в Объединенном Королевстве), то значения уставок для элемента могут быть рекомендованы работниками данного ведомства. Значения этих уставок должны предотвратить попадание энергии генератора (т.е. напряжения, превышающего установленные нормы) в сеть.

При выборе рабочего напряжения "фаза-нейтраль", следует убедиться, что элемент согласован с общими защитами на случай появления замыканий на землю, когда напряжение "фаза-нейтраль" значительно повышается.

2.9 Защита максимального напряжения обратной последовательности (47)

В случаях, когда подводящая питающая линия запрашивает коммутационную панель, которая подает питание на вращающийся механизм (например, двигатель), очень важным является правильная синхронизация и симметрирование источника питания переменного тока. Неправильное чередование фаз может привести к вращению в неправильном направлении любого из подключенных генераторов. Для некоторых гидромашин достаточно поменять две фазы для того, чтобы машина вращалась в противоположном направлении, в зависимости от которого она будет либо генератором, либо двигателем подающим воду.

Любой несимметричный режим в питании приведет к наличию составляющих обратной последовательности напряжения. В случае неправильного чередования фаз питающее напряжение будет на 100% состоять только из напряжения обратной последовательности.

Для таких случаев реле P34x имеет элемент защиты максимального напряжения обратной последовательности. Данный элемент отслеживает чередование входного напряжения и величину входного напряжения (обычно от ТН подключенного к шинопроводу). Данный элемент может использоваться в качестве проверки для гидрогенераторов, в которых чередование фаз позволяет проводить эксплуатацию машины в выбранном режиме в качестве генератора или в качестве двигателя.

Элемент максимального напряжения обратной последовательности также может быть использован для обеспечения дополнительной проверки, указывающей на наличие короткого замыкания фаза-фаза или фаза-земля для защиты максимального тока, зависящего от напряжения, в PSL. В этом случае время срабатывания защиты максимального напряжения обратной последовательности может быть ускорено, если выключатель включен. Обычно время срабатывания при повышенном напряжении увеличено (обычно время срабатывания <60 мс) для предотвращения неправильного срабатывания при включенном выключателе вследствие разрозненности полюсов. Однако, когда выключатель включен, отпадет надобность замедлять время срабатывания защиты (обычно ускоренное время срабатывания <40 мс). V2>1 Accelerate: сигнал DDB 554, подключенный к 3-х фазному включенному выключателю: сигнал DDB 1043 может быть использован для ускорения времени срабатывания защиты.

2.9.1 Установка параметров

Поскольку обычно первоначальной задачей является обнаружение неправильного чередования фаз (а не отдельных асимметрий), чувствительная уставка не требуется. В дополнение необходимо убедиться в том, что значение уставки выше любой стоячей волны напряжения обратной последовательности, которая может присутствовать из-за несбалансированности в измерительном ТН, допуски в реле и т.д. Стандартная уставка - приблизительно 15% номинального напряжения. Обратите внимание, что уровни стоячей волны напряжения обратной последовательности (V2) будут отображены в колонке "Measurements 1 (ИЗМЕРЕНИЯ 1)" меню реле "V2 Magnitude (V2 АМПЛИТУДА)".

Поэтому при необходимости более чувствительных уставок их можно определить в процессе ввода в эксплуатацию при помощи наблюдения за имеющимся уровнем. Время срабатывания элемента в значительной мере зависит от типа применения. Стандартная уставка будет иметь находиться в районе 5 с.

2.10 Защита минимальной частоты (81U)

Понижение частоты в генераторе происходит в тех случаях, когда нагрузка энергосистемы превышает мощность первичного двигателя изолированного генератора или группы генераторов. Перегрузка энергосистемы является следствием ее разделения, когда нагрузка подведена к группе изолированных генераторов, и значение нагрузки превышает их емкость. Для таких случаев предусмотрен автоматический сброс нагрузки. Понижение частоты будет кратковременным. Для страховки от сбоя при сбросе нагрузки генераторы необходимо обеспечить резервной защитой минимальной частоты.

Понижение частоты при номинальном напряжении может стать причиной перемагничивания генератора и станции. Тем не менее, при использовании высокоскоростных турбинных генераторов (особенно паровых) понижение частоты приведет к более критическим последствиям. При изменении частоты может произойти большой резонанс лопатки, который (в установившемся состоянии) способен привести к разрушению элементов диска турбины. Поэтому работа генератора при значениях частоты, не равной номинальной, должна быть максимально ограничена во избежание ремонта оборудования. С понижением частоты достаточно трудно бороться, поскольку в случае перегрузки на станции существует немного способов защиты, кроме отключения генератора.

Предусмотрено четыре ступени защиты минимальной частоты с независимыми определенными временными характеристиками. Две дополнительных ступени максимальной частоты могут быть перенастроены на минимальную частоту в логической схеме. Кроме отключения генератора, защита минимальной частоты также может включать местный сброс нагрузки (при необходимости). Для отключения каждой ступени защиты предусмотрена фиксированная логическая схема (если отключен выключатель), чтобы предотвратить сброс нагрузки.

2.10.1 Установка параметров для защиты минимальной частоты

Каждая ступень защиты минимальной частоты может быть введена (выведена) путем установки параметров 'Enabled' (Введена) и 'Disabled' (Выведена) в ячейках "F<x Status". Соответствующим образом следует настроить уставки датчика частоты ("F>x Setting") и выдержки времени ("F<x Time Delay") для каждой ступени.

Параметры защитной функции следует настроить таким образом, чтобы не были нарушены указанные пределы времени. Обычно следует непрерывно поддерживать 10% состояние минимальной частоты.

При использовании в промышленных схемах, где нагрузки могут быть ниже обычных, функция защиты минимальной частоты P34x может применяться для местного частотного деления нагрузки. Предусмотрено 4-кратное ступенчатое распределение нагрузки, причем последнюю ступень защиты минимальной частоты следует использовать для отключения генератора.

При наличии отдельного устройства частотного деления сети параметры защиты минимальной частоты необходимо согласовать с параметрами этого устройства. Теперь отключение генератора не произойдет после успешного распределения нагрузки в результате перегруза системы. Для согласования с многоступенчатой системой деления нагрузки, две ступени защиты минимальной частоты могут быть настроены так, как показано на рис. 11.

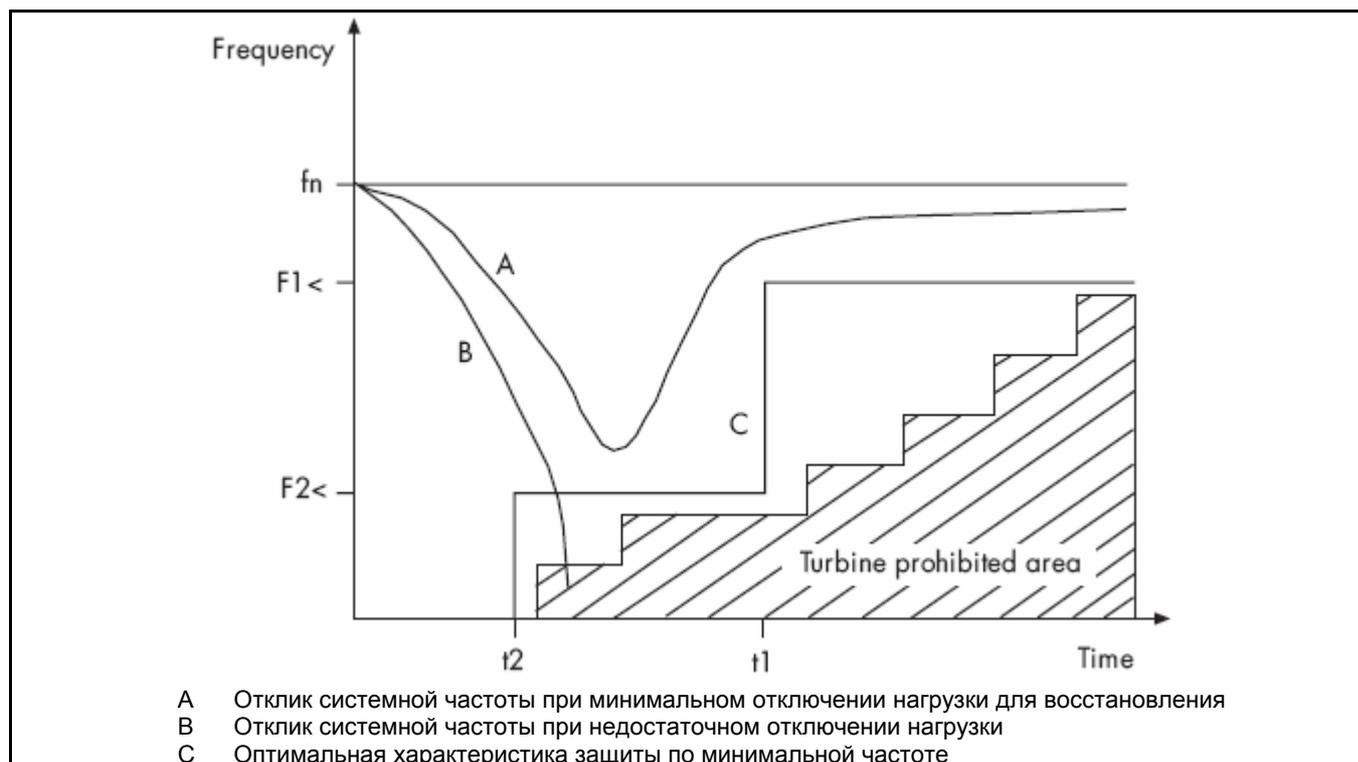


Рисунок 11: Согласование защиты минимальной частоты с делением нагрузки в системе

Надписи на рисунке:

Frequency = Частота

Time = Время

Turbine prohibited area = Защищенная область турбины

Для предотвращения срабатывания какой-либо из ступеней защиты минимальной частоты при нормальном отключении генератора в реле предусмотрена логическая схема 'poledead' ("логика отключенного выключателя"). Включение схемы осуществляется путем установки соответствующего бита в ячейке "F< Function Link (F< ФУНК.СВЯЗИ)". Например, если ячейка "F< Function Link (F< ФУНК.СВЯЗИ)" установлена на 0111, то ступени 1, 2 и 3 защиты минимальной частоты будут блокированы, когда отключится выключатель генератора. Выборочная блокировка ступеней защиты таким образом оставит одну ступень включенной при синхронизации либо работающей в автономном режиме для предотвращения несинхронизированного намагничивания генератора. Если генератор синхронизирован и выключатель включен, то все ступени защиты частоты включены (при необходимости обеспечения многоступенчатого распределения нагрузки).

Если реле используется для защиты при подключении генератора параллельно с местной энергосистемой (например, согласно требованиям G59 в Объединенном Королевстве), то значения уставок для элемента могут быть рекомендованы работниками данного ведомства. Значения этих уставок должны предотвратить включение генератора в сеть (т.е. напряжения, превышающего установленные нормы). Если местная внешняя нагрузка превышает емкость генератора, то защита минимальной частоты может быть использована в качестве защиты от потери сети ("Loss of Mains").

2.11 Защита максимальной частоты (810)

Повышение частоты в генераторе происходит в том случае, когда механическая энергия, поступающая на генератор переменного тока, превышает электрическую нагрузку и механические потери. Наиболее часто это случается после значительной потери нагрузки. При повышении рабочей частоты вращения регулятор должен быстро снизить поступление механической энергии для восстановления нормальной частоты вращения. Может потребоваться использование защиты максимальной частоты в качестве функции резервной защиты для обслуживания при отказе управления регулятора или дросселя следующим за потерей нагрузки или при синхронной работе.

Небольшое повышение частоты генератора не представляет такой потенциальной опасности для станции, как работа при пониженной частоте. Восстановление нормального режима работы может осуществляться и без отключения генератора.

Серьезное повышение частоты на высокоскоростных генераторных установках может привести к повреждению оборудования (см. раздел 2.15) в результате действия больших центробежных сил, вызванных вращающимися элементами.

Предусмотрены две ступени защиты максимальной частоты с независимыми выдержками времени.

2.11.1 Установка параметров для защиты максимальной частоты

Каждая ступень защиты максимальной частоты может быть введена (выведена) путем установки параметров 'Enabled' (Введена) и 'Disabled' (Выведена) в ячейках "F>x Status". Соответствующим образом следует настроить уставки датчика частоты ("F>x Setting") и выдержки времени ("F>x Time Delay") для каждой ступени.

Параметры максимальной частоты P34x следует согласовать с обычными временными отклонениями частоты после сброса нагрузки. Производитель генератора должен определить ожидаемые границы временного повышения частоты, соответствующие международным стандартам. Обычно повышение частоты составляет 10% от номинала.

Если реле используется для защиты при подключении генератора параллельно с местной энергосистемой (например, согласно требованиям G59 в Объединенном Королевстве), то значения уставок для элемента могут быть рекомендованы работниками данного ведомства. Значения этих уставок должны предотвратить включение генератора в сеть с частотой, превышающей установленные нормы.

2.12 Защита генератора от аномальной частоты турбины (81AB)

Генераторные установки обычно имеют номинальные параметры в пределах определенной эксплуатационной частотной полосы, которые задаются на весь срок службы. Эксплуатация за пределами данного "стандартного" диапазона может вызвать механическое напряжение в лопатках турбины вследствие собственного резонанса и снизить эксплуатационную долговечность генератора. Производители турбин задают фиксированное накопительное время для аномальной частоты эксплуатации, обычно в форме допустимого эксплуатационного времени в диапазоне установленной частотной полосы. Это требует использования измерений накопительного времени для хранения данных о времени работы при аномальной частоте вращения для каждой полосы. Данные ограничения мощности турбины обычно применяются для паротурбогенераторов.

В реле P34x предусмотрено шесть полос защиты генератора от ненормальных режимов. Каждая полоса имеет свои уставки границы частоты и отдельное накопительное измерение времени. Работа в пределах каждой из этих полос контролируется, и время, добавляемое в накопительный таймер, сохраняется в ОЗУ с резервным питанием от батареи. Таким образом, обеспечивается сохранение информации при потере оперативного питания реле. Для каждой полосы предусмотрена отдельная уставка выдержки времени зоны нечувствительности. В пределах этой выдержки времени зоны нечувствительности частота может оставаться внутри полосы, не вызывая накопительного измерения времени. Эта выдержка времени позволяет прежде установиться резонансу лопаток в условиях пониженной частоты, избегая тем самым ненужного накопления времени. Следовательно, выдержка времени не вносит изменений в накопленное время. Согласно руководству по защите от аномальной частоты IEEE для электростанций (IEEE C37.106) выдержка времени зоны нечувствительности должна составлять приблизительно 10 циклов. Обратите внимание, что выдержки времени зоны нечувствительности не влияют на генерацию сигналов пуска. Поэтому, сигналы о пуске не могут использоваться в процессе введения в эксплуатацию и технического обслуживания (путем задания временной выдержки нечувствительности или переключения на другую группу уставок с высоким значением) для испытания срабатывания и отпускания частотной полосы без учета накопительного времени. Накопление времени будет прекращено, и все сигналы пуска будут сброшены, если выставлена Frequency Not Found DDB 1068.

Обычно рекомендуется, чтобы система защиты генератора от ненормальной частоты турбины была введена в работу, когда блок синхронизирован с системой, или когда отделен от системы, но питает нагрузку собственных нужд. Для запрета накопления времени при автономной работе генератора предусмотрен подавляющий сигнал, т.е. выключатель отключен.

Выход отключения зафиксирован (защелкой) и может быть сброшен только при следующих условиях

11. Накопительное время сброшено, или
12. Отключена соответствующая полоса, или
13. Отключена общая защита от аномальной частоты, или
14. Запитан DDB-сигнал запрещения 'Turbine F Inh'.

2.12.1 Установка параметров

Обычно генератор имеет гарантированную производителем устойчивость к аномальным скоростям вращения. В качестве руководства по уставкам реле служат уставки по умолчанию. Согласно руководству по защите от аномальной частоте IEEE для электростанций (IEEE C37.106) выдержка времени зоны нечувствительности должна составлять приблизительно 10 циклов. Эта выдержка времени позволяет прежде установиться резонансу лопаток в условиях пониженной частоты, избегая тем самым ненужного накопления времени. Сигналы отключения элемента могут использоваться либо в качестве сигнализации для оператора, либо для отключения генератора.

2.13 Защита от потери поля (40)

Полная потеря возбуждения может быть результатом внезапного отключения системы возбуждения, размыкания цепи или короткого замыкания в цепях возбуждения постоянного тока, пробоя на контактных кольцах или повреждения источника возбуждения. Защита от потери поля P34x состоит из двух элементов – элемента полного сопротивления с двумя ступенями и сигнального элемента по коэффициенту мощности.

При потере возбуждения синхронного генератора его внутренняя ЭДС снизится. Это приведет к понижению выхода активной мощности и к повышению уровня получаемой реактивной мощности из энергосистемы. Поскольку выходная величина активной мощности снизилась, то механический привод может ускорить вращение генератора до большой синхронной скорости. Это приведет к появлению в роторе, демпферной обмотке и обмотках возбуждения токов частоты скольжения. Эти токи, в свою очередь, станут причиной намагничивания ротора. Работа генератора станет асинхронной. Достижение такого стабильного состояния будет зависеть от эффективного отношения скорости вращения к моменту (при асинхронной работе), а также от энергосистемы (ее способности подавать необходимую реактивную мощность без серьезных снижений напряжения).

Стабильная работа асинхронного генератора может быть достигнута при небольшом скольжении (на 0,1 - 0,2% выше синхронной скорости), в частности, для явнополюсных машин. Генератор может поддерживать выход активной мощности (около 20-30% от номинала) при одновременном получении реактивной мощности из энергосистемы (при работе с опережающим током). Такое состояние может удерживаться некоторое время без повреждений ротора и не быть обнаружено обычными элементами защиты от потери поля. Тем не менее, в реле P34x имеется сигнальный элемент по коэффициенту мощности, который срабатывает, если генератор находится в вышеописанном состоянии.

Генераторы с цилиндрическим ротором имеют гораздо меньшую нагрузочную способность, работая как асинхронные генераторы при потере возбуждения. Для них существует гораздо большая вероятность превышения момента вращения в характеристике отношения скорости вращения к моменту. Если это произошло, то генератор стабилизируется на более высоком уровне скольжения (около 5% сверх синхронной скорости). При этом из энергосистемы поступает очень большой реактивный ток и на обмотке статора может быть достигнут ток порядка 2,0 относительных единиц (о.е.). Токи частоты скольжения могут привести к повреждению обмотки (если это состояние будет устойчивым).

Работа в качестве асинхронного генератора в условиях потери поля зависит от возможности всей системы подавать необходимую реактивную мощность. Если система не в состоянии подавать достаточное количество реактивной мощности, то напряжение в системе упадет, и она станет нестабильной. Это может произойти в том случае, если большой генератор, работая с высокой мощностью, теряет возбуждение, будучи подключенным к относительно слабой системе. Для быстрого отключения в таких условиях один из элементов защиты может быть использован с кратковременной выдержкой времени. Это позволит быстро отключить генератор и сохранить стабильность в системе. Этот элемент должен иметь небольшую уставку времени для предотвращения отключения в условиях качания мощности. Второй элемент (с большей уставкой) обеспечит обнаружение потери поля в условиях небольшой нагрузки. Значение выдержки времени на втором элементе предотвратит срабатывание при качании мощности.

Защитные элементы полного сопротивления также оснащены таймером с настраиваемой выдержкой перед сбросом. Эта выдержка времени помогает избежать отключения в результате циклического срабатывания измерительного элемента по импедансу во время сдвига полюсов и последующей потери возбуждения. При настройке этого таймера следует быть внимательным, поскольку в результате неверных установок существует возможность того, что защитная функция произведет нежелательное отключение генератора в случае устойчивого качания мощности. Поэтому при настройке таймера выдержку на отключение элемента полного сопротивления необходимо увеличить.

Выдержка перед сбросом таймера может быть установлена таким образом, чтобы использовать защиту от потери поля для обнаружения асинхронного хода генератора в тех случаях, когда возбуждение потеряно не полностью. Более подробно этот вопрос рассматривается в разделе 2.25.

2.13.1 Установка параметров для защиты от потери поля

Каждая ступень защиты от потери поля может быть введена ('Enabled') или выведена ('Disabled') в ячейках "FFail1 Status (П/П-1 СТАТУС)", "FFail2 Status (П/П-2 СТАТУС)". Сигнальный элемент по коэффициенту мощности также может быть введен или выведен в ячейке "FFail Alm Status (П/П СТАТУС СИГН)".

2.13.1.1 Первый элемент полного сопротивления

Для быстрого обнаружения потери поля значения характеристики полного сопротивления "FFail1 Xb1" следует установить на максимальные, однако с учетом импеданса в нормальных условиях или в условиях качания мощности.

Если генератор работает с углом ротора менее 90° и без опережающего тока, то значение характеристики "FFail1 Xb1 (П/П-1 Xb1)" рекомендуется сделать равным значению синхронного реактивного сопротивления генератора по продольной оси. Отклонение характеристики ("FFail1 -Xa1 (П/П-1 -Xa1)") должно быть равным половине значения переходного реактивного сопротивления по продольной оси ($0,5 X_d'$).

$$\text{"FFail1 Xb1"} = X_d$$

$$\text{"FFail1 -Xa1"} = 0.5 X_d'$$

Где:

X_d = Синхронное реактивное сопротивление генератора по продольной оси в Ом

X_d' = Переходное реактивное сопротивление генератора по продольной оси в Ом

При использовании высокоскоростного оборудования по регулировке напряжения генераторы могут работать с углами ротора до 120° . В этом случае значение характеристики полного сопротивления "FFail1 Xb1 (П/П-1 Xb1)" должно быть равно 50% синхронного реактивного сопротивления по продольной оси ($0.5 X_d$), а отклонение "FFail1-Xa1 (П/П-1 -Xa1)" следует установить на 75% от переходного реактивного сопротивления по продольной оси ($0,75 X_d'$).

$$\text{"FFail1 Xb1"} = 0.5 X_d$$

$$\text{"FFail1 -Xa1"} = 0.75 X_d'$$

Для снижения вероятности срабатывания защитной функции в условиях качания мощности и последующей синхронизации необходимо установить значение выдержки времени "FFail1Time Delay (П/П-1 t СРАБ)". Следует убедиться, что значение выдержки не превышено, поскольку в этом случае произойдет тепловое повреждение обмотки статора или ротора. Обычно обмотка статора может выдерживать ток порядка 2.0 о.е. в течение 15 с. Также можно учесть полное сопротивление на выводах генератора. Обычно используемое значение выдержки времени не превышает 10 с. Минимальная допустимая выдержка (во избежание неправильного срабатывания в условиях качания мощности) может быть порядка 0,5 с.

Значение таймера сброса "FFail1 DO Timer (П/П-2 Т ВОЗВ)" обычно устанавливают на 0 с для мгновенного сброса ступени. Другие уставки таймера используются для обеспечения интегрирующей функции в тех случаях, когда значение импеданса изменяется циклично. Это позволяет определить асинхронную работу генератора (см. раздел 2.25). При использовании значений таймера, не равных 0 с, необходимо увеличить значение выдержки времени "FFail1 Time Delay (П/П-1 t СРАБ)" для предотвращения срабатывания в условиях качания мощности.

2.13.1.2 Второй элемент полного сопротивления

Второй элемент полного сопротивления используется для быстрого срабатывания в тех случаях, когда потеря возбуждения происходит в условиях высокой нагрузки. Значение характеристики "FFail2 Xb2 (П/П-2 Xb2)" должно быть равно 1 о.е. Отклонение характеристики "FFail2 - Xa2 (П/П-2 -Xa2)" должно быть равно половине значения переходного реактивного сопротивления по продольной оси (0,5 Xd').

$$FFail2 Xb2 = \frac{kV^2}{MVA}$$

$$FFail2 -Xa2 = 0.5 Xd'$$

С помощью данной уставки будет возможно определение потери поля в условиях от полной до 30% нагрузки.

Значение выдержки времени "FFail2 Time Delay (П/П-2 Т СРАБ)" может быть мгновенным, т.е. равным 0 с.

Значение таймера сброса "FFail2 DO Timer (П/П-2 Т ВОЗВ)" обычно устанавливают на 0 с для мгновенного сброса ступени. Другие уставки таймера используются для обеспечения интегрирующей функции в тех случаях, когда значение импеданса изменяется циклично. Это позволяет определить асинхронную работу генератора (см. раздел 2.25). При использовании значений таймера, не равных 0 с, необходимо увеличить значение выдержки времени "FFail2 Time Delay (П/П-2 Т СРАБ)" для предотвращения срабатывания в условиях качания мощности.

2.13.1.3 Элемент по коэффициенту мощности

Явнополюсные генераторы могут непрерывно работать в асинхронном режиме, вырабатывая значительную мощность. Работа в таких условиях может не быть обнаружена защитными элементами полного сопротивления. В этом случае для оповещения оператора о потере возбуждения может применяться сигнальный элемент по коэффициенту мощности.

Значение угла "FFail Alm Angle (П/П УГОЛ СИГН.)" должно быть больше значения любого угла ротора, при котором может работать генератор в нормальном режиме. Обычно значение этой уставки равно 15°, что эквивалентно коэффициенту мощности 0,96. Значение выдержки времени для элемента "FFail Alm Delay (П/П ЗАДЕРЖ.СИГН)" должно быть больше значения выдержки времени элемента полного сопротивления ("FFail1 Time Delay (П/П-1 t СРАБ)") для предотвращения срабатывания сигнального элемента в переходных режимах (например, качание мощности), а также для обеспечения разграничения в случаях, когда обычные элементы импеданса потери поля не могут определить условие потери поля.

2.14 Тепловая защита обратной последовательности (46Т)

Несбалансированная нагрузка становится причиной тока прямой и обратной последовательностей. Дисбаланс может возникнуть в результате однофазной нагрузки, нелинейных нагрузок (использование преобразовательных установок или дуговых печей и т.д.), неустраненных либо повторяющихся замыканий, работы плавкого предохранителя, однофазного отключения и повторного включения передающих систем, поврежденных проводов ЛЭП и неполнофазных отключений выключателей. Любая составляющая тока статора обратной последовательности создает противоположную составляющую в магнитном потоке статора, которая проходит по ротору с удвоенной синхронной скоростью. Такие составляющие магнитного потока индуцируют в роторе вихревые токи с двойной частотой, которые могут стать причиной перегрева ротора, обмоток ротора, демпферных обмоток и т.д.

Если генератор имеет высокий уровень устойчивости к длительному току обратной последовательности (I_2 amp) (как, например, явнополюсные генераторы), то нет необходимости в использовании данной защиты NPS. Тем не менее, данная защита может быть применена для быстрого устранения нераспознанных асимметричных замыканий, удаленных от шины генератора. Как было отмечено в разделе 2.6.1.3, установка МТЗ с зависимостью от напряжения для обнаружения удаленного замыкания и ее согласование с резервной защитой фидера может представлять определенные трудности.

Для высокого тока обратной последовательности нагрев, вызванный вихревым током, может значительно превышать скорость теплоотдачи. Таким образом, гипотетически, все тепло, выделенное за период несбалансированности, будет накапливаться на роторе. При данном предположении значение температуры на любом критическом компоненте ротора будет зависеть от длительности несбалансированности (t секунд) и уровня тока обратной последовательности (I_2 на 1 блок) и пропорционально $I_2^2 t$. Синхронным генераторам назначается постоянная теплоемкость (K_g) на 1 блок $I_2^2 t$ для определения способности устойчивости кратковременного тока обратной последовательности, см. Таблица 1, Колонка 3. Разные компоненты ротора имеют разные кратковременные теплоемкости, а наиболее критические (с наименьшим значением $I_2^2 t$) должны образовывать основу заявленного производителем генератора уровня кратковременного $I_2^2 t$.

Многие реле с защитой обратной последовательности были оснащены временной рабочей характеристикой с экстремальной инверсией ($I_2^2 t$). Если временная характеристика является мгновенной, то имеет место ток обратной последовательности. Значение этой характеристики рекомендуется согласовать с теплоемкостью генератора (с учетом высоких величин тока обратной последовательности).

Для промежуточных уровней тока обратной последовательности скорость нагрева будет меньше. Поэтому необходимо принимать во внимание теплоотдачу.

Основная формула $t = K / I_{2cmr}$ не учитывает влияние теплоотдачи или более низких величин тока обратной последовательности, который становится причиной повышения температуры ротора, остающейся в установленных пределах. Существующий (приемлемый) уровень тока обратной последовательности ($I_2 < I_{2cmr}$) ускоряет повышение температуры до критического значения в том случае, если этот уровень стал больше I_{2cmr} . Функция P34x защиты NPS устраняет эти проблемы с помощью имитации воздействий тока обратной последовательности.

Если в защищенном генераторе снижается ток обратной последовательности, то происходит понижение температуры металлических элементов ротора. Реле оснащено отдельной уставкой с постоянной времени охлаждения ($I_2 > 2 \text{ KRESET}$), которая используется при понижении I_2 .

Защитный элемент обратной последовательности реагирует на однофазные замыкания на землю и междуфазные замыкания. Поэтому значения уставок элемента необходимо согласовать с общими защитами от замыкания на землю и междуфазных замыканий. Для этого может быть установлено минимальное определенное время рабочей характеристики. Значение уставки минимального определенного времени должно обеспечивать достаточный запас времени между срабатыванием защиты NPS и внешней защиты. Используемый запас времени координации должен соответствовать стандартной практике, принятой пользователем для координации резервной защиты.

Для уровней тока обратной последовательности, которые незначительно выходят за пределы уставки срабатывания теплового элемента, будет наблюдаться заметное отклонение между временной характеристикой тока тепловой защиты обратной последовательности P34x и временной характеристикой простого $I_2^2 t$. Поэтому дана максимальная уставка времени срабатывания защиты обратной последовательности фаз. Данная уставка максимального времени также ограничивает время срабатывания защиты обратной последовательности для уровней несбалансированности, для которых существуют сомнения относительно тепловой устойчивости генератора.

Для оповещения оператора о дисбалансе нагрузки, который может привести к отключению генератора, предусмотрена сигнальная ступень по максимальному току с выдержкой времени. Это позволит принять соответствующие меры по устранению дисбаланса.

2.14.1 Установка параметров для тепловой защиты обратной последовательности

Сигнальная и отключающая ступени тепловой защиты обратной последовательности могут быть введены ('Enabled') или выведены ('Disabled') в ячейках "I2therm>1 Alarm (I2ТЕПЛ>1 СИГНАЛ)" и "I2therm>2 Trip (I2ТЕПЛ.>2 ОТКЛ.)" соответственно.

Синхронные генераторы способны длительно выдерживать определенный уровень токов обратной последовательности в статоре. Для всех синхронных генераторов производителем определено максимальное значение длительного тока обратной последовательности (I_{2cmr} в относительных единицах). Для различных классов генераторов устойчивость к минимальному току обратной последовательности определена международными стандартами, такими как IEC60034-1 и ANSI C50.13-1977 [1]. Величины из стандарта IEC60034-1 приведены в таблице 1.

Тип генератора		Макс. I_2/I_n для непрерывной эксплуатации	Макс. $(I_2/I_n)^2$ для эксплуатации в условиях короткого замыкания, кг
Явнополюсный:			
С непрямым охлаждением		0,08	20
С прямым охлаждением (внутреннее охлаждение) статора и/или поля		0,05	15
Синхронный неявнополюсный ротор:			
С непрямым охлаждением ротора			
С воздушным охлаждением		0,1	15
С водородным охлаждением		0,1	10
С прямым охлаждением (внутреннее охлаждение) ротора			
350>	≤350 МВА	0,08	8
900>	≤900 МВА	*	**
	≤1250 МВА	*	5
1250	≤1600 МВА	0,05	5
* Для этих генераторов значение I_2/I_n вычисляется следующим образом:			
$\frac{I_2}{I_n} = 0.8 - \frac{S_n - 350}{3 \times 10^4}$			
** Для этих генераторов значение $(I_2/I_n)^2$ вычисляется следующим образом:			
$\left(\frac{I_2}{I_n} \right)^2 t = 8 - 0.00545 (S_n - 350)$			
Где S_n - номинальная мощность в МВА			

Таблица 1: IEC60034-1 Минимальные уровни устойчивости тока обратной последовательности

Для обеспечения правильной тепловой защиты, тепловая уставка тока реле "I2therm>2 Set (I2ТЕПЛ.>1 УСТ.)" и уставка теплоемкости "I2therm>2 k (I2ТЕПЛ.> 2 k)" должны быть рассчитаны следующим образом

$$I2therm > 2 Set = I_{2cmr} \times \left(\frac{I_{flc}}{I_p} \right) \times I_n$$

$$I2 > therm 2 k = K_g \times \left(\frac{I_{flc}}{I_p} \right)^2$$

Где:

I_{2cmr} = Максимальное значение устойчивости генератора к току I_2

K_g = Постоянная теплостойкости генератора (s), см. таблицу 1.

I_{flc} = Первичный ток полной нагрузки генератора (A)

I_p = Номинальное значение первичного тока трансформатора тока (A)

I_n = Номинальное значение тока реле (A)

Если не указано иное, используемая уставка постоянной для теплостойкости при уменьшении I_2 , "I2therm>2 kRESET (I2ТЕПЛ.>2 kRESET)" должна иметь то же значение, что и уставка постоянной основного времени "I2therm>2 kSetting (I2ТЕПЛ.>2 kSet)". Производитель генератора может предоставить отдельную постоянную для теплостойкости при уменьшении I_2 , для защищенных генераторов.

Порог тока для стадии сигнализации "I2therm>1 Set (I2ТЕПЛ.>1 УСТ.)" должен иметь значение ниже уставки теплового срабатывания "I2therm>2 Set (I2ТЕПЛ.>2 kSet)", что необходимо для включения сигнализации до срабатывания. Стандартная значение уставки тока сигнализации должно составлять 70% значения уставки тока срабатывания. Необходимо выбрать уставку времени этапа сигнализации "I2therm>1 Delay (I2ТЕПЛ.>1 t СРАБ)", что необходимо для обеспечения невозможности эксплуатации во время устранения короткого замыкания в системе, а также для предохранения от ложных сигнализаций во время нормальной работы. Стандартная уставка для данной выдержки времени равняется 20 с.

Для согласования защиты с другими устройствами может быть установлено минимальное определенное время рабочей характеристики, "I2therm>2 tMIN (I2ТЕПЛ.>2 tMIN)". Значение уставки минимального определенного времени должно обеспечивать достаточный запас времени между срабатыванием тепловой защиты NPS и внешней защиты.

Используемый запас времени координации должен соответствовать стандартной практике, принятой пользователем для координации резервной защиты.

Также можно установить максимальное рабочее время для характеристики обратной последовательности, "I2therm>2 tMAX (I2ТЕПЛ.>2 tMAX)". Данная уставка используется для исключения возможности превышения теплового порога генератора

2.15 Защита обратной мощности/максимальной мощности/малой выдаваемой мощности (32R/32O/32L)

2.15.1 Функция защиты малой выдаваемой мощности

При отключении выключателя, соединяющего генератор с системой, происходит отключение электрической нагрузки. Это может привести к повышению скорости вращения ротора, если вовремя не снизить подачу механической энергии. Большие турбогенераторы, оснащенные низкоинерционным ротором, не устойчивы к такому повышению скорости. Захваченный в турбине пар может быстро привести к ускорению вращения ротора. Для снижения опасности повреждений в таких генераторах иногда применяют блокировку неаварийных отключений выключателя и системы возбуждения с последующей защитой малой выдаваемой мощности. Теперь выключатель отключится только в том случае, когда величина выходной мощности будет существенно мала и не сможет привести к повышению скорости вращения. Для таких "неаварийных" отключений выключателя может иметь смысл установка выдержки времени (до тех пор, пока не будет отведена входная механическая энергия); например, защита от замыкания на землю статора для заземленных генераторов с большим полным сопротивлением. Блокировку малой выдаваемой мощности не рекомендуется устанавливать для "аварийных" отключений, например, для дифференциальной токовой защиты статора, поскольку вероятность таких "аварийных" отключений достаточно низка.

Защита малой выдаваемой мощности может блокировать "неаварийные" отключения генератора при помощи логической схемы реле. Также, при необходимости, эта защита может обеспечить внешнюю блокировку от ручного отключения.

Для предотвращения нежелательной сигнализации реле элемент защиты малой выдаваемой мощности может быть выведен, если выключатель отключен через логическую схему 'poledead' (логика отключенного генератора).

Защита малой выдаваемой мощности также может быть использована для обеспечения защиты отсутствия нагрузки при генераторе, работающем в режиме двигателя. Данная защита может использоваться для защиты генератора в режиме двигателя от перехода в неготовое к работе состояние или для остановки двигателя в случае неисправности механической трансмиссии.

Обычно данная защита применяется для генераторов ГАЭС, работающих в режиме двигателя, и есть необходимость предотвращения перехода машины в неготовое к работе состояние, что может повлечь за собой кавитацию рабочего колеса и лопаток. В режиме двигателя реле может переключаться на другую группу уставок с включенной малой выдаваемой мощностью и правильно заданной и защитным эксплуатационным режимом, выставленным на режим двигателя (Motoring).

2.15.1.1 Установка параметров для защиты малой выдаваемой мощности

Для работы в режиме защиты малой выдаваемой мощности можно выбрать любую ступень защиты мощности. Для этого в ячейке "Power1 Function/Sen. Power1 Func." или "Power2 Function/Sen. Power 2" необходимо установить опцию 'Low Forward (МАЛАЯ ГЕНЕРАЦИЯ)'.
При необходимости, для случаев блокировки неаварийного отключения уставка порога для этой защиты ("P<1 Setting/Sen. P<1 Setting" или "P<2 Setting/Sen.P<2 Setting") должна быть меньше 50% уровня мощности, который может привести к опасному быстрому переходному процессу потери электрической нагрузки. Для информации по этим значениям следует обратиться к производителю генератора. Режим работы следует установить на "Generating".

Порог уставки функции защиты малой выдаваемой мощности "P<1 Setting/Sen. P<1 Setting" или "P<2 Setting/Sen. P<2 Setting" является зависимым от системы, если данное условие необходимо для защиты от потери нагрузки. Однако обычно данный порог имеет значение 10 - 20% ниже минимальной нагрузки. Например, для минимальной нагрузки 70% P_n, уставка должна иметь значение 63% - 56% P_n. В этом случае эксплуатационный режим должен быть выставлен на "Motoring".

Порог уставки функции защиты малой выдаваемой мощности "P<1 Setting/Sen. P<1 Setting" или "P<2 Setting/Sen. P<2 Setting" является зависимым от системы, если данное условие необходимо для защиты от потери нагрузки. Однако обычно данный порог имеет значение 10 - 20% ниже минимальной нагрузки. Например, для минимальной нагрузки 70% P_n, уставка должна иметь значение 63% - 56% P_n. В этом случае эксплуатационный режим должен быть выставлен на "Motoring".

Для блокировки неаварийных отключений выдержка времени ассоциирована с функцией защиты малой выдаваемой мощности "Power1 TimeDelay/Sen. Power1 Delay" или "Power2 TimeDelay/Sen. Power2 Delay" может быть выставлено на ноль. Однако желательна небольшая задержка для того, чтобы в случае колебания мощности, возникающей при непрогнозируемом закрытии парового клапана/дресселя не выдавалось разрешение для неаварийного электрического отключения. Стандартная выдержка времени для данного случая равна 2 с.

Для случаев отсутствия нагрузки выдержка на срабатывание "Power1 TimeDelay/Sen. Power1 Delay" или "Power2 TimeDelay/Sen. Power2 Delay", зависит от ситуации, но обычно имеет значение, превышающее время между пуском двигателя и установлением нагрузки. В случаях, когда при пуске не может быть достигнута номинальная мощность (например, если пуск двигателя происходит без подключенной нагрузки) и требуемое время срабатывания защиты меньше времени на установление нагрузки, необходимо в этот период подавить защиту мощности. Это может быть выполнено в PSL при использовании логики "И" ("AND") и таймера импульса, сработавшего после пуска двигателя, для блокировки защиты мощности на требуемое время.

Значение таймера сброса ("Power1 DO Timer (P1 твоз)" или "Power2 DO Timer (P2 твоз)") обычно устанавливаются на ноль (при работе с элементами защиты малой выдаваемой мощности).

Для предотвращения нежелательной сигнализации реле элемент защиты малой выдаваемой мощности может быть выведен, если выключатель отключен через логическую схему 'poledead' (логика отключенного генератора). Для этого необходимо установить ячейки "P1 Poleddead Inh (P1 ЗАПР.П/ОТК.В)" или "P2 Poleddead Inh (P2 ЗАПР.П/ОТК.В)" в положение 'Enabled' (Введена).

2.15.2 Функция защиты обратной мощности

В нормальных условиях работы генератор подает питание в подсоединенную к нему систему. При повреждении первичного двигателя генератор, подключенный параллельно к другому источнику электроэнергии, перейдет в режим двигателя. Это состояние может быть обнаружено элементом обратной мощности.

Последствия работы генератора в режиме двигателя и количество энергии, потребленной из энергосистемы, зависят от типа двигателя. Типичные значения мощности в режиме двигателя и возможные повреждения, которые могут произойти в результате такой работы, приведены в следующей таблице.

Первичный двигатель	Мощность в режиме двигателя	Возможные повреждения (процентное отношение)
Дизельный двигатель	5% - 25%	Опасность возгорания или взрыва неиспользованного топлива
Значение мощности зависит от коэффициента сжатия и жесткости цилиндра. Для снижения потери мощности и риска повреждения необходимо быстрое отключение.		
Газовая турбина	10% - 15% (независимая силовая турбина) >50% (одновальная турбина)	При использовании установок с зубчатым приводом повреждение может возникнуть в результате обратного крутящего момента на зубьях.
Нагрузка компрессора на одновальных генераторах приводит к более высокому значению мощности, по сравнению с независимыми силовыми турбинами. Для снижения потери мощности и риска повреждения необходимо быстрое отключение.		
Гидравлические турбины	0,2 - >2% (с лопатками вне воды) >2,0% (с лопатками в воде)	При длительной работе в режиме двигателя может возникнуть кавитация лопатки и рабочего колеса.
Значение мощности невелико, если лопатки расположены выше уровня воды. Часто основными средствами для определения потери хода являются устройства гидравлического потока. При автономной работе рекомендуется применять автоматическое отключение.		
Паровые турбины	0,5% - 3% (конденсационные турбины) 3% - 6% (неконденсационные турбины)	На лопатках низконапорной турбины может возникнуть повреждение под действием термического напряжения, если отсутствует поток пара для устранения вентиляционных потерь
Быстрое повреждение возможно при использовании неконденсационных турбин либо при потере вакуума на конденсационных. В таких случаях защита обратной мощности может быть использована в качестве вторичного способа определения режима двигателя и применяться только для сигнализации.		

В таблице представлена мощность двигателя и возможные повреждения для различных типов первичного двигателя.

В некоторых случаях, при повреждении первичного двигателя уровень обратной мощности может колебаться. Наиболее вероятно это при использовании дизельного двигателя. Для предотвращения периодического включения и сброса таймера основного отключения и последующего отказа при отключении предусмотрена регулируемая выдержка времени сброса ("Power1 DO Timer (P1 твоз)/Power2 DO Timer (P2 твоз)"). Выдержку необходимо установить на значение больше периода времени, в течение которого обратная мощность может упасть ниже уставки мощности ("P<1 Setting/Sen. P<1 Setting"). Эту уставку следует учесть при установке выдержки перед основным отключением. Отметим, что значение выдержки, превышающее половину периода качания мощности, может привести к срабатыванию защиты обратной мощности во время этого качания.

Защита обратной мощности также может использоваться для блокировки отключения выключателя генератора при "неаварийных" ситуациях (см. раздел 2.16.1). Блокировка с помощью защиты обратной мощности имеет преимущество перед блокировкой по малой выдаваемой мощности.

2.15.2.1 Установка параметров для защиты обратной мощности

Для работы в режиме защиты обратной мощности можно выбрать любую ступень защиты мощности. Для этого в ячейке "Power1 Function/Sen. Power1 Func." или "Power2 Function/Sen. Power2 Func." необходимо установить опцию 'Reverse'.

Значение порога для этой защиты ("-P>1 Setting/Sen. -P>1 Setting" или "-P>2 Setting/Sen. -P>2 Setting") должно быть меньше 50% от уровня мощности режима двигателя (см. предыдущую таблицу). Для случаев, когда необходимо обнаружение отсутствия мощности первичного двигателя, или для обеспечения блокировки неаварийных отключений эксплуатационный режим защиты обратной мощности должен быть выставлен на "Generating".

Для предотвращения неправильных отключений или сигнализации при неполадках в энергосистеме, следует установить выдержку времени для защиты обратной мощности. Обычно это значение (устанавливается в ячейках "Power1 TimeDelay/Sen. Power1 Delay" или "Power2 TimeDelay/Sen. Power2 Delay") составляет 5с.

Значение таймера сброса ("Power1 DO Timer (P1 твоз)" или "Power2 DO Timer (P2 твоз)") обычно устанавливают на ноль. При установке других значений возможно потребуется увеличить уставку выдержки времени перед срабатыванием, что поможет избежать неправильного отключения в случае качания мощности.

2.15.3 Защита максимальной мощности

Защита максимальной мощности может быть использована для индикации перегрузки, а также в качестве резервной защиты регулятора и управляющего оборудования. Уставки защиты должны превышать максимальное номинальное значение мощности генератора.

2.15.3.1 Установка параметров для защиты максимальной мощности

Для работы в режиме защиты максимальной мощности можно выбрать любую ступень защиты мощности. Для этого в ячейке "Power1 Function/Sen. Power1 Func." или "Power2 Function/Sen. Power2 Func." необходимо установить опцию 'Over'.

Уставка порога мощности ("P>1 Setting/Sen. P>1 Setting" или "P>2 Setting/Sen. P>2 Setting") должна быть больше номинальной мощности полной нагрузки генератора.

Необходимо установить выдержку времени в ячейках "Power1 TimeDelay/Sen. Power1 Delay" или "Power2 TimeDelay/Sen. Power2 Delay".

Эксплуатационный режим должен быть выставлен на "Motoring" или "Generating" в зависимости эксплуатационного режима генератора.

Значение таймера сброса ("Power1 DO Timer (P1 твоз)" или "Power2 DO Timer (P2 твоз)") обычно устанавливают на ноль.

2.16 Защита статора от замыкания на землю (50N/51N)

Генераторы низкого напряжения обычно глухо заземляются в отличие от генераторов высокого напряжения, которые в большинстве случаев заземляются через активное сопротивление, что предотвращает повреждения, вызванные замыканиями на землю. Возможно подключение активного сопротивления к заземлению вторичной обмотки силового трансформатора. Активное сопротивление в общем случае выбирается таким образом, чтобы токи замыкания на землю не превышали максимального тока нагрузки.

Защита статора от замыкания на землю не обеспечивает полную защиту обмотки. При возникновении близкого к нейтрали генератора замыкания на землю, приложенное напряжение невелико, и, следовательно, ток замыкания на землю не превышает допустимые границы. На практике установлено, что осуществляется защита около 95% обмотки статора. При возникновении повреждений в оставшихся 5% обмотки токи замыкания на землю настолько малы, что не фиксируются данным типом защиты от замыкания на землю. В большинстве случаев допустимо использование такого принципа защиты, так как вероятность замыкания на землю в незащищенной 5% части обмотки, где приложенное к земле напряжение мало, незначительна.

Процентное отношение обмотки, на которую распространяется действие защиты от замыкания на землю, может быть определено по формулам, приведенным под рис. 12.

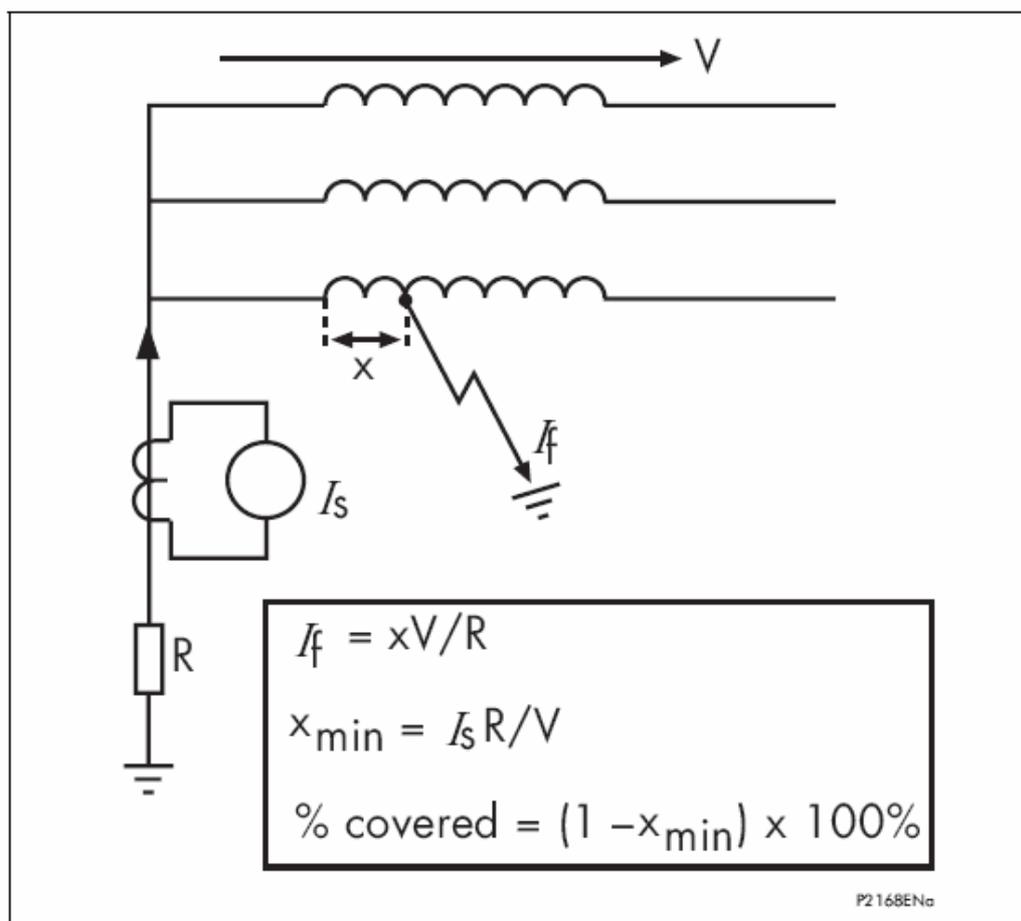


Рисунок 12: Защищаемая зона защиты от замыкания на землю обмотки статора

Обеспечивается двухступенчатая ненаправленная защита от замыкания на землю. Первая ступень имеет обратозависимую временную характеристику или независимую временную характеристику и может осуществлять сброс отсчета времени срабатывания при изменении параметров повреждения. Вторая ступень имеет независимую временную характеристику, время срабатывания которой может быть сокращено до 0 секунд для осуществления мгновенного срабатывания.

При использовании заземления через активное сопротивление вторая ступень защиты может использоваться для определения короткого замыкания на заземляющем сопротивлении. Вторая ступень может также применяться при необходимости мгновенного срабатывания в том случае, когда не нужно соблюдать условий селективности. Более полная информация дана в инструкции по наладке.

Каждая ступень защиты может блокироваться соответствующим образом настроенным DDB сигналом, передаваемым через PSL (DDB 514, DDB 515). Эта функция позволяет преобразовывать защиту от замыкания на землю в защиту шин, как показано в разделе 2.28, или осуществлять селективность с устройствами нижних уровней.

Элемент защиты статора от замыкания на землю запитывается от входа 'In CT' на реле. Данный вход должен запитываться от ТТ, установленного в пути пробоя на землю генератора, для того, чтобы элемент обеспечивал защиту от замыкания на землю генератора и резервную защиту от замыканий системы. В качестве альтернативы элемент может быть запитан от ТТ, установленного на стороне вторичной обмотки системы заземления распределительного трансформатора.

2.16.1 Установка параметров для защиты статора от замыкания на землю

Первая ступень защиты от замыкания на землю может быть выбрана при помощи выбора для "IN>1 Function (ФУНКЦИЯ IN>1)" любых инверсивных или DT уставок. Первая ступень будет выведена, если "IN>1 Function" выставлена на 'Disabled'. Вторая ступень защиты от замыкания на землю может быть выбрана при помощи выбора 'Enabled' для "IN>2 Function (ФУНКЦИЯ IN>2)". Вторая ступень будет выведена, если "IN>2 Function (ФУНКЦИЯ IN>2)" выставлена на 'Disabled'.

Для генераторов с прямым подключением защита статора от замыкания на землю должна координировать с какими-либо защитами от замыкания на землю ниже по схеме. Первая ступень уставки тока "IN>1 Current" стандартно должна иметь значение менее 33% подпитки замыкания на землю генератора или тока полной нагрузки (меньшего из них). Характеристика выдержки времени элемента (выбранная через "IN>1 Function" и "IN>1 Time Delay (IN>1 t CPAБ.)", "IN>1 TMS (IN>1 TMS)" или "IN>1 Time Dial (IN>1 КОЭФ.ВРЕМ)") должна быть выставлена ступенчатая выдержка времени с какой-либо защитой от замыканий ниже по схеме. В случаях, когда элемент необходим для защиты 95% обмотки генератора, необходимо использовать уставку тока, которая составляет 5% от ограниченного тока замыкания на землю.

В случаях, когда используется импеданс или заземление распределительного трансформатора, для обнаружения пробоя заземляющего импеданса может быть использована вторая ступень. В таком случае уставка тока второй ступени "IN>2 Current (IN>2 t CPAБ.)" может быть выставлена приблизительно на 150% ограниченного тока замыкания на землю, а выдержка времени "IN>2 Time Delay (IN>2 t CPAБ.)" может быть выставлена на 0 с для обеспечения мгновенного срабатывания.

В случае, когда машина соединена с системой через повышающий трансформатор, нет необходимости в настройке селективности защиты от замыкания на землю статора и защит от замыкания на землю системы. В таком случае уставка первой ступени должна составлять 5% от величины предельного тока замыкания на землю, что обеспечивает защиту 95% обмотки генератора. Должна соблюдаться селективность характеристики времени срабатывания ступени защиты и плавких предохранителей ТН при замыкании ТН на землю. Мгновенный ток замыкания на землю генератора может также служить причиной для высоковольтного короткого замыкания в обмотке трансформатора. Правильная селективность в таком случае обеспечивается использованием независимой временной характеристики в диапазоне 0,5-3 секунды. Опыт показал, что возможно использование мгновенной защиты статора, если уставка по току составляет $\geq 10\%$ предельного тока замыкания на землю. Следовательно, вторая ступень защиты может быть настроена на мгновенное срабатывание.

2.17 Функция защиты остаточного избыточного напряжения / напряжения смещения нейтрали (59N)

В нормальном режиме работы трехфазной системы напряжения между землей и каждой фазой равны нулю, а фазные вектора расположены друг по отношению к другу под углом 120° . Однако, при возникновении замыкания на землю в системе этот баланс нарушается и возникает остаточное напряжение.

Такое состояние может фиксироваться, например, на вторичных зажимах ТН, имеющего вторичную обмотку в виде разомкнутого треугольника. Следовательно, измеряемое реле остаточное напряжение может использоваться для работы защиты от замыкания на землю. Важно отметить, что такое состояние вызывает скачок напряжения нейтрали относительно земли, что является причиной напряжения смещения нейтрали.

С другой стороны, если система заземлена через активное сопротивление или ТН, смещение напряжения нейтрали может фиксироваться непосредственно в месте заземления с помощью однофазного ТН. Такой подход обеспечивает работу защиты независимо от того, заземлен генератор или нет, и независимо от вида заземления и уровней токов замыкания на землю. При близких к нейтрали генератора замыканиях на землю остаточные напряжения малы. Следовательно, согласно принципу работы защиты от замыкания на землю, только 95% обмотки статора защищено.

Для генератора, работающего в системе, следует учитывать следующие особенности работы защиты от остаточных перенапряжений: при возникновении замыкания на землю в системе защита реагирует на возникающие перенапряжения, следовательно, работа защиты смещения напряжения нейтрали должна быть координирована с работой других защит от замыкания на землю.

Функция защиты напряжения смещения нейтрали в реле P342/3 состоит из двух ступеней: полученной защиты максимального напряжения нейтрали и двух ступеней измеренной защиты максимального напряжения нейтрали с регулируемыми выдержками времени. Реле P344/5 имеет две дополнительные ступени измеренной защиты максимального напряжения нейтрали, поскольку реле имеет второй выделенный вход напряжения нейтрали.

Использование двух ступеней предусмотрено для случаев, когда необходима как предупреждающая, так и отключающая ступень, например, для изолированных систем. В практике эксплуатации таких систем принято допускать эксплуатацию при возникновении неопасных фазных перенапряжений на срок до нескольких часов. В таком случае предупреждающая ступень защиты срабатывает сразу после выявления неисправности, что свидетельствует о наличии замыкания на землю в системе. Обслуживающий персонал имеет достаточно времени для выявления места повреждения и его устранения. Вторая ступень защиты генерирует сигнал на отключение при неустранившемся в определенный срок коротком замыкании.

2.17.1 Установка параметров для функции защиты остаточного избыточного напряжения и напряжения смещения нейтрали

Первая ступень может быть настроена как на работу по обратозависимой временной характеристике (IDMT), так и на работу по независимой временной характеристике (DT) или выведена ("Disabled"). Выбор производится в ячейке "VN>1 Function (VN>1 ФУНКЦИЯ)". Вторая ступень работает по независимой временной характеристике при вводе/выводе ее из работы в ячейке "VN>2 Status (VN>2 СТАТУС)". Временная задержка: "VN>1 TMS (VN>1 TMS)" - для обратозависимой временной характеристики; "V>1 Time Delay (V>1 t СРАБ.)" и "V>2 Time Delay (V>2 t СРАБ.)" для независимой временной характеристики. Временная задержка должна устанавливаться в соответствии со стандартными процедурами координирования реле, что необходимо для обеспечения правильного распознавания коротких замыканий в системе.

Защита остаточного максимального напряжения может быть установлена на функционирование по напряжению, измеренному на выводах ТН входов VN (P342/3), VN1 и VN2 (P344/5) при использовании элементов защиты VN>3/4 (P342/3), VN>3/4 и VN>5/6 (P344/5), или остаточному напряжению, полученному из входов напряжения фаза-нейтраль, которые выбраны при использовании элементов защиты VN>1/2.

При прямом подключении генератора к системе функция определения смещения нейтрали должна быть скоординирована на совместную работу с защитами от замыкания на землю нижних уровней. Для гарантированной согласованной работы необходимо следить за тем, чтобы уставка по напряжению защиты напряжения смещения нейтрали имела более высокое значение в сравнении с уставкой по току защиты от замыкания на землю, работающей в той же зоне. Определение величины уставки по напряжению может определяться по следующим выражениям:

$$V_{eff} = (I_{proc} \times Z_e) / (1/3 \times V1/V2) \quad \text{Для разомкнутого треугольника ТН}$$

$$V_{eff} = (I_{proc} \times Z_e) / (V1/V2) \quad \text{Для однофазной нейтральной точке звезды ТН}$$

Где:

V_{eff} = величина уставки по напряжению токовой защиты

I_{proc} = первичная величина тока срабатывания токовой защиты

Z_e = величина импеданса заземления

$V1/V2$ = коэффициент трансформации ТН

Необходимо следить также за тем, чтобы величина уставки по напряжению элемента была выше уровня любых остаточных напряжений системы. Стандартная уставка для защиты от остаточного избыточного напряжения 5 В.

Вторая ступень защиты может использоваться в качестве ступени сигнализации на незаземленных или на заземленных системах с очень высоким импедансом в случаях, когда система может функционировать длительное время при наличии замыкания на землю. При подключении генератора к системе через трансформатор нет необходимости в координации с защитой от замыкания на землю. В таком случае величина уставки напряжения смещения нейтрали обычно составляет 5% от величины номинального напряжения. Такая уставка обеспечивает защиту 95% обмотки статора.

2.18 Чувствительная защита от замыкания на землю (50N/51N/67N/67W)

В случае, когда генератор заземлен через большое полное сопротивление или сопротивление земли велико, уровень токов замыкания на землю строго ограничен. Следовательно, для эффективного функционирования применяемая защита от замыкания на землю нуждается как в соответствующей характеристике, так и в чувствительном диапазоне срабатывания. Для этой цели в реле P34x предусмотрена отдельная чувствительная защита от замыкания на землю, которая имеет выделенный вход ТТ, который позволяет устанавливать крайне малые пороги токов срабатывания.

При работе в многократно заземленной системе, в которой предпочтительным будет применение направленного реле замыканий на землю на выводах генератора, возможно альтернативное использование входа чувствительной защиты от замыкания на землю. Реле направленной защиты, контролирующее величину протекающего через генератор тока, не должно реагировать на внешние короткие замыкания, однако должно быстро срабатывать при коротких замыканиях генератора, когда ток короткого замыкания подается из системы.

При параллельной работе нескольких генераторов стандартной практикой будет заземление только одного из них. Это предотвращает возникновение третьей гармоники тока, которая вызывает перегрев генератора. Для этой части системы может использоваться только соединение на корпус. Ненаправленная защита от замыкания на землю используется для незаземленных генераторов, так как такие генераторы не могут являться источником токов замыкания на землю. Однако, при наличии заземления некоторых генераторов, целесообразно применять направленную защиту для всех выводов генераторов.

Имеется вероятность того, что неустановившийся разностный ток вызовет срабатывание ненаправленного реле замыкания на землю, питаемого через выводы, для внешнего фазного замыкания, поэтому направленные элементы имеют дополнительную степень безопасности. В таком случае, направленная защита от замыкания на землю осуществляет защиту только незаземленных генераторов и ее действие не распространяется на заземленные машины. Следовательно, для обеспечения защиты заземленных генераторов необходимо использовать дополнительную защиту от замыканий статора на землю или защиту обратной последовательности / остаточного напряжения. Использование такой схемы обеспечит стабильную, быструю защиту от замыкания на землю как заземленных, так и незаземленных генераторов.

Реле P34x снабжено единственной ступенью с независимой временной характеристикой чувствительной защиты от замыкания на землю, которая при необходимости может использоваться с направленной характеристикой. В случае использования катушки Петерсена пользователи могут применять направленную защиту мощности от замыкания на землю или характеристику $I_{cos\phi}$. Также предусмотрены уставки для работы элемента в качестве защиты мощности. Для применений в сетях с изолированной нейтралью обычно используется характеристика $I_{sin\phi}$. Для получения более подробной информации по использованию направленной защиты от замыкания на землю в изолированных системах и в системах с катушкой Петерсена см. руководство P140 для P14x/EN T, раздел 2.7

2.18.1 Установка параметров чувствительной защиты от замыкания на землю

Рабочий режим чувствительной защиты от замыкания на землю может быть выбран в ячейке "SEF/REF Options (ОПЦИИ SEF/REF)". Чувствительная защита от замыкания на землю может быть введена установкой функции "ISEF>1" в положение "Enabled" (Введено). Чувствительная защита от замыкания на землю и чувствительная направленная защита от замыкания на землю включаются после выбора функции "SEF" в ячейке "SEF/REF Options (ОПЦИИ SEF/REF)". Для SEF $\cos\phi$ и SEF $\sin\phi$ защиты от замыкания на землю ячейка "SEF/REF Options" должна быть выставлена на 'SEF Cos (PHI) или SEF Sin (PHI)'. Опции SEF $\cos\phi$ и SEF $\sin\phi$ отсутствуют в REF защите малого импеданса. Для защиты мощности от замыкания на землю ячейка "SEF/REF Options (ОПЦИИ SEF/REF)" должна быть выставлена на 'Wattmetric'. Для получения информации о других опциях для "SEF/REF Options (ОПЦИИ SEF/REF)" относящихся к защите ограниченного замыкания на землю, см. раздел 2.19.

Направленность защиты устанавливается с помощью уставки "ISEF> Direction (1 СТ.433:НАПРАВЛ)". Если в разделе "ISEF> Direction (1 СТ.433:НАПРАВЛ)" выбрать функцию "Directional Fwd" (ПРЯМ. НАПРАВЛЕН.), защита будет ориентирована на ток, протекающий в прямом направлении, то есть из системы к машине при реле подключеном так, как показано на стандартной схеме подключения. Если в разделе "ISEF> Direction (1 СТ.433:НАПРАВЛ)" выбрать функцию "Directional Rev" (ОБРАТ. НАПРАВЛЕН.), защита будет ориентирована на ток, протекающий в обратном направлении, то есть от машины к системе. Если в разделе "ISEF>Direction (1 СТ.433:НАПРАВЛ)" выбрать функцию "Non-Directional", защита будет действовать как обычная максимальная токовая защита. При выборе какой-либо направленности предоставляются дополнительные ячейки для выбора характеристик угла направленности и выводится порог поляризующего напряжения.

Порог по току чувствительной защиты от замыкания на землю (функция "ISEF>1 Current (1 СТ.433:ТОК)") должна составлять не более 5% от минимального тока замыкания на землю, подпитывающего короткое замыкание на выводы генератора.

Значение уставки угла направленности "ISEF> Char. Angle (433:УГЛОВ.ХАР)" должно быть как можно больше приближенно к углу полного сопротивления нулевой последовательности за защищаемой зоной. Если полное сопротивление перекрывается заземляющим резистором, например, уставка угла должна равняться 0° . В изолированных системах или в системах с очень большим сопротивлением заземления ток замыкания на землю, измеряемый элементом SDEF, является преимущественно емкостным током, поэтому уставка угла должна равняться -90° .

Уставка напряжения полярности, "ISEF> VPol. Set (433:ПОЛЯР.3Uo)", должна выбираться таким образом, чтобы чувствительность реле позволяла точно определять предельное значение рабочего тока. По величине предельного значения тока можно определить остаточное напряжение, как описано в разделе 2.17.

При выборе ненаправленной работы защиты уставка независимой выдержки времени "ISEF>1 Delay (4 СТ.433:СТУП.t)" должна выбираться таким образом, чтобы соблюдались условия селективности с устройствами ниже по схеме, которые могут срабатывать при наличии внешних коротких замыканий. В случае подключения генератора не напрямую, работа чувствительной защиты от замыкания на землю должна быть скоординирована с плавкими предохранителями измерительного ТН, что необходимо для предотвращения срабатывания при коротких замыканиях ТН. При направленной работе защиты, когда выполняется подключение к реле нулевой точки фазных ТТ, желательна установка малого времени задержки, что обеспечивает стабильное функционирование при внешних замыканиях на землю и междуфазных КЗ.

2.19 Ограниченная защита от замыкания на землю (64)

Возможные замыкания на землю в обмотке или вводах генератора не всегда могут иметь ограниченную величину, особенно в случае наличия значительного сопротивления на пути протекания тока через землю или при протекании тока замыкания через некоторую часть обмотки статора. Как отмечалось в разделе 2.15, на практике принято осуществлять защиту статора от замыкания на землю с помощью однофазного ТТ, подключаемого в месте заземления генератора. Такое подключение позволяет осуществлять защиту обмотки статора и выводов с некоторым временем срабатывания в случае, если в обмотке или на выводе возникло короткое замыкание. При использовании более мощных генераторов (обычно >2 МВт), в которых ТТ подключаются к обоим концам нейтрали и выводам обмотки статора, применяется дифференциальная фазная защита. Для генераторов малой мощности, снабжаемых только одним фазным ТТ, невозможно использование дифференциальной фазной защиты. Для таких генераторов возможно использование дифференциальной защиты от замыкания на землю для обеспечения мгновенного отключения при возникновении замыканий на землю в обмотке статора или вводах генератора. Зона срабатывания дифференциальной защиты от замыкания на землю ограничена замыканиями в ТТ, следовательно, данная защита является ограниченной защитой от замыкания на землю.

При использовании дифференциальной защиты, например, ограниченной защиты от замыкания на землю, должны быть приняты меры для отстройки от внешних коротких замыканий, то есть реле должно реагировать только на замыкания в обмотке трансформатора или его присоединениях. Используются два основных метода: метод торможения и метод большого полного сопротивления. Метод торможения основан на изменении чувствительности срабатывания реле в зависимости от уровня тока. Метод большого полного сопротивления предполагает что сопротивление цепи реле имеет достаточно большое значение, следовательно дифференциальное напряжение, вызванное внешним замыканием, не обладает достаточной величиной для превышения токовой уставки реле.

Применяемая в реле серии P34x дифференциальная защита может быть настроена на работу как по методу большого полного сопротивления, так и по методу торможения. Обратите внимание, что требования к ТТ при использовании ограниченной защиты от замыкания на землю изложены в разделе 4.

2.19.1.1 Установка параметров дифференциальной защиты от замыкания на землю по методу торможения

Для установки дифференциальной защиты по методу торможения необходимо в ячейке "SEF/REF Option (ОПЦИИ SEF/REF)" выбрать функцию "Lo Z REF". Если же необходима также и чувствительная защита от замыкания на землю, нужно выбрать функцию "Lo Z REF + SEF" или "Lo Z REF + по Wattmet." (если необходима защита мощности от замыкания на землю).

В реле P34x предусмотрены две уставки по току торможения. Уставка "IREF> k1" действует вплоть до тока уставки "IREF> Is2", который обычно соответствует номинальному току генератора. Уставка "IREF> k1" обычно имеет величину 0%, что обеспечивает максимальную чувствительность при замыканиях. Однако при наличии некоторого остаточного дифференциального тока, вызванного несогласованием ТТ, необходимо соответствующее увеличение уставки "IREF> k1".

Уставка "IREF> k2" распространяется на токи, превышающие значение "IREF> Is2", и обычно имеет величину 150%, что гарантирует несрабатывание при внешних повреждениях.

Коэффициент ТТ нейтрали автоматически настраивается реле для обеспечения совместной работы фазных ТТ и ТТ нейтрали при вводе в реле действительных значений коэффициентов трансформации. Следовательно, для обеспечения нормальной работы реле необходим ввод коэффициентов трансформации в меню "CT RATIOS".

Уставка дифференциального тока "IREF> Is1" обычно составляет 5% от величины уровня ограничения тока замыкания на землю.

2.19.1.2 Установка параметров защиты от замыкания на землю с использованием метода большого полного сопротивления

Для ввода в действие защиты от замыкания на землю с использованием метода большого полного сопротивления необходимо в ячейке "Sens. E/F Options (ОПЦИИ ЧЗЗ)" выбрать функцию "Hi Z REF". После этого предоставляется возможность ввода уставки дифференциального тока "IREF> Is". Данная уставка тока срабатывания обычно составляет 30% минимального уровня тока замыкания на землю в системах, заземленных через активное сопротивление, или 10 – 60% того же тока в глухо заземленных системах.

Ток первичной обмотки I_{op} является функцией коэффициента трансформации ТТ, тока срабатывания реле "IREF> Is", количества ТТ, параллельных элементу реле (n), и тока намагничивания каждого ТТ (I_e) при стабильности по напряжению V_s .

Зависимость может быть выражена тремя способами:

15. Определение максимального значения тока намагничивания трансформатора, при котором достигается первичный ток срабатывания реле, при конкретном значении уставки дифференциального тока.

$$I_e < \frac{1}{n} \times \left(\frac{I_{op}}{CT \text{ ratio}} - \text{Gen diff REF} > I_{s1} \right)$$

16. Определение максимального значения уставки дифференциального тока, при которой достигается первичный ток срабатывания реле, при конкретном значении тока намагничивания трансформатора.

$$IREF \ I_{s1} < \left(\frac{I_{op}}{CT \text{ ratio}} - n I_e \right)$$

17. Определение первичного тока срабатывания защиты при конкретном значении тока срабатывания реле и тока намагничивания трансформатора.

$$I_{op} = (CT \text{ ratio}) \times (IREF > I_{s1} + n I_e)$$

Для достижения первичного тока срабатывания реле уставка дифференциального тока ($IREF > I_s$) должна выбираться для работы по методу большого полного сопротивления, что видно из выражения (ii). Уставка величины стабилизирующего сопротивления определяется по приведенной ниже формуле, где данная уставка является функцией уставки стабилизирующего напряжения (V_s) и уставки дифференциального тока ($IREF > I_s$).

$$R_{ST} = \frac{V_s}{IREF > I_{s1}} = \frac{I_f (R_{CT} + 2R_L)}{IREF > I_{s1}}$$

Примечание: предполагается что реле обладает несущественно малым полным сопротивлением. Сопротивление стабилизирующего резистора должно регулироваться вплоть до необходимого значения сопротивления.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ РЕЗИСТОРОВ "METROSIL"

Резисторы "Metrosil" используются для ограничения пикового напряжения, вырабатываемого трансформаторами тока при внутренних замыканиях, до значения ниже уровня изоляции ТТ, реле и соединительных выводов, которые обычно выдерживают пиковое напряжение 3000 В.

Для определения пикового неустановившегося напряжения, которое может возникнуть в результате внутреннего замыкания, следует использовать следующую формулу. Пиковое напряжение находится в функциональной зависимости от напряжения ТТ и предполагаемого значения напряжения, которое появится в случае, если не произойдет насыщение ТТ. Это предполагаемое значение, в свою очередь, находится в функциональной зависимости от максимального значения тока замыкания во вторичной обмотке, коэффициента ТТ, сопротивления вторичной обмотки ТТ, сопротивления проводов ТТ в общей точке, сопротивления проводов реле и значения стабилизирующего резистора.

$$V_p = 2\sqrt{2} V_k (V_f - V_k)$$

где:

V_p = пиковое напряжение, вырабатываемое ТТ при внутреннем замыкании

V_k = напряжение точки загиба ТТ

V_f = максимальное напряжение, которое появится в случае, если не произойдет насыщение ТТ.

I_f = максимальное значение тока замыкания во вторичной обмотке

R_{CT} = сопротивление вторичной обмотки ТТ

R_L = максимальная нагрузка провода от ТТ к реле

R_{ST} = сопротивление стабилизирующего резистора реле

Если в результате расчетов по формуле выходное значение превышает 3000 В, то в этом случае следует использовать резисторы Metrosil. Резисторы подключаются параллельно цепи реле и, таким образом, шунтируют выходной ток вторичной обмотки трансформатора тока от реле для предотвращения сверхвысоких вторичных напряжений.

Резисторы устанавливаются с внешней стороны и имеют форму кольцеобразных дисков. Рабочие характеристики резисторов выражаются следующим образом:

$$V = CI^{0,25}$$

Где:

V = мгновенное напряжение нелинейного резистора (Metrosil)

C = постоянная нелинейного резистора (Metrosil)

I = мгновенный ток, протекающий через нелинейный резистор (Metrosil).

При использовании синусоидального напряжения действующее значение (RMS) тока будет составлять приблизительно 0,52х от пикового значения и может быть рассчитано по формуле:

$$I(\text{rms}) = 0.52 \left(\frac{V_s(\text{rms}) \times \sqrt{2}}{C} \right)^4$$

Где:

$V_s(\text{rms})$ = действующее значение синусоидального напряжения параллельно резистору.

Следует отметить тот факт, что ток, протекающий через нелинейный резистор (Metrosil) не синусоидальный, а с существенными искажениями.

Для успешного использования нелинейных резисторов (Metrosil) следует учитывать следующие требования:

18. С учетом уставки напряжения реле ток на нелинейном резисторе (Metrosil) должен быть максимально мал, не больше 30 мА (действ.) для трансформаторов тока 1 А и 100 мА (действ.) для трансформаторов тока 5 А.
19. При максимальном значении вторичного тока нелинейный резистор (Metrosil) должен ограничивать напряжение до 1500 В (действ.) или 2120 В (пиковое значение) за 0,25 секунд. При высоких уставках напряжения реле не всегда возможно ограничить напряжение замыкания до 500 В (действ.), поэтому можно допустить появление высоких напряжений замыкания.

В нижеследующих таблицах приведены типы резисторов в зависимости от номинального значения тока реле, уставки напряжения и т.д.

Параметры Metrosil для реле с трансформатором тока 1 А

Резисторы Metrosil с трансформатором тока 1 А разработаны для соответствия следующим ограничениям:

20. С учетом уставки напряжения реле ток на резисторе не должен превышать 30 мА (действующее значение).
21. При максимальном значении тока короткого замыкания во вторичной обмотке резистор Metrosil должен ограничивать напряжение до 1500 В (действующее значение), если возможно.

В следующей таблице приведены рекомендуемые типы резисторов Metrosil для использования с трансформаторами тока 1 А.

Уставка напряжения реле	Номинальная характеристика		Рекомендуемый тип резистора Metrosil	
	C	β	Однополюсное реле	Трехполюсное реле
До 125 В действ.	450	0,25	600A/S1/S256	600A/S3/1/S802
125 В – 300 В действ.	900	0,25	600A/S1/S1088	600A/S3/1/S1195

Примечание: Metrosil для однополюсных реле обычно поставляются без крепежных скоб (если не заказано отдельно).

Параметры Metrosil для реле с трансформатором тока 5 А

22. С учетом уставки напряжения реле ток на резисторе не должен превышать 100 мА (действ.). Фактические максимальные значения токов, проходящих через резисторы, приведены после описания типа резисторов.
23. При максимальном значении тока короткого замыкания во вторичной обмотке резистор Metrosil должен ограничивать напряжение до 1500 В (действующее значение) за 0,25 с. При более высоких уставках реле невозможно ограничить напряжения замыкания до 1500 В, поэтому следует допускать возможность появления высоких напряжений замыкания (с отметками *, **, ***).

В следующей таблице приведены рекомендуемые типы резисторов Metrosil для использования с трансформаторами тока 5 А и однополюсными реле:

Ток внутреннего короткого замыкания во вторичной обмотке	Рекомендуемый тип резистора Metrosil			
	Уставка напряжения реле			
Ампер действ.	До 200 В действ.	250 В действ.	275 В действ.	300 В действ.
50 А	600A/S1/S1213 C = 540/640 35 мА действ.	600A/S1/S1214 C = 670/800 40 мА действ.	600A/S1/S1214 C = 670/800 50 мА действ.	600A/S1/S1223 C = 740/870* 50 мА действ.
100 А	600A/S2/P/S1217 C = 470/540 70 мА действ.	600A/S2/P/S1215 C = 570/670 75 мА действ.	600A/S2/P/S1215 C = 570/670 100 мА действ.	600A/S2/P/S1196 C = 620/740 100 мА действ. *
150 А	600A/S3/P/S1219 C = 430/500 100 мА действ.	600A/S3/P/S1220 C = 520/620 100 мА действ.	600A/S3/P/S1221 C = 570/670** 100 мА действ.	600A/S3/P/S1222 C = 620/740*** 100 мА действ.

Примечание: *2400В **2200В ***2600В (пиковые значения)

В некоторых случаях могут использоваться одинарные диски. За более подробной информацией обращайтесь в компанию AREVA T&D.

Примечания:

24. Резисторы Metrosil, рекомендованные для использования с трансформаторами тока 5 А, также могут применяться и с трехфазными реле. Резисторы представляют собой три однополюсных устройства, скомпонованные на одном стержне и электрически изолированные друг от друга. Для заказа таких резисторов следует указать "Triple pole Metrosil type" ("Трехполюсный тип"), а затем привести описание однополюсного резистора.
25. При необходимости могут поставляться резисторы Metrosil для более высоких значений напряжения реле и токов замыкания.

Для более подробной информации по выбору резисторов Metrosil просьба обращаться в отдел заявок компании AREVA T&D.

2.20 100% защита статора от замыкания на землю (метод 3-й гармоники) (27TN/59TN)

Как уже указывалось в разделах 2.15 и 2.17, элементы защиты остаточного максимального напряжения или стандартного остаточного тока в состоянии обеспечить защиту от короткого замыкания на землю для 95% обмотки статора генератора.

Короткие замыкания на землю в оставшихся 5% обмотки вызовут малый ток короткого замыкания или незначительную асимметрию напряжений, которые не будут обнаружены обычными защитами. В большинстве случаев такое ограничение является допустимым по причине низкой вероятности возникновения короткого замыкания в оставшихся 5% обмотки статора ближе всего находящимся к нейтральной точке звезды с наименьшим напряжением относительно земли. Хотя для больших генераторов 100% защита от замыканий на землю обычно обеспечивает защиту от всех коротких замыканий на землю в обмотке, короткие замыкания около нейтральной точки звезды могут возникать вследствие механического повреждения, например, сползание проводников или ослабление болтов.

При работе большинства генераторов возникает некоторое напряжение 3-й гармоники из-за нелинейностей в магнитных контурах генератора. При нормальных условиях функционирования распределение напряжения 3-й гармоники на обмотках статора показано на Рисунке 13а. Можно увидеть, что максимумы возникают в нейтрали звезды N и на выводе T. Значения увеличиваются по мере увеличения нагрузки генератора. При замыкании на землю в цепи статора Рисунок 13b амплитуда 3-й гармоники по напряжению на выводах приблизительно удваивается. Это происходит как при отсутствии нагрузки на генераторе перед коротким замыканием (U'_{TE}), так и при полной нагрузке (U''_{TE}). Такие же значения 3-й гармоники получаем при измерении напряжений U'_{NE} и U''_{NE} в нейтрали звезды при замыкании на землю, возникающем на выводах генератора, Рисунок 13с.

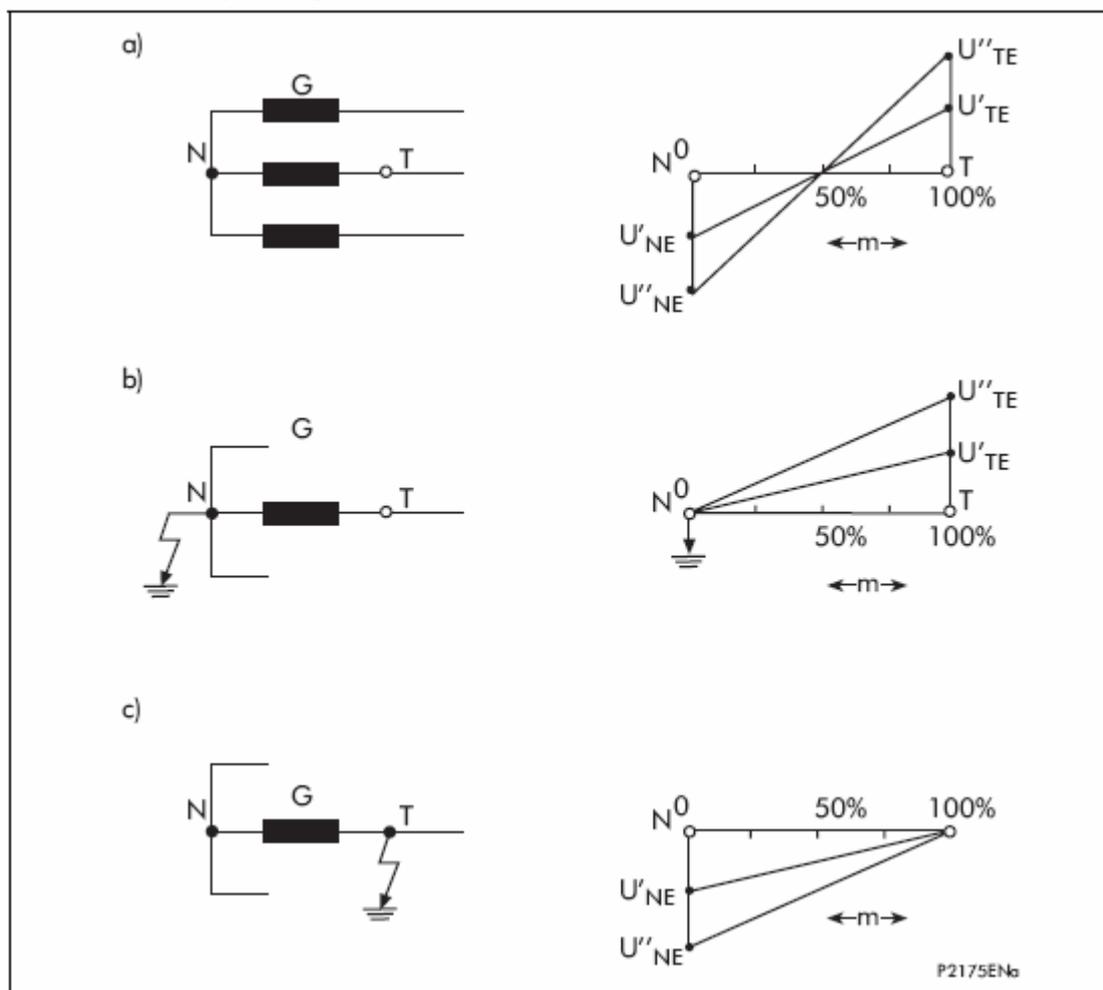


Рисунок 13: Распределение составляющей 3-й гармоники по обмотке статора большого генератора, (а) стандартное функционирование, (b) замыкание на землю статора в нейтральной точке звезды (с), замыкание на землю статора на выводах

m = относительное количество витков

Для обнаружения замыканий в последних 5% обмотки генератора в реле P343/4/5 предусмотрен элемент минимального и максимального напряжения третьей гармоники. Вместе с защитой статора от замыкания на землю по напряжению нулевой последовательности этот элемент будет обеспечивать защиту при КЗ во всей обмотке.

Элемент минимального напряжения нейтрали третьей гармоники применяется, когда на стороне нейтрали генератора есть измерение напряжения нейтрали. Он контролируется элементом трехфазного минимального напряжения, который запрещает работу защиты, когда все междуфазные напряжения на выводах генератора ниже уставки, чтобы предотвратить срабатывание при отключенной машине. Кроме того, блокировка может потребоваться при определенных условиях для предотвращения ложной работы. Например, некоторые машины не производят значительного напряжения третьей гармоники, пока не будут нагружены. В этом случае для обнаружения нагрузки могут использоваться элементы контроля мощности (активной, реактивной и фиксируемой мощности) во избежание ложного срабатывания в условиях отсутствия нагрузки. Эти уставки мощности могут индивидуально вводиться и выводиться из работы, их диапазон от 2 до 100% Pn.

В случаях, когда измерение напряжения нейтрали может быть обеспечено на выводах генератора, например, с ТН, соединенного в разомкнутый треугольник, метод минимального напряжения применяться не может. Следовательно, в этом случае может применяться элемент минимального напряжения нейтрали третьей гармоники. Функции блокировки элементов максимального напряжения и мощности для элемента максимального напряжения нейтрали 3-й гармоники не требуются.

Примечание: В реле можно выбрать либо защиту максимального напряжения нейтрали 3-й гармоники, либо минимального напряжения нейтрали 3-й гармоники, но не обе.

Стандартный уровень напряжения 3-й гармоники является достаточным для того, чтобы гарантировать, что функции защиты максимального и остаточного максимального напряжения или минимального напряжения 3-й гармоники будут совмещаться, обеспечивая таким образом 100% защиту при замыканиях на землю обмотки статора. В целом, защита минимального напряжения 3-й гармоники сама по себе может обеспечивать защиту 30% обмотки генератора при коротких замыканиях.

Элемент защиты минимального напряжения 3-й гармоники срабатывает из того же входа, что и защита напряжения смещения нейтрали (вход VN1 для P343/4/5). Элемент должен поступать из трансформатора ТН, подключенного в соединение заземления генератора, как показано на Рисунке 14. Элемент защиты максимального напряжения 3-й гармоники срабатывает от измерения напряжения нейтрали на выводах генератора, через ТН с открытым треугольником, например, как показано на Рисунке 14. В случаях, когда параллельные машины подключены прямо к шинпроводам, обычно невозможно достичь распознавания замыкания на землю между машинами. В случаях, когда машины подключены к шинпроводам через трансформатор со схемой соединения треугольник/звезда, соединенная треугольником обмотка блокирует токи 3-й гармоники из других машин, поэтому при замыканиях на землю можно достичь правильного распознавания.

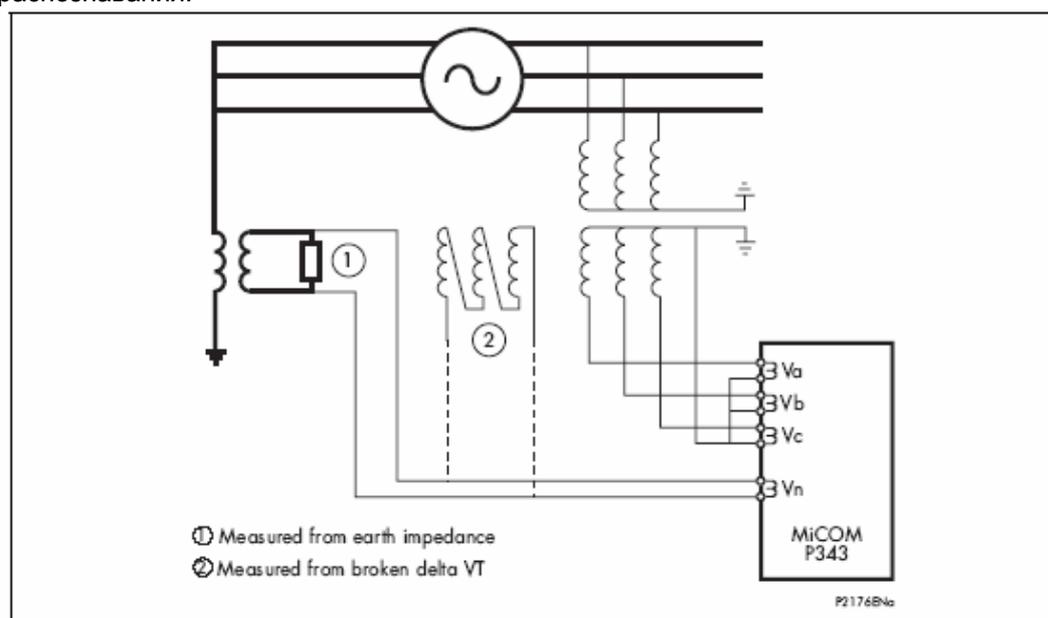


Рисунок 14: Подключение максимального и минимального напряжения 3-й гармоники для 100% защиты статора от замыкания на землю

Надписи на рисунке:

Measured from earth impedance = Измерено от импеданса на землю

Measured from broken delta VT = Измерено от разомкнутого треугольника ТН

2.20.1 Установка параметров 100% защиты статора от замыкания на землю

Для запуска 100% защиты статора от замыкания на землю необходимо в ячейке "100% St EF Статус" выбрать функцию "Введена". Уставка максимального напряжения третьей гармоники "100% St EF VN3H<" должна быть выбрана ниже уровня напряжения третьей гармоники при нормальных условиях работы. Значение этого напряжения можно найти в ячейке "VN 3rd Harmonic (VN 3-Я ГАРМ.)" в меню "MEASUREMENTS 3 (ИЗМЕРЕНИЯ 3)". В большинстве случаев порог имеет значение 0,5 В.

Уставка максимального напряжения третьей гармоники "100% St EF VN3H>" должна быть выбрана dsit уровня напряжения третьей гармоники при нормальных условиях работы. Значение этого напряжения можно найти в ячейке "VN 3rd Harmonic (VN 3-Я ГАРМ.)" в меню "MEASUREMENTS 3 (ИЗМЕРЕНИЯ 3)". В большинстве случаев порог имеет значение 1 В.

Время срабатывания защиты устанавливается в ячейках "VN3H< Время срабатывания и VN3H> Время срабатывания".

Уставка блокировки по напряжению "100% St EF V<Inh", используемая при незапущенном в нормальную работу генераторе, в большинстве случаев составляет 80% от величины номинального напряжения генератора.

Пороги блокировки защиты мощности используются для предотвращения срабатывания элемента защиты без достаточного тока нагрузки. Для предотвращения срабатывания при отсутствии нагрузки необходимо включить Q<Inhibit set (Q< УСТ.ЗАПРЕТА), S<Inhibit (ЗАПРЕТ ПО S<)". Один или несколько порогов могут использоваться в качестве блокировки. Они должны быть выставлены на стадии введения в эксплуатацию путем увеличения тока нагрузки до момента сброса элемента защиты минимального напряжения 3-й гармоники и установки порогов мощности выше измеренных значений мощности. Значения мощности могут быть определены по ячейкам "three-phase Watts, three-phase Vars, three-phase VA" в меню "MEASUREMENTS 2 (ИЗМЕРЕНИЯ 2)".

Примечание: следует помнить, что для полной защиты обмотки статора от замыкания на землю совместно с описанной защитой необходимо использовать другие защиты от замыкания на землю (защита остаточного напряжения или токовая защита от замыкания на землю).

2.21 100% защита статора от замыкания на землю (метод введения низкой частоты) (64S)

100% защита статора от замыкания на землю по методу введения низкой частоты обнаруживает замыкания на землю на всей обмотке, включая точку нейтрали генератора. Если замыкание на землю в нейтрали звезды генератора или вблизи нейтрали звезды не определяется, генератор фактически работает с небольшим импедансом заземления, обходя большой импеданс заземления, обычно используемый на больших машинах. Второе замыкание на землю может вызвать протекание очень высокого тока, который в свою очередь может стать причиной повреждения машины. Вот почему 100% защиты статора от замыкания на землю является общим требованием для больших машин.

Метод введения низкой частоты может использоваться для обеспечения 100% защиты обмотки статора. Для сравнения, использование метода 3-й гармоники обеспечивает лишь 20-30% защиты обмотки. Метод введения низкой частоты также обеспечивает защиту, когда машина остановлена и работает, а также, когда машина запускается и останавливается. Метод 3-й гармоники должен быть заблокирован или быть не задействован, когда машина остановлена, а также, когда машина запускается и останавливается. Некоторые машины выдают только низкий уровень напряжения 3-й гармоники (<1% Vn), поэтому для этих машин не может использоваться метод 3-й гармоники 100% защиты статора от замыкания на землю. Следовательно, в этих случаях только метод введения низкой частоты может обеспечивать 100% защиту статора от замыкания на землю.

100% защита статора от замыкания на землю может обеспечиваться путем введения внешнего переменного напряжения низкой частоты в нейтральную точку звезды или на выводы машины. В нормальных условиях через емкость статор-земля протекает очень малый ток из-за высокого сопротивления этой цепи при низких частотах ($X_c = 1/2\pi f c$). При замыкании на землю измеренный ток возрастает из-за меньшего сопротивления цепи замыкания на землю. Реле может определить активное сопротивление КЗ из вводимого напряжения и тока КЗ. Защита также может обнаружить замыкание на землю на выводах генератора, включая подключенные компоненты, такие как трансформаторы напряжения.

Необходимо установить нагрузочное устройство с генератором низкой частоты. Выход генератора сигнала низкой частоты (примерно 25 В) подключается через полосовой фильтр параллельно резистору нагрузки к трансформатору нейтрали в нейтральной точке генератора или к трансформатору заземления (разомкнутый треугольник) на выводах генератора.

Нагрузочный резистор подключен параллельно генератору низкой частоты для генерирования определенного тока нейтрали в условиях нормального режима. Напряжение, которое будет прикладываться в нейтральную точку звезды генератора, зависит от напряжения возбуждения 20 Гц (делитель напряжения: резистор нагрузки и полосовой фильтр) и коэффициента трансформации трансформатора нейтрали или заземления. Для предотвращения того, что сопротивление вторичной нагрузки будет слишком мало (оно должно быть $> 0,5$ Ом, где возможно), для трансформатора нейтрали или заземления следует выбрать высокое вторичное напряжение, такое как 500 В. Важно, чтобы никогда не произошло насыщение трансформатора заземления, иначе может возникнуть феррорезонанс. Важно, чтобы напряжение точки излома характеристики трансформатора было равно номинальному линейному напряжению генератора. Напряжение низкой частоты подается на реле через делитель напряжения, а измерительный ток низкой частоты подается через миниатюрный трансформатор тока. Все помехи, отклоняющиеся от номинального сигнала низкой частоты, отфильтровываются.

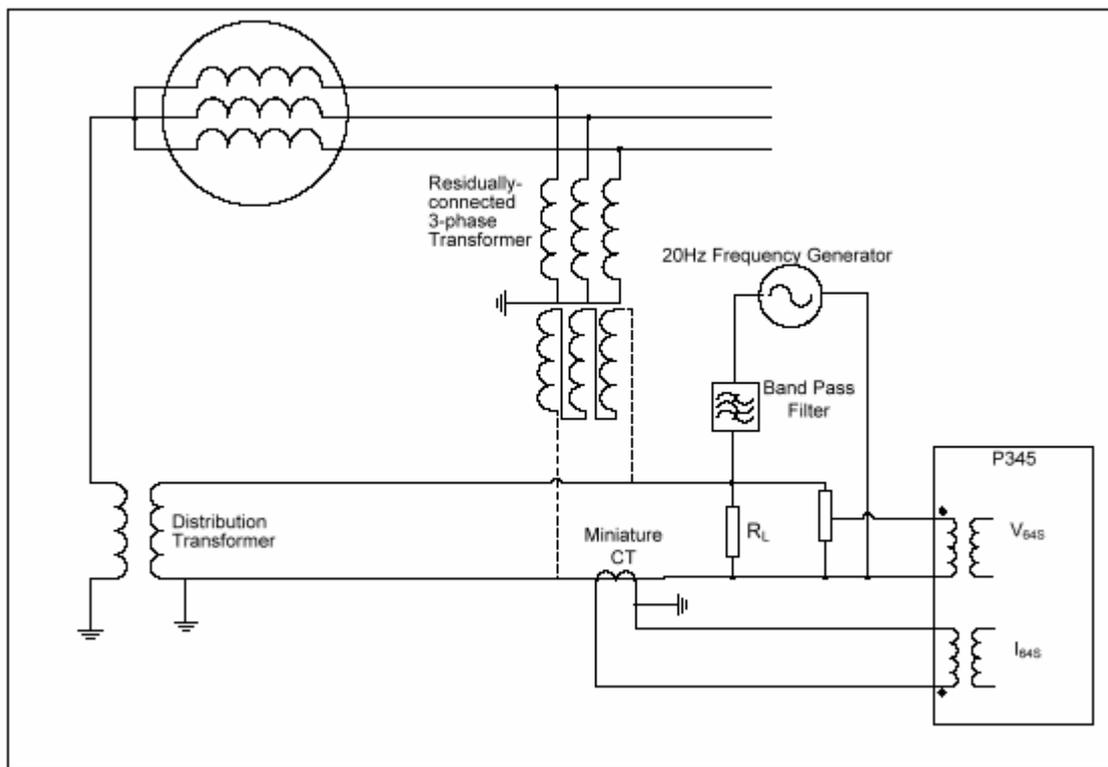
100% защита статора от замыкания на землю может также применяться с первичным нагрузочным сопротивлением. Напряжение 20 Гц подключается через трансформатор напряжения, а ток нейтрали непосредственно измеряется трансформатором тока, см. раздел 2.21.2.3.

Из измеренных векторов тока и напряжения можно вычислить комплексное полное сопротивление, а из него определить активное сопротивление. Это исключает помехи, вызванные емкостью статора относительно земли, и обеспечивает высокую чувствительность. Алгоритм реле может учитывать переходной резистор 64S Series R, который может присутствовать на трансформаторе напряжения нейтрали или заземления. Примером последовательного резистора является активное сопротивление суммарной утечки на трансформаторе нейтрали или заземления, через которое напряжение прикладывается к нейтрали генератора. Алгоритм может также учитывать параллельное сопротивление, 64S Parallel G ($G = 1/R$), такое как дополнительное оборудование нагрузки, подключенное со стороны низкого напряжения повышающего трансформатора. Другие факторы погрешности могут учитываться путем компенсации фазовой погрешности, 64S Angle Comp (64S КОМП.ФАЗЫ).

Реле содержит орган защиты максимального тока 20 Гц, который может использоваться в качестве резервного к защите минимального сопротивления 20 Гц. Орган максимального тока не так чувствителен, как орган минимального сопротивления, поскольку он не содержит компенсации переходного сопротивления или какой-либо компенсации емкостного влияния.

Кроме измерения сопротивления заземления реле также включает 95% защиты статора от замыкания на землю в качестве резервной защиты 100% защиты статора от замыкания на землю. Для обеспечения 95% защиты статора от замыкания на землю может использоваться защита напряжения нейтрали от измеряемого заземляющего трансформатора/нейтрали трансформатора или рассчитанного напряжения нейтрали на входе 3-х фазного напряжения, которое остается активным во время запуска и остановки генератора.

100% защита статора от замыкания на землю включает 2 этапа защиты минимального сопротивления для подачи сигнала и отключения, а также максимальную токовую защиту. Каждый этап защиты имеет определенную уставку выдержки по времени. Защита состоит из контролирующего элемента, который используется для оценки повреждения низкочастотного генератора или низкочастотного соединения.



Где

R_L нагрузочный резистор
 V_{64S} напряжение смещения на реле защиты
 I_{64S} измерительный ток на реле защиты

Рисунок 15: Принципиальная схема 100% защиты статора от замыкания на землю с трансформатором заземления (разомкнутый треугольник) или трансформатором нейтрали

Надписи на рисунке: Miniature CT = Миниатюрный ТТ Distribution transformer = Распределительный трансформатор
 Band Pass Filter = Полосовой фильтр 20 Hz Frequency Generator = Генератор частоты 20 Гц
 Residually connected 3-phase transformer = 3-х фазный трансформатор, подключенный к остаточному источнику

2.21.1 Установка параметров 100% защиты статора от замыкания на землю.

Для запуска 100% защиты статора от замыкания на землю необходимо в ячейке "64S 100% St EF Функция" выбрать "Введена". Коэффициент 64S R устанавливается так, как описано в разделе 0 - Расчет уставок для коэффициента R.

Порог подачи сигнала при минимальном сопротивлении "64S Alarm Set (64S УСТ.СИГН)" должен устанавливаться ниже уровня сопротивления при нормальных условиях. Это сопротивление можно определить по ячейке "64S Alarm Set (64S УСТ.СИГН)" в меню ИЗМЕРЕНИЯ 3. Стандартное значение для первичной уставки подачи сигнала при переходном сопротивлении в месте короткого замыкания находится в диапазоне 3-8 Ом. Порог отключения при минимальном сопротивлении "64S R<2 Trip Set (64S R<2 УСТ.ОТКЛ)" должен устанавливаться ниже уровня сопротивления при нормальных условиях. Это сопротивление можно определить по ячейке 64S R в меню ИЗМЕРЕНИЯ 3. Стандартное значение для первичной уставки срабатывания при переходном сопротивлении в месте короткого замыкания находится в диапазоне между 1-2 Ом.

Порог отключения при максимальном токе "64S I>1 Trip Set (64S I>1 УСТ.ОТКЛ)" должен устанавливаться выше 20 Гц по току при нормальных условиях. Этот вторичный ток можно определить по ячейке 64S I Magnitude в меню ИЗМЕРЕНИЯ 3. Защита 64S реле P345 имеет мощный полосовой фильтр, настроенный на 20 Гц. Конструкция этого полосового фильтра предусматривает коэффициент затухания по меньшей мере -80 дБ для частот менее 15 Гц и более 25 Гц.

-80 дБ является эквивалентом способности шумоподавления с отношением сигнал-шум 10000 к 1. Однако, фильтр не способен подавлять все шумы в диапазоне 20 Гц. Когда частота энергетической системы составляет 20 Гц, реле будет не способно распознать частотный и входной сигнал энергетической системы.

При отсутствии коротких замыканий влиянием компонентов энергетической системы с частотой 20 Гц можно пренебречь. Поэтому нет опасности, что реле будет неправильно функционировать в условиях частоты в энергетической системе в диапазоне от 0 Гц до 70 Гц. Измеренным током будет емкостный ток плюс ток, проходящий через параллельное сопротивление. Уставка $64S I > 1$ должна устанавливаться выше, чем ток в рабочей точке. Благодаря фильтру реле защита минимального сопротивления ($64S R <$) и защита максимального тока ($64S I >$) будут работать правильно в условиях частоты в энергетической системе при замыканиях на землю, возникающих в диапазоне 0 - 15 Гц и 25 - 70 Гц в любой точке обмоток статора. Частотные составляющие энергетической системы будут удалены при помощи широкополосного фильтра и не повлияют на измерения защиты.

Влияние сигналов энергетической системы зависит от места образования короткого замыкания. Со стороны "звезда" влияние ничтожно мало. Поэтому, если со стороны "звезда" возникают короткие замыкания, как защита минимального сопротивления ($64S R <$), так и защита максимального тока ($64S I >$) работают правильно во всем диапазоне энергетической системы от 0 до 70 Гц.

При коротких замыканиях, возникающих не со стороны "звезда", там, где частотные сигналы энергетической системы находятся в диапазоне 20 Гц, начинают преобладать именно эти сигналы энергетической системы частотой 20 Гц, так как место возникновения короткого замыкания смещается по направлению к выводу генератора. В большинстве случаев ток составляет 180° не в фазе с напряжением, что приводит к необходимости вычисления отрицательного сопротивления, тем самым ограничивая работу элемента минимального сопротивления. (Примечание: элемент $64S R <$ срабатывает только, если измеренное сопротивление является положительным и меньше, чем уставка $R <$).

Ток $64S (I_{64S(P345)})$ в условиях короткого замыкания состоит из двух составляющих, составляющей 20 Гц тока ($I_{64S(20)}$) системы введения напряжения с частотой 20 Гц, а также составляющей тока ($I_{64S(G)}$) частотой 20 Гц, вызванной напряжением смещения нейтрали. В диапазоне 20 Гц составляющая $I_{64S(G)}$ не может быть отфильтрована и, таким образом, по величине участвует в $I_{64S(P345)}$, что улучшает способность обнаружения коротких замыканий защиты $64S I > 1$.

Таким образом, элемент $64S I >$ может использоваться для обеспечения резервной защиты при коротких замыканиях, которые возникают, когда машина работает на частоте 20 Гц. Уставка " $I_{64S I > 1}$ Trip" (Отключение) может настраиваться как элемент резервной защиты с частотой 15-25 Гц по отношению к элементам защиты $64S R < 1/R < 2$ путем увеличения времени отключения.

Если короткое замыкание возникает в диапазоне 20 Гц, измерения сопротивления $64S$ будут в основном ограниченном положении, поэтому опасность неправильного функционирования будет очень малой. Однако, если необходимо, защита $R < 1$ и $R < 2$ может быть заблокирована при значении около 20 Гц. Блок широкополосных фильтров $64S F$ Band Block (срабатывает, если измеренная частота находится в диапазоне 15-25 Гц) может использоваться для того, чтобы подавлять/блокировать защиту $64S R < 1, R < 2$.

Выдержку по времени для этих элементов можно установить в ячейках $64S R < 1$ Alm Dly, $64S R < 2$ Trip Dly и $64S I > 1$ Trip Dly. Выдержки по времени, заданные по умолчанию, имеют стандартные значения.

Если напряжение с частотой 20 Гц падает ниже контрольного порога для напряжения, $64S V < 1$ Set, а ток с частотой 20 Гц остается ниже контрольного порога для тока, $64S I <$ Set, это означает, что существует проблема с соединением, имеющим частоту 20 Гц. Настройки по умолчанию для $64S$ Supervision element, $64S V < 1$ Set (1B) and $64S I < 1$ Set (10 мА) будут приемлемыми в большинстве случаев.

Когда сопротивление в нагрузочном резисторе меньше, чем 1 Ом, контрольный порог для напряжения, $64S V < 1$ Set, должен быть снижен до 0,5 В, контрольный порог для тока, $64S I < 1$ Set, можно оставить на 10 мА.

Уставка Comp Angle используется для того, чтобы компенсировать погрешности углов между трансформатором тока и заземлением или нейтралью трансформатора. Эту уставку можно определить по первичному испытанию.

Уставка реле $64S$ Серии R используется для того, чтобы рассчитать переходное сопротивление заземления нейтрали трансформатора напряжения. Настройкой по умолчанию будет ноль, так как сопротивлением ТН обычно можно пренебречь. Сопротивлением ТН нельзя пренебречь, если на резистор первичной обмотки через ТН подается напряжение низкой частоты. Уставку можно определить путем расчета или проведения первичного испытания, см. раздел 2.23.4.

На мощных энергетических установках, с установленными на генераторах выключателями, защита может найти применение на стороне низкого напряжения там, где используется дополнительное нагрузочное оборудование, такое как заземляющий трансформатор. Там она применяется для уменьшения влияния напряжения нулевой последовательности, когда выключатель генератора отключен. Если источник низкой частоты подключен через нейтраль трансформатора к генератору со стороны "звезда", когда выключатель генератора включен, защита измеряет нагрузочное сопротивление со стороны блока трансформатора, которое можно ошибочно принять за сопротивление заземления.

Уставка 64S Parallel G может использоваться для вычисления этого дополнительного параллельного нагрузочного сопротивления. Уставка по умолчанию - 0, дополнительный нагрузочный резистор не нужен.

Резистор в нейтрали трансформатора со стороны "звезда" должен вызывать активный ток, который равен емкостному току при замыкании на землю и номинальном напряжении. Трансформатор, резистор и устройства введения напряжения должны выдерживать это состояние в течение 10 секунд.

В случае использования заземляющего трансформатора или нейтрали трансформатора для того, чтобы предотвратить падение сопротивления нагрузки вторичной обмотки трансформатора (по возможности оно должно быть $>0,5$ Ом для сведения к минимуму погрешности измерения) необходимо выбирать высокое напряжение вторичной обмотки, например 500 В. Важно, чтобы заземляющий трансформатор никогда не перенасыщался, в противном случае может возникнуть феррорезонанс. Достаточно, чтобы напряжение точки перегиба трансформатора равнялось номинальному линейному напряжению генератора.

Для генератора, заземленного при помощи резистора первичной обмотки со стороны "звезда", сопротивление выводов между заземляющим трансформатором и широкополосным фильтром/генератором с частотой 20 Гц может сильно повлиять на точность сопротивления, измеренного при помощи реле. Так что, если широкополосный фильтр или генератор с частотой 20 Гц установлены в шкаф защиты, сопротивление выводов петли необходимо поддерживать ниже 0,5 Ом. Если широкополосный фильтр или генератор с частотой 20 Гц установлены вблизи заземляющего трансформатора, это сведет погрешности к минимуму. Сопротивление выводов от широкополосного фильтра/генератора с частотой 20 Гц к реле значительно не повлияет на точность измеренного сопротивления.

Для конфигурации, использующей заземляющий трансформатор и нагрузочное сопротивление вторичной обмотки, сопротивление выводов значительно не влияет на сопротивление, измеряемое при помощи реле.

Обратите внимание на то, что другие функции защиты от замыкания на землю, такие как защита остаточного максимального напряжения, защита от замыкания на землю или чувствительная защита от замыкания на землю, можно подключить параллельно или последовательно с измерительным входом 100% защиты статора от замыкания на землю для того, чтобы обеспечить резервную защиту 100% защиты статора от замыкания на землю.

Необходимо будет провести измерение магнетометрического и циркулирующего тока частотой 20 Гц в нормальных и безопасных условиях на входах VN1/2, I Sensitive и IN, используемых функциями защиты. В большинстве случаев, в условиях отсутствия коротких замыканий напряжение с частотой 20 Гц, измеряемое при помощи реле по делителю напряжения во внешнем блоке фильтров и нагрузочном резисторе, будет составлять намного меньше, чем 5 % от номинального напряжения. Ток с частотой 20 Гц при нормальных условиях должен быть близким к нулю. Таким образом, уставки могут использоваться для обеспечения 95% защиты обмотки статора в большинстве случаев. При введении реле в эксплуатацию необходимо проверить уровень тока заземления или напряжения нейтрали частотой в 20 Гц. Он должен быть меньше, чем половина значения уставки задействованной защиты. Это обеспечит стабильность при нормальных условиях эксплуатации. В условиях отсутствия коротких замыканий появятся колебания напряжения нейтрали частотой 20 Гц и тока заземления, измеряемого при помощи входов VN1/2, I Sensitive и IN. Это вызвано частотным сопровождением этих параметров на частоте 50/60 Гц.

Не рекомендуется, чтобы метод 3-й гармоники 100% защиты от замыкания на землю использовался параллельно с методом введения напряжения частотой 20 Гц, так как сигнал частотой 20 Гц будет измеряться входом VN1, который используется защитой по методу 3-й гармоники, что может впоследствии помешать правильному функционированию этой чувствительной функции.

2.21.2 Расчет уставок для коэффициента R.

При измерении тока 64S расчет коэффициента R зависит от схемы заземления генератора и размещения ТТ.

2.21.2.1 Генератор, заземленный через заземляющий трансформатор

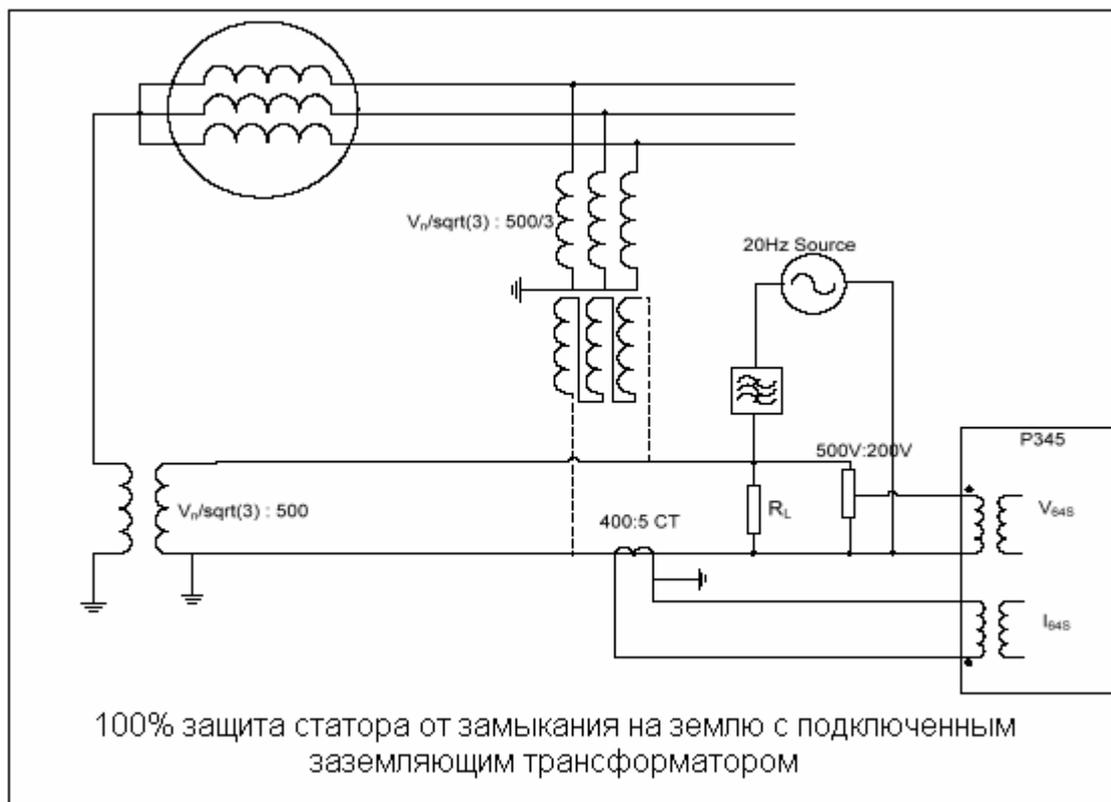


Рисунок 16: 64S Соединение для генераторов, заземленных через заземляющий трансформатор

Надписи на рисунке: 20 Hz Source = Источник 20 Гц

Когда задействована эта схема, нагнетаемое напряжение распределяется посредством вторичной обмотки заземляющего трансформатора, который может быть либо трансформатором распределения, подключенным на нейтраль генератора, либо трехфазным пятистержневым трансформатором напряжения, вторичные обмотки которого подключены к разомкнутому треугольнику. Ток также измеряется на вторичном контуре трансформатора. Поэтому, реле измеряет сопротивление в месте короткого замыкания на вторичной обмотке, которое отражается заземляющим трансформатором. Отношение сопротивления в месте короткого замыкания на первичной обмотке к сопротивлению на вторичной обмотке выражается как:

$$\frac{R_{\text{Primary}}}{R_{\text{Secondary}}} = \frac{V_{\text{Primary}}^2}{V_{\text{Secondary}}^2}$$

Также необходимо учитывать отношение делителя напряжения и трансформатора тока ТТ. Поэтому, сопротивление первичной обмотки вычисляется из сопротивления вторичной обмотки, как показано ниже:

$$R_{\text{Primary}} = \left(\frac{V_{\text{Primary}}}{V_{\text{Secondary}}} \right)^2 \times \frac{V_{\text{Divider Ratio}}}{\text{CT}_{\text{Ratio}}} \times R_{\text{Secondary}}$$

$$\frac{V_{\text{Primary}}}{V_{\text{Secondary}}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{V_{\text{n Primary}}}{V_{\text{n Secondary}}}$$

Где: 3 для ТН с разомкнутым треугольником

$$\frac{V_{\text{Primary}}}{V_{\text{Secondary}}} = \frac{V_{\text{n Primary}}}{V_{\text{n Secondary}}}$$

или заземляющего трансформатора, подключенного к нейтрали генератора

Надписи на формулах:

Secondary = Вторичная
 Divider Ratio = Коэффициент делителя

Primary = Первичная
 Ratio = Коэффициент

Используя данные из схемы выше в качестве примера, а также предполагая, что используется вход 1 А с силой тока 1 А

$$R_{\text{Primary}} = \left(\frac{V_n / \sqrt{3}}{500} \right)^2 \times \frac{5}{2} \times \frac{5}{400} \times R_{\text{Secondary}}$$

Следовательно:

$$R_{\text{Factor}} = \left(\frac{V_n / \sqrt{3}}{500} \right)^2 \times \frac{5}{2} \times \frac{5}{400}$$

Factor = Коэффициент

2.21.2.2 Генератор, заземленный через резистор первичной обмотки в нейтраль "звезды".

В некоторых энергетических системах генераторы имеют нагрузочный резистор, установленный прямо в нейтраль "звезды" для того, чтобы уменьшить помехи. На приведенной ниже схеме показано подключение генератора 20 Гц, широкополосного фильтра и устройства защиты. Напряжение с частотой 20 Гц вводится в нейтраль "звезды" через мощный трансформатор напряжения на резистор первичной обмотки. В присутствии короткого замыкания ток заземления проходит через ТТ в нейтраль "звезды". Помимо напряжения частотой 20 Гц защита определяет и этот ток. Двухполюсный разделительный трансформатор напряжения должен использоваться с низким импедансом первичной/вторичной обмотки. Это применяется для частоты 20 Гц.

Напряжение первичной обмотки:	V_n , Генератор $/\sqrt{3}$ (ненасыщенный вплоть до V_n , Генератор)
Напряжение вторичной обмотки:	500 В
Тип и класс:	3000 В-А (в течение 20 с), класс 0.5 (50 Гц или 60 Гц)
Импеданс первичной – вторичной обмотки	(ZPS) - ZPS < RL (ZPS < 1000 Ом)

ТТ устанавливается прямо в нейтраль "звезды" со стороны заземления, ниже нагрузочный резистора.

Тип:	15BA 5P10 или 5P15
Номинальный ток вторичной обмотки:	5 А
Коэффициент трансформации:	1 (5 А / 5 А)

Так как коэффициент трансформации составляет 1,1, необходимо использовать ТТ с максимальным значением силы тока резистора первичной обмотки.

Обратите внимание на то, что линейный диапазон входа 100 % защиты статора от замыкания на землю должен составлять до 2 I_n . Поэтому, если ток замыкания на землю ограничен до <2 А, тогда можно использовать 1 А вход 100 % защиты статора от замыкания на землю. При токах замыканий на землю 2-10 А можно использовать 5 А токовый вход реле.

Обратите внимание на то, что при 5 А уставка "64S I Magnitude measurement (64S I ИЗМЕР. АМПЛИТУДА)" в меню Измерения 3 будет показывать ток, в 5 раз меньше нагнетаемого. Для токового входа 100 % защиты статора от замыкания на землю не существует уставки соотношения ТТ, однако, если используется 5 А вход, измерение сопротивления и защита 64SR<1/2 могут быть откорректированы уставкой "64S R Factor" путем умножения соотношения ТТ на 5 в формуле расчета коэффициента R.

Если используется защита 64S $I > 1$, тогда уставку нужно разделить на коэффициент 5 при использовании входа 5 А. Во время испытания первичной обмотки должен быть определен и настроен угол коррекции (64S Angle Comp) и омическое переходное сопротивление (коэффициент R) трансформатора напряжения. Сопротивление первичной обмотки и коэффициент трансформации для сопротивления (коэффициент R) рассчитывается как показано ниже:

$$R_{\text{Primary}} = V_{T_{\text{Ratio}}} \times \frac{V_{\text{Divider Ratio}}}{C_{T_{\text{Ratio}}}} \times R_{\text{Secondary}}$$

Где коэффициент ТН ($V_{T_{\text{ratio}}}$):

$$V_{T_{\text{Ratio}}} = \frac{V_{n \text{ Primary}} / \sqrt{3}}{V_{n \text{ Secondary}}}$$

Используя данные из схемы выше в качестве примера, а также предполагая, что используется вход 5 А,

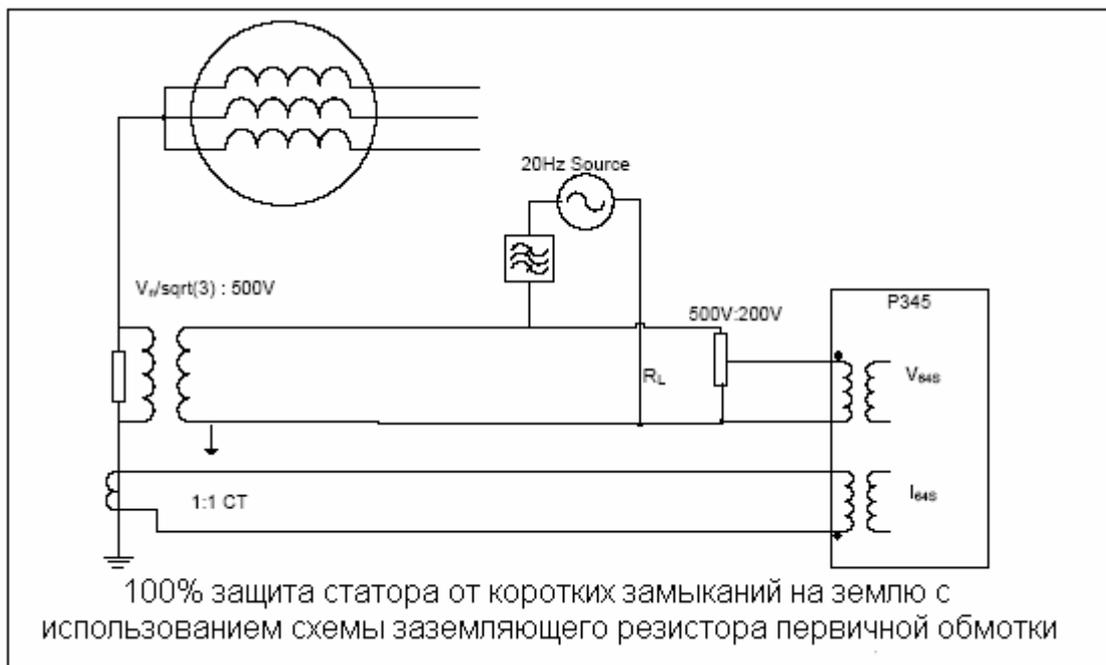


Рисунок 17: Подключение генератора, заземленного через резистор первичной обмотки

Надписи на рисунке: 20 Hz Source = Источник 20 Гц

2.21.2.4 Задание уставки на примере генератора, заземленного через заземляющий трансформатор и резистор вторичной обмотки на выводах генератора.

Номинальное напряжение трансформатора	ТН: 10.5 кВ/ $\sqrt{3}$ / 500/3 В (не насыщенный до $V_{n, \text{Генератор}}$)
Делитель напряжения:	5:2
Трансформатор тока:	200/5

Коэффициент трансформации мини-трансформатора тока 400 А:5 А можно разбить пополам до 200:5 А путем двойного пропускания провода первичной обмотки через проем трансформатора. Максимальный ток замыкания на землю первичной обмотки должен быть ограничен резистором первичной обмотки до <10 А, предпочтительнее до 4-8 А.

Если ток замыкания на землю первичной обмотки ограничен до 5 А, тогда нагрузочное сопротивление первичной обмотки будет составлять 1212 Ом.

Этот резистор ограничивает ток замыкания на землю до подходящего значения плюс предотвращает возникновение динамических перегрузок по напряжению в случае дугового короткого замыкания. Поэтому, эквивалентное сопротивление в контуре статора не должно превышать импеданс суммарного емкостного сопротивления трех фаз на системной частоте.

$$\frac{R_{\text{Primary}}}{R_{\text{Secondary}}} = \frac{V_{\text{Primary}}^2}{V_{\text{Secondary}}^2}$$

$$R_L = 1212 \times \left(\frac{3 \times \sqrt{3} \times 500}{10.5 \text{ kV} \times \sqrt{3}} \right)^2 = 8.25 \Omega$$

Нагрузочное сопротивление вторичной обмотки

Максимальный ток замыкания на землю вторичной обмотки трансформатора напряжения составляет 60 А, поэтому при использовании трансформатора тока 200:5А, ток вторичной обмотки на реле будет 1,5 А.

Обратите внимание на то, что линейный диапазон входа 100 % защиты статора от замыкания на землю должен превышать 2 I_n . Поэтому, если ток замыкания на землю ограничен до <2 А, тогда можно использовать вход 1 А 100 % защиты статора от замыкания на землю. При токах коротких замыканий 2-10 А можно использовать токовый вход реле 5 А.

$$R_{\text{Factor}} = \left(\frac{10.5 \text{ kV} / \sqrt{3}}{500} \right)^2 \times \frac{5}{2} \times \frac{5}{200} = 27.563$$

Полагая, что этот трансформатор один из 3 однофазных трансформаторов.

Номинальное напряжение ВА трансформатора в течение 10 с за фазу составляет $3 \times 1/3 \times 5 \times 10500 \times \sqrt{3} = 13$ кВА для 3 однофазных трансформаторов. 1,3 вычисляется как коэффициент максимального напряжения от форсирования поля. При 20 с номинальном напряжении напряжение ВА составляет 9 кВА ($13 \times \sqrt{10}/\sqrt{20}$). Для 3-фазного трансформатора номинальное напряжение ВА в три раза выше, 27 кВА для 20 с. Стандартные уставки подачи сигнала и отключения для элементов 100% защиты статора от минимального сопротивления при замыкании на землю:

Степень отключения : первичная обмотка 2 кОм, вторичная обмотка 66 Ом

Степень подачи сигнала: первичная обмотка 5 кОм, вторичная обмотка 165 Ом

Вход напряжения VN1, используемый защитой остаточного максимального напряжения/NVD, может также быть подключен на делитель напряжения для обеспечения резервной защиты статора генератора от замыкания на землю. Делитель напряжения в фильтрующем устройстве может использоваться для обеспечения соотношения деления 5:1 для того, что подключить номинальное напряжение 100 В ко входу VN1.

2.21.2.5 Задание уставки на примере генератора, заземленного через заземляющий трансформатор и резистор вторичной обмотки в нейтраль "звезды" генератора.

Номинальное напряжение трансформатора	ТН: 10,5 кВ/ $\sqrt{3}/500$ В (не насыщенный до $V_{n, \text{Генератор}}$)
Делитель напряжения:	5:2
Трансформатор тока:	200/5

Коэффициент трансформации мини-трансформатора тока 400 А:5 А может быть можно разбить пополам до 200:5 А путем двойного пропускания провода первичной обмотки через проем трансформатора.

Максимальный ток замыкания на землю первичной обмотки необходимо ограничить при помощи резистора первичной обмотки до <10 А, предпочтительнее до 4-8 А. Если ток замыкания на землю первичной обмотки ограничен до 5 А, тогда нагрузочное сопротивление первичной обмотки будет составлять 1212 Ом.

Этот резистор ограничивает ток замыкания на землю до подходящего значения плюс предотвращает возникновение динамических перегрузок по напряжению в случае дугового короткого замыкания. Поэтому, эквивалентное сопротивление в контуре статора не должно превышать импеданс суммарного емкостного сопротивления трех фаз на системной частоте.

$$\frac{R_{\text{Primary}}}{R_{\text{Secondary}}} = \frac{V_{\text{Primary}}^2}{V_{\text{Secondary}}^2}$$

Нагрузочное сопротивление вторичной обмотки $R_L = 1212 \times \left(\frac{\sqrt{3} \times 500}{10.5 \text{ kV}} \right)^2 = 8.25 \Omega$

Максимальный ток замыкания на землю вторичной обмотки трансформатора напряжения составляет 60 А, поэтому при использовании трансформатора тока 200:5 А, ток вторичной обмотки на реле будет 1,5 А.

Обратите внимание на то, что линейный диапазон входа 100 % защиты статора от замыкания на землю должен составлять до 2 In. Поэтому, если ток замыкания на землю ограничен до <2 А, тогда можно использовать вход 1 А 100 % защиты статора от замыкания на землю. При токах коротких замыканий 2-10 А можно использовать вход тока 5 А на реле.

$$R_{\text{Factor}} = \left(\frac{10.5 \text{ kV} / \sqrt{3}}{500} \right)^2 \times \frac{5}{2} \times \frac{5}{200} = 27.563$$

Номинальное напряжение ВА трансформатора в течение 10 с за фазу составляет $1,3 \times 5 \times 10500 \times \sqrt{3} = 39$ кВА. 1,3 рассчитывается как коэффициент максимального напряжения от форсирования поля. Для номинального напряжения 20 с напряжение В-А составляет 27 кВА ($39 \times \sqrt{10}/\sqrt{20}$)

Стандартные уставки подачи сигнала и отключения для элементов 100% защиты статора от минимального сопротивления при замыкании на землю:

Степень отключения : первичная обмотка 2 кОм, вторичная обмотка 66 Ом

Степень подачи сигнала: первичная обмотка 5 кОм, вторичная обмотка 165 Ом

Вход напряжения VN1, используемого защитой остаточного максимального напряжения/NVD, может также быть подключен на делитель напряжения для обеспечения резервной защиты статора генератора от замыкания на землю.

Делитель напряжения в фильтрующем устройстве может использоваться для обеспечения соотношения деления 5:1 для того, что подключить номинальное напряжение 100 В ко входу VN1, который обычно имеет номинальное напряжение 100/120 В. Соединения фильтра 1A1-1A2 обеспечивают соотношения деления 5:1 для того, что подключить номинальное напряжение 100 В ко входу VN1.

2.21.3 Методы определения последовательных уставок для 64S

Последовательное сопротивление '64S Series R' обычно задается как суммарное сопротивление утечки заземляющего трансформатора, через который подключено оборудование введения напряжения. Оно может быть задано либо при помощи вычислений, основывающихся на параметрах трансформатора, либо при помощи измерений во время введения оборудования в эксплуатацию. Функция измерений реле P345 пригодится и в дальнейшем. Информацию по методу измерения смотрите в главе Введение оборудования в эксплуатацию - Наладка, P34x/EN CM, раздел 6.3.4.5.

2.21.3.1 Расчет

При условии, что количество в относительных единицах сопротивления суммарной утечки трансформатора - это $R_{pu} + jX_{pu}$, параметры сопротивления трансформатора можно рассчитать как показано ниже. Если на выводе генератора используется трехфазный трансформатор напряжения с открытым "треугольником":

$$R_{Primary} = R_{PU} \times \frac{V_{n\ primary} (kV)^2}{\text{Transformer kVA (3ph)}}$$

Transformer kVA (3ph) = Трансформатор кВА (3 фазы)

Если используется заземляющий трансформатор, подключенный к нейтрали генератора, а также генератор, заземленный через резистор, то

$$R_{Primary} = R_{PU} \times \frac{(V_{n\ primary} (kV) / \sqrt{3})^2}{\text{Transformer kVA}}$$

2.22 Защита генератора от перевозбуждения (24)

Перевозбуждение генератора или трансформатора, подключенного к выводам генератора, может происходить при превышении соотношения напряжение-частота. Высокое напряжение или низкая частота, которая приводит к увеличению соотношения напряжение/частота, вызовет появление высокой плотности магнитного потока сердечника генератора или трансформатора. Увеличение плотности потока вызывает насыщение магнитного потока сердечника генератора или трансформатора и его рассеивание на не предусмотренных для этого деталях. Результирующие вихревые токи на неподвижных деталях (например, на болтах и зажимах), а также в местах крепления сердечника являются причиной быстрого перегрева машины и ее поломки.

Возникновение перевозбуждения наиболее вероятно во время пуска или останова машины, когда генератор не подключен к системе. Неисправность автоматики системы перевозбуждения или ошибки в ручном управлении цепью возбуждения машины могут привести к превышению уровня напряжения допустимых пределов. Возникновение перевозбуждения также возможно при работе генератора в локальной питающей сети. Внезапная потеря нагрузки может вызвать состояние максимального напряжения, если система возбуждения генератора не работает правильно.

Реле P342/3/4/5 содержат пятиступенчатый орган защиты от перевозбуждения. Одна ступень может быть установлена на срабатывание с независимой выдержкой времени или с обратозависимой времятоковой характеристикой (IDMT), эта ступень может использоваться для выдачи выходного сигнала срабатывания защиты. Есть еще 3 других ступени с независимой выдержкой времени, которые могут сочетаться с обратозависимой характеристикой для создания комбинированной многоступенчатой характеристики срабатывания В/Гц с использованием PSL. Сигнал запрета предусмотрен только для 1 ступени $V/Hz > 1$, имеющей опцию обратозависимой характеристики. Это позволяет ступени с независимой выдержкой времени при необходимости перекрывать часть обратозависимой характеристики. Запрет имеет действие сброса таймера, сигнала пуска и сигнала срабатывания. На рисунках 18 – 21 приведены примеры уставок V/Hz , а также логики PSL, необходимых для получения комбинированной многоступенчатой характеристики V/Hz для больших и небольших генераторов.

Предусмотрена также ступень с действием на сигнал с независимой выдержкой времени, которая может использоваться для отображения ненормальных условий до причинения ущерба машине.

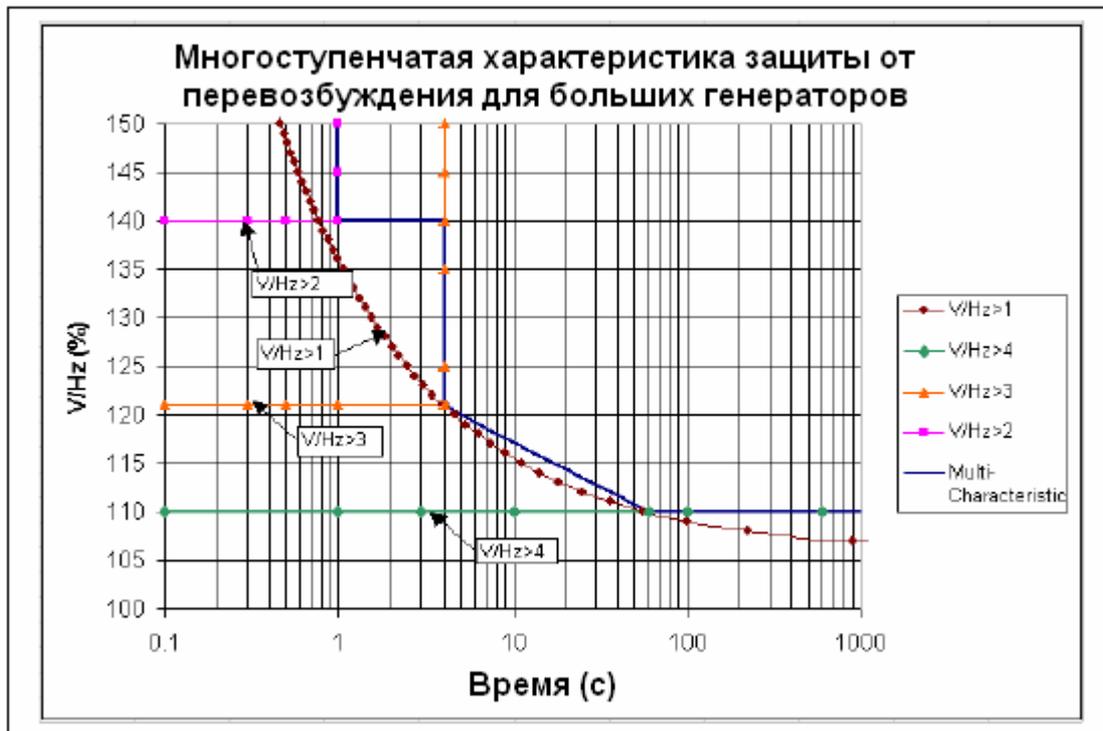


Рисунок 18: Многоступенчатая характеристика защиты от перевозбуждения для больших генераторов

Надписи на рисунке: Multi-Characteristic = Многоступенчатая характеристика
Time = Время

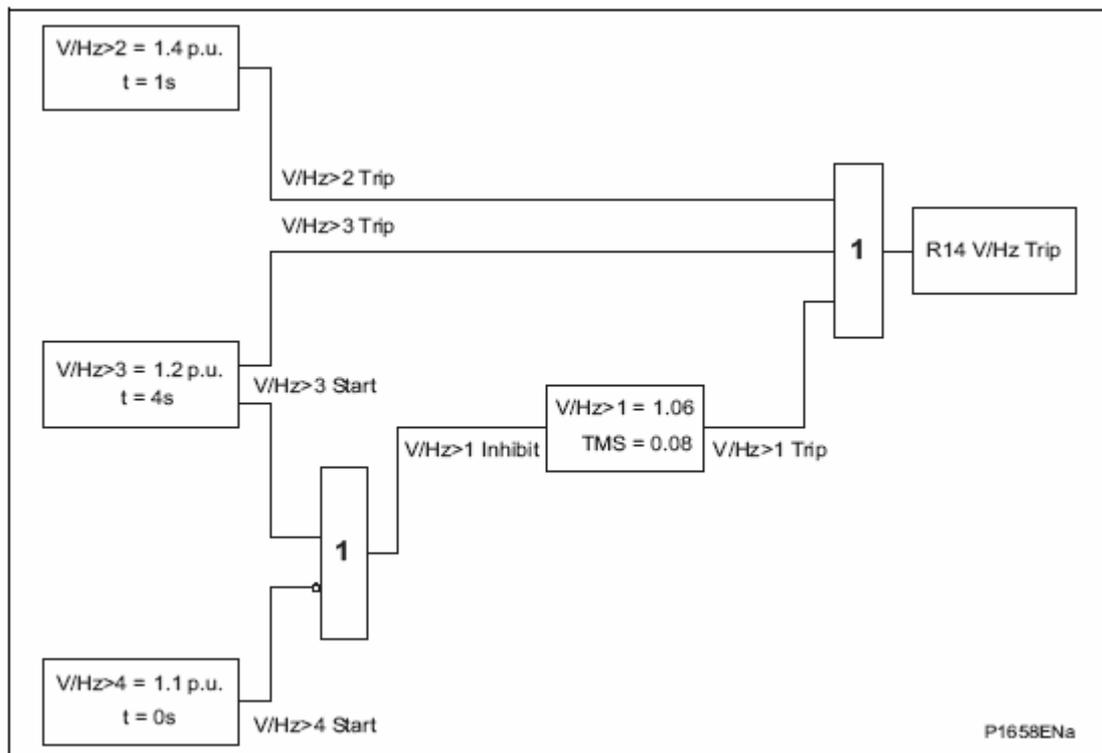


Рисунок 19: Логическая схема многоступенчатой характеристики защиты от перевозбуждения для больших генераторов

Надписи на рисунке: Trip = Выключение
Start = Запуск
Inhibit = Запрет

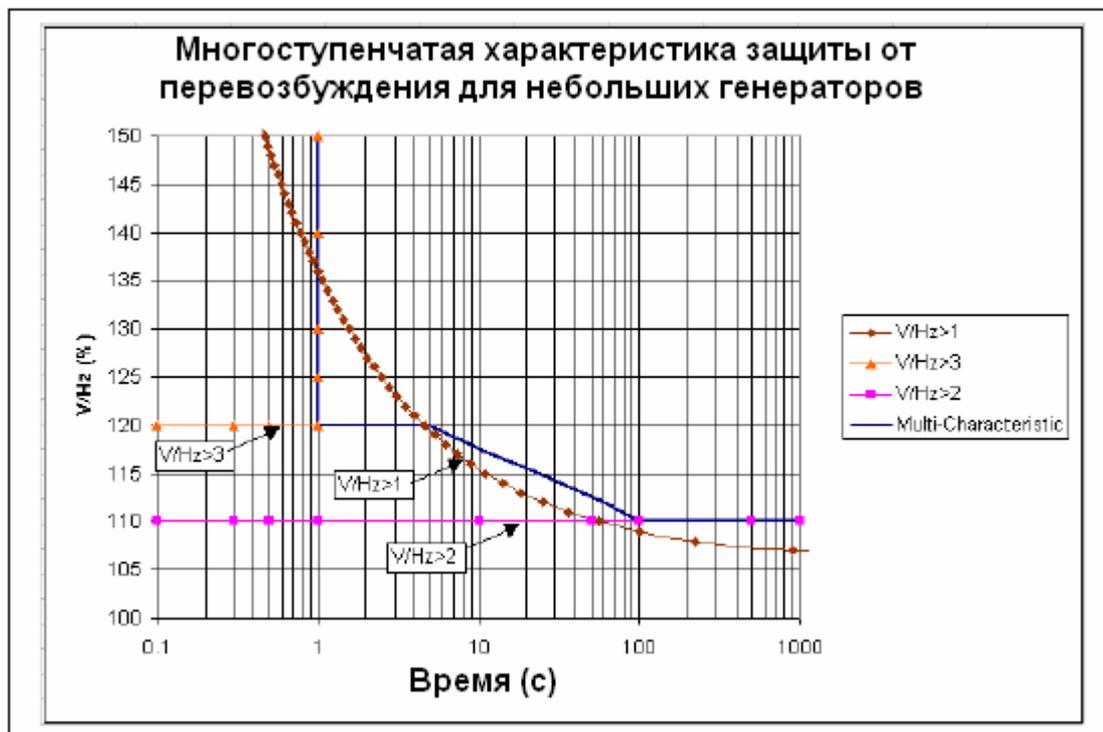


Рисунок 20: Многоступенчатая характеристика защиты от перевозбуждения для небольших генераторов

Надписи на рисунке: Multi-Characteristic = Многоступенчатая характеристика Time = Время

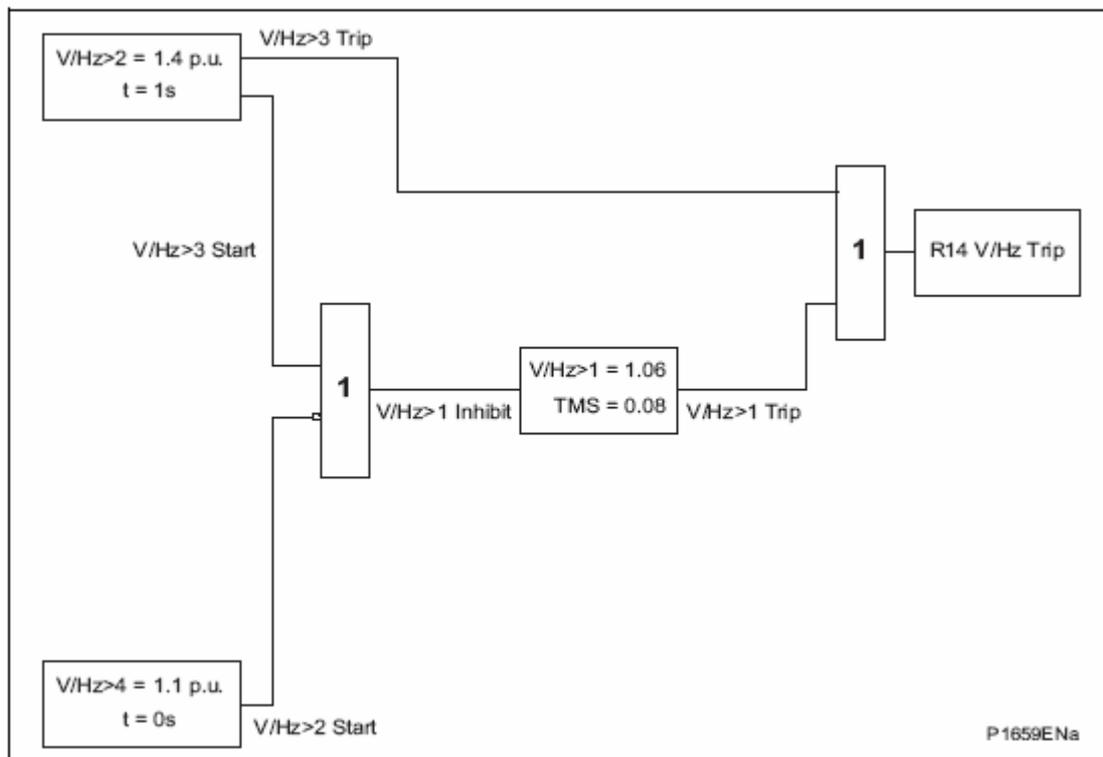


Рисунок 21: Логическая схема многоступенчатой характеристики защиты от перевозбуждения для небольших генераторов

Надписи на рисунке: Trip = Выключение Start = Запуск Inhibit = Запрет

2.22.1 Установка параметров характеристики многоступенчатой защиты от перевозбуждения. Степень отключения элемента защиты от перевозбуждения V/Hz>1 можно выбрать, если задать ячейке “V/Hz Trip Func.” необходимую характеристику выдержки по времени, ‘DT’ - при выборе независимой временной характеристики; IDMT – при выборе обратозависимой временной характеристики. Четыре ступени отключения защиты от перевозбуждения можно Ввести/Вывести в ячейках “V/Hz>x Status”. Степень срабатывания сигнала защиты от перевозбуждения может быть Введена/Выведена в ячейке “V/Hz Alarm Status”.

В целом, состояние перевозбуждения генератора или генераторного трансформатора возникает, если соотношение напряжение/частота превышает 1,05 ед. мощности, то есть 5% максимальное напряжение при номинальной частоте.

Элемент настраивается в единицах фактического соотношения напряжение-частота. Следовательно, пороговую уставку перевозбуждения "V/Hz>x Trip Setting" можно рассчитать как показано ниже:

Уставка 1,05 о.е. = $110/50 \times 1,05 = 2,31$

Где:

– Напряжение вторичной обмотки трансформатора ТН при номинальном напряжении первичной обмотки составляет 110 В

– Номинальная частота составляет 50 Гц

Пороговая уставка ступени срабатывания сигнала защиты от перевозбуждения "V/Hz Alarm Set" может быть задана ниже, чем ступень отключения для того, чтобы обеспечить оповещение при ненормальных условиях работы, а также подать оператору сигнал отрегулировать параметры системы надлежащим образом.

Уставки выдержки по времени необходимо настроить таким образом, чтобы они соответствовали характеристикам устойчивости генератора или генератора/трансформатора. Если выбрана обратозависимая временная характеристика, уставка множителя по времени, "V/Hz>1 Trip TMS", необходимо настроить таким образом, чтобы рабочая характеристика как можно ближе совпала с характеристикой устойчивости генератора или генератора/трансформатора. Если для ступеней отключения выбирается уставка независимой выдержки по времени, выдержка по времени задается в ячейках "V/Hz>x Trip Delay". Выдержка по времени для ступени срабатывания сигнала задается в ячейке "V/Hz Alarm Delay".

3 ступени независимой выдержки по времени и 1 ступень DT/IDMT можно объединить для того, чтобы создать комбинированную рабочую характеристику отключения многоступенчатой защиты для соотношения напряжение/частота, использующая PSL, см. примеры выше.

Перед определением этих уставок необходимо обратиться к заводским характеристикам устойчивости.

2.23 Защита от непреднамеренного включения генератора (50/27)

Непроизвольное включение генератора может стать причиной тяжелого повреждения машины. При пуске находящегося в мертвой точке генератора он начинает работать как индукционный двигатель, причем поверхность сердечника ротора и пазовые клинья обмотки ротора выполняют роль проводника для тока ротора. Аномальный ток ротора вызывает возникновение дугового пробоя между компонентами ротора, например, между пазовыми клиньями и сердечником, что приводит к быстрому перегреву и повреждению генератора.

Для создания быстрой защиты в этих условиях на реле P343/4/5 установлен элемент мгновенной защиты, управляемый трехфазным индикатором минимального напряжения.

Защита функционирует при незапущенной машине, то есть при полном отсутствии генерации напряжения или при разомкнутых контактах выключателя. Следовательно, защита должна обладать низким уровнем токовой уставки, что обеспечивает высокую скорость срабатывания при необходимости. Для правильной работы защиты реле должно быть подключено к ТН генератора; недопустимо использование шинных ТН.

2.23.1 Установка параметров защиты от непроизвольного включения генератора

Защита от непроизвольного включения генератора вводится в действие при выборе "Введена" в ячейке "Dead Mach. Status" ("Состояние отключенного генератора").

Уставка максимального тока "Dead Mach. I>" должна иметь величину меньшую величины тока максимальной нагрузки, что предотвращает ложное срабатывание защиты при нормальном режиме работы генератора. Обычно величина уставки составляет 10% от величины тока максимальной нагрузки.

Уставка минимального напряжения "Dead Mach. V<" обычно составляет 85% от величины номинального напряжения, что обеспечивает срабатывание защиты при незапущенном генераторе.

Уставка быстрого срабатывания "Dead Mach. tPU" обеспечивает быстрое срабатывание защиты при коротких замыканиях в системе и обычно равна 5 секундам или должна превышать уставку времени срабатывания защиты при близких межфазных КЗ.

Уставка замедленного срабатывания "Dead Mach. tDO" обеспечивает работоспособность защиты при непроизвольном включении выключателя цепи генератора, при котором измерение минимального напряжения не выполняется. Задержка срабатывания в 500 мс обеспечивает работоспособность защиты в такой ситуации

2.24 Тепловая защита с использованием резистивных температурных датчиков (РТД)

Режим длительной перегрузки генератора может привести к перегреванию его обмоток, в результате чего происходит интенсивное старение изоляции, а в крайних случаях - ее пробой. Изношенные или несмазанные подшипники также являются источником локального перегрева гнезд подшипников. Для предотвращения общего или локального перегрева в реле P342/3/4/5 предусмотрены входы для получения данных от 10 резистивных температурных датчиков 3-проводного типа А РТ100 (РТД).

Такие датчики могут быть стратегически размещены в частях машины, которые предполагают возможность перегрева или повреждения от перегрева. Профилактические замеры должны выполняться в местах, предрасположенных к тепловой перегрузке. В случае, когда силовые трансформаторы близко расположены к защищаемому генератору, некоторые РТД могут осуществлять контроль за температурным состоянием трансформаторов. В таком случае можно осуществлять контроль за температурным состоянием обмоток трансформатора и бака с изоляционным маслом.

Обычно датчики РТ100 могут измерять температуру в диапазоне от -40°C до $+300^{\circ}\text{C}$. Сопротивление этих устройств изменяется по мере изменения температуры, при 0°C они имеют сопротивление 100 Ом. Температура в каждой точке размещения датчика измеряется посредством реле, которое может использоваться для выполнения следующих функций:

- Температурный мониторинг. Данные могут выводиться как локально на дисплее реле, так и дистанционно с помощью портов связи реле;
- Сигнализация. Функция срабатывает при превышении величины температурной уставки на время превышающее заданную выдержку по времени;
- Отключение. Функция срабатывает при превышении величины температурной уставки на время превышающее заданную выдержку по времени.

Если измеренное сопротивление выйдет за пределы допустимого диапазона, то будет подан сигнал защиты РТД, указывающий на обрыв или КЗ на входе РТД.

Обратите внимание на то, что прямое измерение температуры обеспечивает более надежную тепловую защиту, чем защиты, использующие датчики определения температуры по величине фазного тока. Последние определяют температуру с погрешностью, вызванной временными постоянными модели пересчета, а также с погрешностью, вызванной колебанием температуры окружающей среды. Рекомендации по подключению РТД и кабелей приведены в разделе Установка (P34x/ENG IN).

2.24.1 Установка параметров тепловой защиты с использованием РТД.

Каждый РТД может быть введен в работу через функцию "Select RTD (ВЫБОР RTD)". Например, если в ячейке Select RTD (ВЫБОР RTD) задано значение 000000111, тогда включились бы РТД1, РТД2 и РТД3, а в меню были видны соответствующие уставки. Температурную уставку предупреждающей ступени каждого РТД необходимо вводить в ячейке "RTD x Alarm Set (RTD x УСТ.СИГН.)", а время срабатывания в ячейке "RTD x Alarm Dly (RTD x t СИГН.)". Температурную уставку отключающей ступени каждого РТД необходимо вводить в ячейке "RTD x Trip Set (RTD x УСТ.ОТКЛ.)", а выдержку по времени ступени отключения в ячейке "RTD x Trip Dly (RTD x t ОТКЛ.)". Стандартные рабочие температуры для защиты оборудования приведены в таблице. Данная таблица носит рекомендательный характер, обязательные характеристики должны быть получены у производителя оборудования.

Параметр	Стандартная рабочая температура	Кратковременная перегрузка при полной нагрузке
Температура подшипника генератора	$60 - 80^{\circ}\text{C}$, в зависимости от типа подшипника.	$60 - 80^{\circ}\text{C}+$
Температура масла в верхней части бака трансформатора	80°C (на $50 - 60^{\circ}\text{C}$ выше температуры внешней среды).	Температурный градиент температуры обмотки обычно рассчитывается таким образом, чтобы резистивные температурные датчики масла в верхней части трансформатора обеспечивали защиту обмотки
Температура в месте перегрева обмотки	98°C для изоляции со стандартным сроком службы.	В чрезвычайных ситуациях при циклической перегрузке температура может достигать до $140^{\circ}\text{C}+$.

Таблица отображает стандартные рабочие температуры оборудования

2.25 Защита генератора от асинхронного хода P342 (78)

В случае неисправности системы возбуждения генератора, слабого возбуждения или в результате задержки отключения КЗ в системе генератор может выпасть из синхронизма с другими источниками мощности системы. Данный режим может быть в последствии усугублен при наличии слабой связи (большое реактивное сопротивление) генератора с системой.

Процесс выпадения из синхронизма, вызванный неисправностью системы возбуждения генератора, описан в разделе 2.13. Защита от потери возбуждения реле P342 должна реагировать на такие условия и выполнять отключение с выдержкой времени. Колебания электрической мощности/механического вращательного момента, возникшие в результате неисправности системы возбуждения, могут быть относительно слабыми. Если же выпадение из синхронизма возникнет при максимальном возбуждении генератора (э.д.с. генератора $>2,0$ о.е.), то колебания мощности/момента и качания напряжения системы в результате потери устойчивости могут быть значительно более серьезными. Для предотвращения повреждения оборудования в таких условиях или перемещения возмущений в систему к защите мощных генераторов может предъявляться требование отключения генератора.

Часто наличие защиты от асинхронного хода требуется для относительно небольших генераторов, включенных на параллельную работу с мощными сетями электроснабжения коммунальных потребителей. Это может быть случай, когда когенератор работает в параллели с распределительными сетями коммунальных потребителей, которые могут быть относительно мощным источником, но не снабженным быстродействующей защитой от повреждений в распределительной сети. Задержка отключения повреждений в системе может поставить когенерирующую станцию под угрозу потери устойчивости.

Реле P342 не имеет специальной защиты от асинхронного хода, но ряд предусмотренных защитных функций при правильной настройке обеспечивают отключение с выдержкой времени.

2.25.1 Защита от обратного направления мощности

При асинхронном ходе генератора формируется цикл попеременного потребления и производства мощности данным генератором в зависимости от скольжения ротора относительно к электрической системе. Поэтому, любой орган мощности, выбранный для работы от обратной мощности, может сработать при асинхронном ходе. Защита от обратной мощности обычно срабатывает с выдержкой времени, что предотвращает отключение во время асинхронного хода. Однако каждая ступень защиты по мощности в реле P342 имеет соответствующий таймер выдержки на отпадание, или возврат ("Power1 DO Timer (P1 tвоз)", "Power2 DO Timer (P2 tвоз)"). Они могут использоваться для предотвращения возврата ступени обратной мощности при асинхронном ходе, приводящего к случайному отключению в случае сохранения режима асинхронного хода.

2.25.2 Функция резервной защиты системы

Данная защита, также как и защита от перетока мощности в обратном направлении, реагирует на периодические скачки уровня тока статора, возникающие при асинхронном ходе. Эти скачки уровня тока статора могут также сопровождаться провалами напряжения на выводах генератора, если генератор находится возле электрического центра качаний.

Как описывалось в разделе 2.6, функция резервной защиты системы имеет уставки удерживания таймера ("V Dep. OC tRESET (MT3/V: BO3BPAT)", "Z < tRESET (Z < 1 t BO3B.)"), обеспечивающие срабатывание защиты только при возникновении циклических колебаний при асинхронном ходе. Подобным образом некоторые операторы небольших гидрогенераторов полагаются для обеспечения отключения машины с устойчивым скольжением на интегрированные действия защит на реле максимального тока индукционного типа.

2.25.3 Функция защиты от потери возбуждения

С помощью защиты от потери возбуждения в правильном сочетании с соответствующими таймерами логической схемы можно добиться незначительного уменьшения времени срабатывания защиты от выпадения из синхронизма.

В случае, когда полное сопротивление системы относительно мало по сравнению с сопротивлением генератора при асинхронном ходе, электрический центр скольжения, скорее всего, находится в самом генераторе. Эта точка расположена «за» местом установки реле, определяемым расположением ТН. Такая ситуация может возникать в схемах когенерации, а также в некоторых крупных коммунальных генерирующих системах, подключенных к распределительным сетям со многими связями. Динамическое сопротивление генератора при асинхронном ходе (X_g) должно лежать между средними значениями поперечного и продольного переходного сопротивления (X_d' и X_q') и средним значением поперечного и продольного синхронного сопротивления (X_d и X_q). Однако ни одно из крайних положений не может быть фактически достигнуто. При незначительном скольжении в цикле асинхронного хода применяется

синхронное реактивное сопротивление, в то время как при относительно высоком скольжении применяется переходное сопротивление.

На рис. 22 показано изменение величины полного сопротивления в месте установки защиты при асинхронном ходе сравнительно небольшого генератора, непосредственно подключенного к сравнительно мощной распределительной сети. Следует заметить, что включение автоматического регулятора напряжения и реакция любого зависящего от скорости источника возбуждения только усугубляет режим работы генератора во время асинхронного хода.

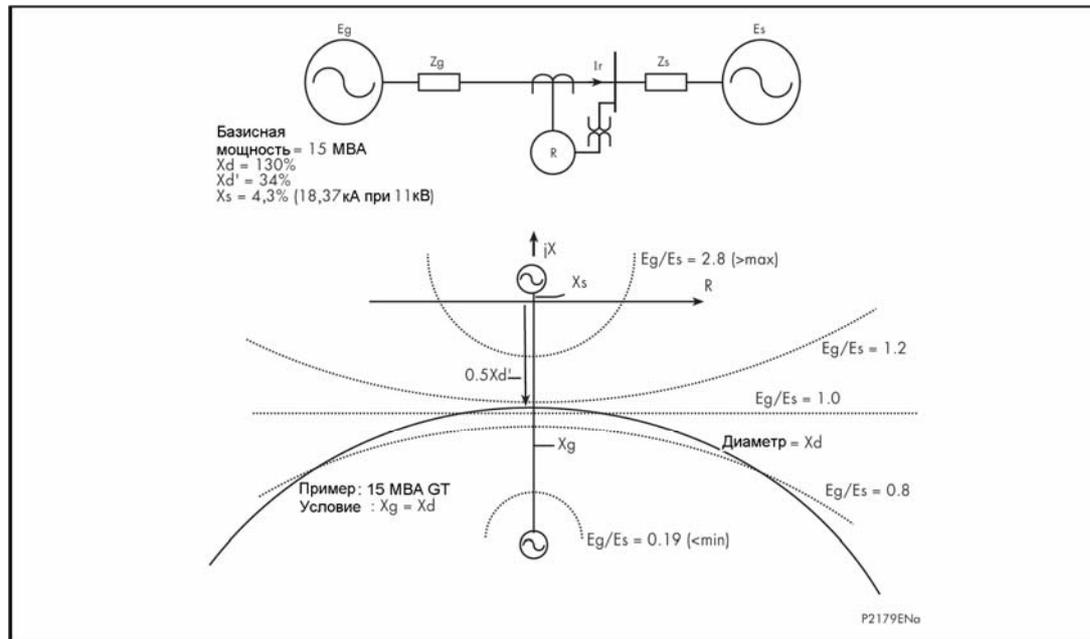


Рисунок 22: Характеристика защиты от асинхронного хода генератора (небольшой когенератор)

Как видно на рис. 22, защита от потери возбуждения может реагировать на изменение полного сопротивления, возникающее в некоторых случаях при асинхронном ходе. Однако, для гарантии срабатывания при теоретически более низком диапазоне динамического сопротивления генератора (X_g) следует уменьшить смещение характеристики полного сопротивления генератора. Недостаточность обычно рекомендуемого смещения характеристики не должна вызывать проблем с нежелательным срабатыванием защиты при нормальной работе генератора (угол ротора меньше 90°). С другой стороны, для предотвращения нежелательного срабатывания защиты при устойчивых качаниях мощности, вызванных системной аварией, может понадобиться большая выдержка времени срабатывания.

Предельным режимом для обнаружения является работа генератора с полной нагрузкой и максимальным возбуждением. Даже если смещение характеристики сопротивления не уменьшено, подтягивание органа сопротивления должно по-прежнему происходить в течение той части периода скольжения, когда сопротивление машины высоко, и когда угол выбега ротора большой. Более подробно следует рассмотреть уставку выдержки времени возврата ("FFail1 DO Timer (П/П-1 t ВОЗВ)"), необходимую в таких условиях.

При асинхронном ходе любое срабатывание защиты от потери возбуждения будет циклическим, так что необходимо задать выдержку времени на возврат ("FFail1 DO Timer (П/П-1 t ВОЗВ)"), большую, чем время, в течение которого измеряемое полное сопротивление будет циклически находиться вне характеристики защиты от потери возбуждения. Типичная уставка для покрытия частот скольжения свыше 2 Гц, равна 0,6 с. Когда таймер "FFail1 DO Timer (П/П-1 t ВОЗВ)" настроен, выдержка времени срабатывания защиты от потери возбуждения ("FFail1 Time Delay (П/П-1 t СРАБ)") должна быть отстроена от уставки "FFail1 DO Timer (П/П-1 t ВОЗВ)".

Иногда должна гарантироваться защита от асинхронного хода, особенно в случае, когда более мощный генератор подключен к относительно слабой распределительной сети. В таких случаях, и когда требуется быстрое отключение, или когда реакция защиты от потери возбуждения на асинхронный ход является неопределенной, следует использовать отдельную защиту, которая предусмотрена в реле P343/4/5. Однако обнаружение и отключение с выдержкой времени, предлагаемое защитой от потери возбуждения реле P34x, может быть во многих случаях достаточным.

Для получения подробностей о настройке защиты от потери возбуждения для обнаружения асинхронного хода с выдержкой времени, обратитесь в AREVA T&D.

2.26 Защита генератора от асинхронного хода реле P343/4/5 (78)

2.26.1 Введение

Резкие изменения или толчки в электрической системе, такие как оперативные переключения линий, большие скачки нагрузки или КЗ могут привести к колебаниям в электрической системе, выражающихся в регулярных изменениях токов, напряжений и угловом разделении между системами. Это явление называется качаниями мощности.

В обратимых ситуациях качания мощности будут затухать и в итоге исчезнут через несколько секунд. Синхронизм будет восстановлен, и электрическая система вернется к устойчивой работе. При необратимой ситуации качания мощности становятся настолько сильными, что между генератором и системой теряется синхронизм, что известно как асинхронный ход или выпадение из синхронизма с точки зрения генератора. При возникновении такой потери синхронизма необходимо отделить асинхронные области от остальной системы до возникновения повреждений генератора или до возникновения широко распространенной аварии.

Асинхронный ход возникает, когда входная мощность генератора от первичного двигателя превышает электрическую мощность, потребляемую системой. Это условие возникает в результате несовпадения рабочих частот двух или более машин. Во время асинхронного хода машина попеременно производит генерирующие и двигательные вращающие моменты с соответствующими пиками тока и провалами напряжения с высокими амплитудами.

К возникновению асинхронного хода генератора в условиях нормальной работы системы могут привести следующие события.

- Возникновение ненормального режима такого как:

Переходные процессы в системе.

Неисправность регулятора генератора.

Неисправность схемы управления возбуждением.

Подключение 'островной' системы без синхронизации.

- Изменение потребления системой составляющих активной и реактивной мощности вызывает колебания ротора генератора вокруг новой точки равновесия.
- Если начальный переходной процесс достаточно тяжелый и продолжительный, то качания ротора могут превысить максимальный предел устойчивости, вызывая в генераторе появление скольжения.
- В слабых системах переходные процессы при переключениях также могут привести к возникновению асинхронного хода.

В наше время, с появлением систем сверхвысокого напряжения, больших генераторов с внутриводниковым охлаждением и с расширением систем передачи, полные сопротивления системы и генератора значительно изменились. Системные полные сопротивления снизились, тогда как полные сопротивления генераторов и повышающих трансформаторов повысились. Эта тенденция привела к появлению центра полного сопротивления при качаниях мощности внутри повышающего трансформатора или внутри генератора, что обычно вне зоны действия традиционных реле выпадения из синхронизма, устанавливаемых в системе. Следовательно, для защиты машины от асинхронного хода следует применять отдельные реле.

Защиты с применением органов измерения полного сопротивления для обнаружения условия асинхронного хода, используют в качестве входных величин сигналы тока и напряжения на выводах генератора. При асинхронном ходе генератора напряжение и ток системы подвергаются изменениям частоты скольжения чрезвычайно высокой амплитуды. Эти изменения отражают соответствующие кажущиеся изменения полного сопротивления на зажимах генератора. Реле сможет обнаружить условие только после того, как в генераторе фактически появится скольжение. Традиционные методы для обнаружения возникновения скольжения используют измерение полного сопротивления на выводах генератора. Для получения желаемой характеристики реле используются органы направления мощности и органы с линзообразной характеристикой вместе с органом проводимости (мо).

2.2.6.2 Характеристики потери синхронизма

Прежде, чем продолжить обсуждение, необходимо коротко рассмотреть характеристику потери синхронизма, используемую для анализа асинхронного хода генератора.

Для обнаружения потери синхронизма используется известный метод анализа кажущегося полного сопротивления на выводах генератора. Согласно упрощенному изображению машины и системы, показанному на рис. 23, полное сопротивление, представленное для реле ZR (установленного в точке A) в условиях потери синхронизма (обратимые качания мощности или асинхронный ход), может быть описано уравнением 1:

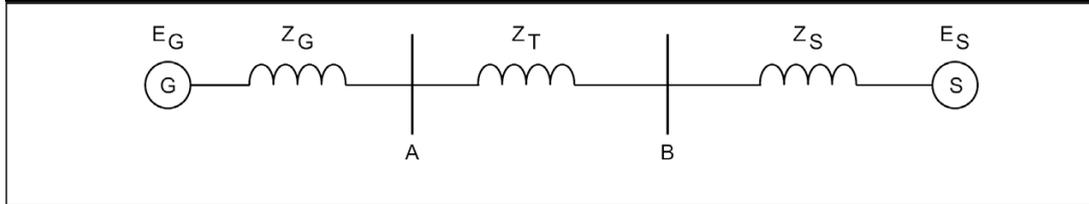


Рисунок 23: Упрощенная система из двух машин

Где:

E_G = напряжение на выводах генератора

Z_G = полное сопротивление генератора

Z_T = полное сопротивление повышающего трансформатора

Z_S = полное сопротивление системы, подключенной к генераторному блоку

E_S = напряжение системы

$$Z_R = \frac{(Z_G + Z_T + Z_S) n (n - \cos \delta - j \sin \delta)}{(n - \cos \delta)^2 + \sin^2 \delta} - Z_G \quad \text{Уравнение 1}$$

Где:

$n = \frac{E_G}{E_S}$ = отношение амплитуд напряжения на выводах генератора и напряжения системы

$\delta = \arg \frac{E_G}{E_S}$ = угол выбега ротора, на который напряжение генератора опережает напряжение системы

Сопротивление на выводах генератора (точка A) будет изменяться как функция отношения n и угла сдвига фаз δ между машиной и системой. Ряд кривых полного сопротивления, отражающих потерю синхронизма, наряду с сопротивлениями системы, построенных с помощью диаграммы R/X, показаны на рис. 24.

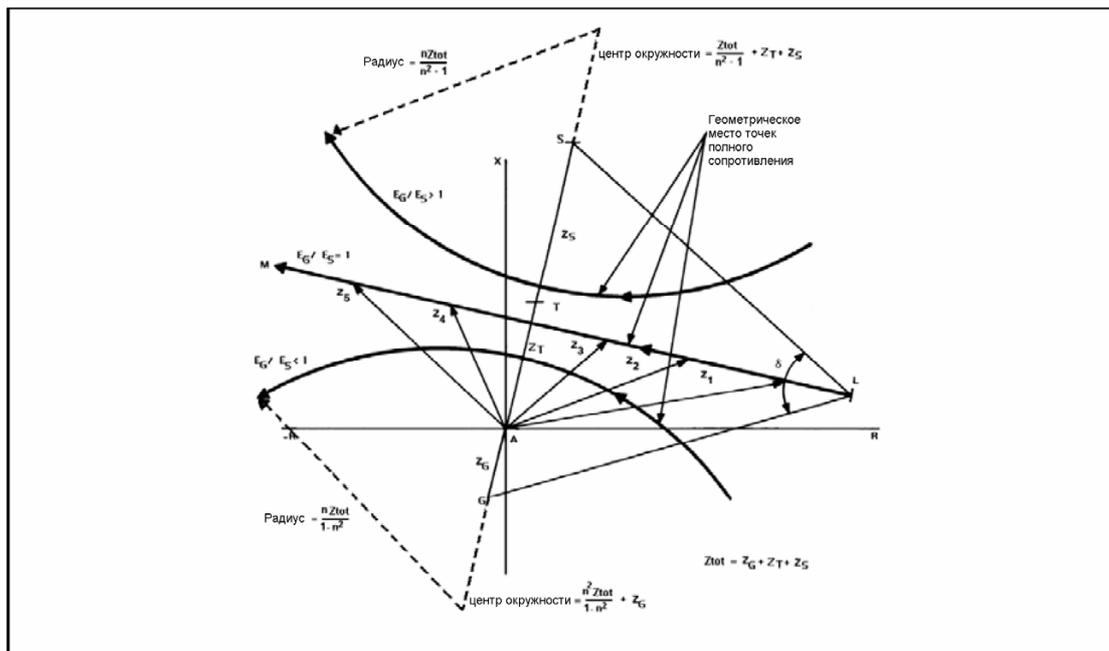


Рисунок 24: Кривые кажущегося полного сопротивление на выводах генератора (точка А)

Было доказано, что геометрическим местом точек сопротивления на выводах генератора (точка А) является либо прямая линия, либо окружность, в зависимости от того равны EG и ES, или имеют разные амплитуды. Кривая сопротивления является прямой линией, серединным перпендикуляром общего сопротивления системы между G и S, при $EG / ES = 1$. Если $EG / ES > 1$, то дуга окружности лежит выше биссектрисы с центром на продолжении линии общего сопротивления GS. Если $EG / ES < 1$, то кривая сопротивления находится ниже биссектрисы с центром на продолжении линии общего сопротивления SG. Диаметры и центры этих окружностей являются функциями отношения напряжений EG / ES и общего полного сопротивления, как показано на рис. 24. Не всегда необходимо вникать в подробности построения круговой характеристики, чтобы распознать потерю синхронизма. В большинстве случаев необходимо только просто построить серединный перпендикуляр линии общего сопротивления для определения с достаточной для выполнения защиты точностью, положения точки в системе, по которой будет проходить качание.

Следует отметить, что угол, образованный пересечением линий SL и GL на линии ML, является углом разделения δ между генератором и системой. При необратимых качаниях мощности δ колеблется между 0 и 360 градусов относительно точек L и M на биссектрисе. Вдоль линии LM есть несколько точек, представляющих интерес. Первая – это точка, в которой разделение достигает 90 градусов. Если нарисовать окружность с диаметром, равным общему сопротивлению (линия GS), то пересечение окружности и линии LM будет точкой, где $\delta = 90^\circ$. Если линия качаний не проходит ниже этой точки, то система сможет восстановить синхронизм. Однако если линия качаний достигает 120° и более, то система вряд ли восстановится. При пересечении линий полного сопротивления и общего сопротивления, линии GS, генератор и система находятся в противофазе (180°), что называется электрическим центром или центром полного сопротивления системы. По мере пересечения кривой этой точки и вхождения в левую часть линии GS, генератор и система будут сходиться по фазе. Цикл скольжения будет завершен, когда кривая достигнет точки, в которой начались качания.

Следует иметь в виду, что в этом упрощенном методе были приняты следующие допущения:

- EG/ES принято неизменным во время качаний
- Не учитывается начальный переходной процесс и влияние особенностей генератора
- Переходные изменения полного сопротивления из-за КЗ или устранения КЗ затухли
- Не учитывается влияние регулятора

2.26.3. Характеристика асинхронного хода генератора

Как говорилось ранее, за последние несколько десятилетий сопротивление генератора и системы изменились. Во многих случаях электрический центр, или центр сопротивления, лежит в пределах генератора или повышающего трансформатора. Кроме того, для большей части нагрузки машины эквивалентное внутреннее сопротивление машины будет ниже, чем 1,0 о.е. и, значит, меньше эквивалентного напряжения системы. Следовательно, характеристика асинхронного хода на выводах генератора будет в основном повторять характеристику потери синхронизма, когда отношение напряжений $EG/ES < 1$, что ниже центра сопротивления. См. пример кривой $EG/ES < 1$ на рис. 24.

В действительности, геометрическое место точек сопротивления на выводах генератора можно сравнить с искаженной идеальной характеристикой. Следующее рассмотрение иллюстрирует воздействие других факторов на характеристику асинхронного хода.

2.26.3.1 Что произойдет, если EG/ES имеет различные значения меньше единицы (1)?

Для данного общего сопротивления, по мере снижения отношения напряжений ниже единицы (1), окружность также уменьшается в диаметре, и центр приближается к исходному положению. Таким образом, снижение внутреннего напряжения приводит к уменьшению диаметра кривой полного сопротивления. Расчет радиуса и центра окружности с помощью Уравнения 1 показывает эту тенденцию.

При КЗ, если регулятор напряжения выведен из работы, внутреннее напряжение машины будет падать, и будет оставаться на более низком уровне после отключения КЗ. Если добавить влияние регулятора напряжения во время КЗ, то окружности полного сопротивления увеличатся в диаметре, но будут оставаться в области генератора.

2.26.3.2 Что произойдет, если приложены сопротивления разных систем?

Сопротивление системы также играет роль в определении диаметра и расположения окружности. При снижении сопротивления системы кривая сопротивления уменьшается в диаметре и приближается к исходному состоянию.

Следует отметить, что центр сопротивления системы не является фиксированной точкой из-за изменений сопротивления системы в различных условиях работы. Следовательно, кривую сопротивления следует определять при максимальном и минимальном сопротивлениях системы.

2.26.3.3 Как определить реактивное сопротивление генератора в условиях асинхронного хода?

Поскольку реактивное сопротивление генератора играет роль в определении геометрического места точек сопротивления асинхронного хода, очень важно при построении этих кривых использовать правильные значения реактивного сопротивления. При нулевом скольжении XG равно синхронному сопротивлению (X_d), а при 100% скольжении XG равно сверхпереходному сопротивлению (X'_{d}). Обычно полное сопротивление равно переходному сопротивлению X'_{d} при 50% скольжении, и равно $2X'_{d}$ при скольжении 0,33%. Поскольку скольжение чаще возникает при работе на низких асинхронных скоростях, возможно 1%, при оценке асинхронного хода важно использовать значение $XG=2X'_{d}$.

2.26.3.4 Как определить скорость скольжения асинхронного хода?

Скорость скольжения между генератором и системой является функцией ускоряющего вращающего момента и инерции систем. Вообще, скорость скольжения нельзя получить аналитически. Рекомендуется определять скорость скольжения путем исследования устойчивости в переходных режимах, где изменение угла системы строится относительно времени. Хотя скорость скольжения не будет неизменной при асинхронном ходе, целесообразно принять ее постоянной в течение первой половины периода скольжения, представляющей интерес для реле. Для блочных генераторов она находится в диапазоне от 250 до 400 град./сек. Тогда как для станций с перекрестными связями среднее начальное скольжение будет от 400 до 800 град./сек.

2.26.4 Общие требования к защите от асинхронного хода

Получив представление о характеристике асинхронного хода, можно представить общие требования к защите от асинхронного хода, а именно:

- В целом, защита от асинхронного хода должна оставаться устойчивой в условиях КЗ и обратимых качаний мощности, в отличие от условия необратимого асинхронного хода.
- В конкретном случае потери синхронизма, если центр полного сопротивления лежит в области генератора /повышающего трансформатора, рекомендуется мгновенно отключать генератор, предпочтительно в течение первого полупериода скольжения при потере синхронизма. Если центр полного сопротивления лежит вне области, то защита не должна срабатывать мгновенно, но может дать время произойти отключению в каком-либо другом месте, за пределами электростанции. Только, если этого не произойдет, защита от асинхронного хода отключит генератор второй (II) ступенью, т.е. по происшествии предварительно заданного числа циклов скольжения.
- Для того, чтобы снизить ущерб генератору от асинхронного хода, защита должна надежно обнаруживать первое и последующие скольжения синхронной машины в широком диапазоне (частота скольжения от 0,1% до 10% от f_n).
- При отключении следует избегать точки, где генератор и система находятся в противофазе (180°), когда токи достигают максимального значения и при разрыве подвергают выключатель воздействию максимального восстанавливающегося напряжения.
- Поскольку асинхронный ход является по существу симметричным трехфазным явлением, то в реле необходимо установить только однофазный орган.

2.26.5 Линзообразная схема

2.26.5.1 Характеристика

Характеристика защиты от асинхронного хода реле P343/4/5 состоит из трех частей, как показано на схеме R/X рис. 25. Первая часть является линзообразной характеристикой. Вторая часть – это прямая линия, ось линзы (blinder), разрезающая линзу пополам и делящая плоскость полного сопротивления на левую и правую половины. Третья – это линия реактивного сопротивления, перпендикулярная второй.

Наклон линзы и оси линзы, θ , определяется углом полного сопротивления системы. Эквивалентное полное сопротивление системы и повышающего трансформатора определяет зону действия линзы в прямом направлении, Z_A , тогда как переходной реактанс генератора определяет зону действия защиты в обратном направлении Z_B . Ширина линзы меняется уставкой угла α . Линия реактивного сопротивления, перпендикулярная оси линзы, используется для распознавания того, где находится центр полного сопротивления качания, в системе или в генераторе. Она устанавливается значением Z_c вдоль оси линзы, как показано на рис. 25. Линия реактивного сопротивления разделяет линзу на Зону 1 (линза ниже линии) и Зону 2 (вся линза).

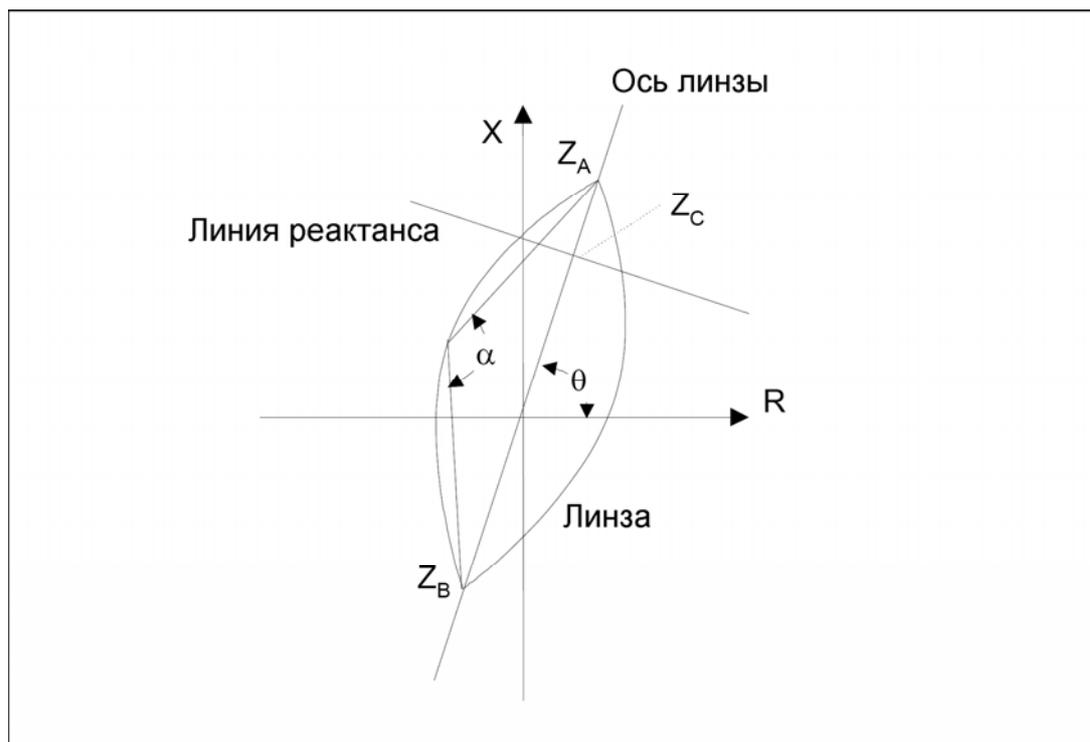


Рисунок 25: Защита от асинхронного хода с использованием линзообразной характеристики и оси линзы

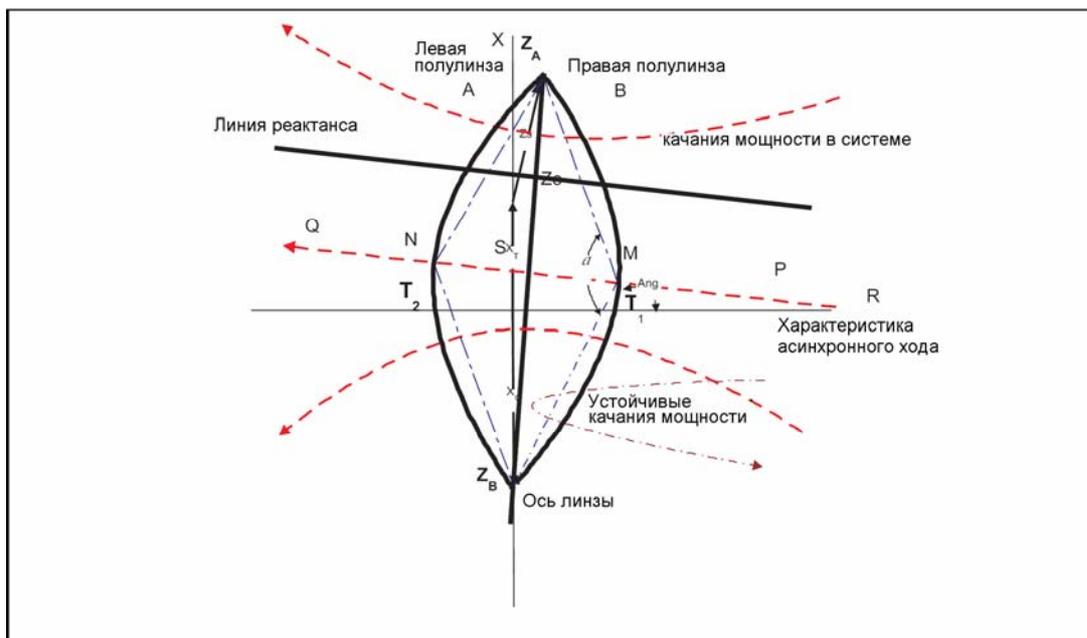
2.26.5.2 Генераторный и двигательный режимы

При выпадении генератора из синхронизма с системой прохождение области полного сопротивления ожидается справа налево через линзу и ее ось. Однако если генератор работает как двигатель, как в режиме насоса гидроаккумулирующей станции, ожидается прохождение области полного сопротивления слева направо. Для определения того, в каком режиме работает защита – в генераторном, в двигательном, или в обоих – предусмотрена уставка. Кроме того, при работе генератора с пониженной нагрузкой, <30%, генератор может замедлиться из-за присутствия сильного торможения системы при КЗ, что приведет к появлению скольжения двигательного типа (отрицательному скольжению). Для обнаружения асинхронного хода в этих условиях уставка 'pole slip mode' (АПХ: РЕЖ.РАБОТЫ) должна быть выставлена на 'Both' (оба).

Если защита работает в генераторном режиме, то в условиях нормальной нагрузки полное сопротивление должно находиться в правой части линзы. При асинхронном ходе область полного сопротивления проходит через правую и левую половину линзы. Минимальное время нахождения в каждой половине линзы можно установить с помощью таймеров, T1 для правой стороны, и T2 для левой. Реле регистрирует период асинхронного хода, когда область полностью покидает линзу с противоположной стороны.

Если защита работает в двигательном режиме, то в условиях нормальной нагрузки полное сопротивление ожидается в левой части линзы. При асинхронном ходе область полного сопротивления проходит через левую и правую половину линзы, снова находясь в течение времени, по крайней мере, T1 и T2 соответственно в каждой половине и покидая линзу с противоположной стороны.

2.26.6 Рекомендации по выбору уставок защиты от асинхронного хода

**Рисунок 26: Линзообразная характеристика срабатывания**

1. Зона действия защиты в прямом и обратном направлении Z_A , Z_B .

Как отмечалось ранее, лучшей уставкой для линзы является такая, при которой точки Z_A и Z_B совпадают с полным сопротивлением системы ($Z_T + Z_S$) и реактивным сопротивлением генератора (X_G), см. рис. 24. Угол линзы α соответствует в этом случае углу α между э.д.с. E_G и E_S , при котором полное сопротивление входит в линзу, см. рис. 24.

Поскольку скольжение чаще возникает при работе на низких асинхронных скоростях, возможно 1%, при оценке асинхронного хода важно использовать значение $X_G = 2X'd$, см. раздел 2.26.3.3.

Там, где значения Z_S и реактивного сопротивления генератора X_G изменяются, Z_A и Z_B нужно устанавливать согласно соответствующим максимальным значениям.

Значительные отличия между E_G и E_S , см. рис. 24 и раздел 2.26.3.1, могут вызвать все большее уменьшение окружности полного сопротивления. Таким образом, существует возможность того, что окружность полного сопротивления асинхронного хода пересечет линзу и ее ось дважды при максимальных уставках, создающих длинную линзу. Однако при этих условиях логика «состояния машины» предотвратит регистрацию 2 периодов асинхронного хода, так что для уставок Z_A и Z_B нет максимального ограничения.

2. Наклон линзы θ

Наклон линзы должен согласовываться в углом полного сопротивления системы, вектор GS на рис. 24.

3. Угол α .

Ширина линзы пропорциональна углу α . Для определения необходимого угла α следует учитывать два следующих фактора:

- При любых условиях полное сопротивление нагрузки безопасно находится вне линзы.

Точка срабатывания, в генераторном режиме ограниченная левой стороной линзы, должна быть точкой, когда угловое разделение между системой и генератором мало. Хотя выключатели рассчитаны на разрыв удвоенного напряжения системы т. е. когда машины находятся в противофазе, рекомендуется выдавать команду отключения по возможности при меньшем сдвиге фаз. По этой причине угол α должен выбираться как можно меньшим (диапазон уставок от 90° до 150°).

Построение линзы показано на рис. 27. ZR равно максимальной ширине половины линзы. Минимальная активная составляющая нагрузки должна составлять хотя бы 130% от зоны действия линзы, ZR, в поперечном направлении. ZR можно рассчитать следующим образом:

$$ZR = (ZA + ZB) / 2 \times \tan(90^\circ - \alpha/2)$$

При данном минимальном активном сопротивлении нагрузки RLmin минимальной допустимой уставкой α будет:

$$\alpha_{\min} = 180^\circ - 2 \times \tan^{-1}(1,54 \times RL_{\min} / (ZA + ZB))$$

Тогда RLmin будет не меньше 1,3 ZR.

Примечание: Минимальная уставка реле для α равна 90° , так как она определяет наибольший размер характеристики, окружность.

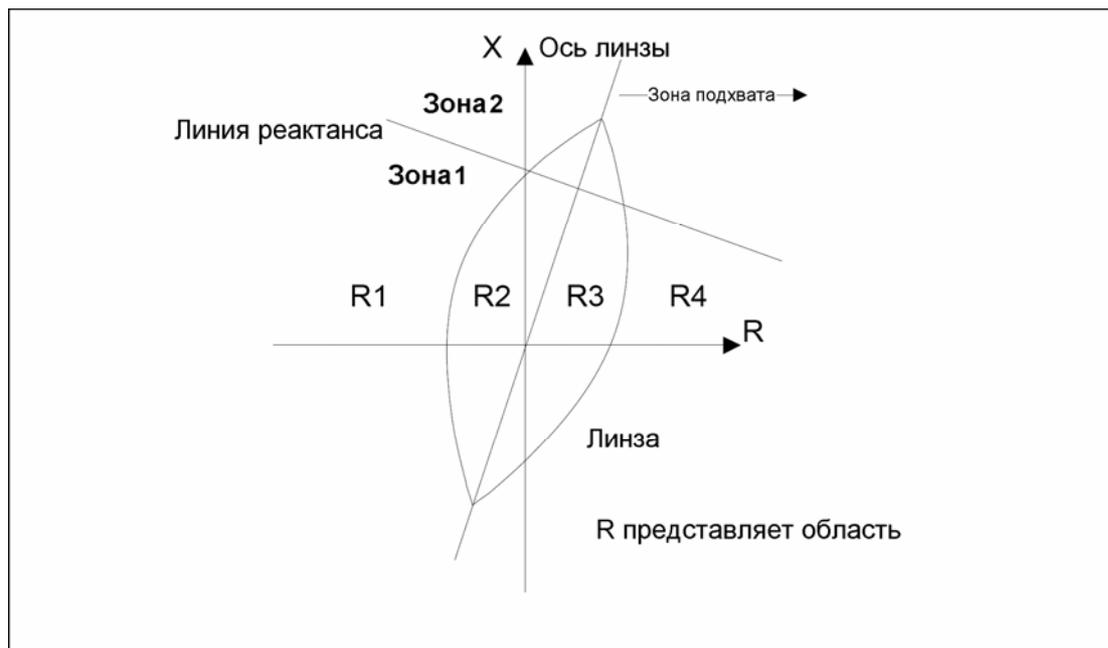


Рисунок 27: Защита от асинхронного хода с использованием линзообразной характеристики и ее оси

4. Уставка реактивного сопротивления

Значение Zc

Значение Zc определяет расстояние от линии реактивного сопротивления до начала координат. Линия реактивного сопротивления обеспечивает средства различения асинхронного хода в генераторе и качаний мощности в высоковольтной электрической системе. Она должна быть с большим запасом отстроена от реактивного сопротивления повышающего трансформатора и генератора.

5. Счетчики асинхронного хода

Для подсчета периодов асинхронного хода до выдачи сигнала срабатывания предусмотрены счетчики для обеих зон, Зоны 1 и Зоны 2. Для сброса счетчиков после устранения асинхронного хода другими защитами в системе предусмотрен таймер возврата с задаваемой пользователем уставкой.

6. Таймеры T1 и T2

При асинхронном ходе кривая полного сопротивления проходит через линзу, находясь в течение, по крайней мере, времени T1 в области 2 (R2), и времени T2 в области 3 (R3), см. Рис. 27. Проверки методом моделирования показали, что скольжение до 10 Гц может быть обнаружено при уставке угла α , равной 120° , и уставке времени для T1 и T2, равной 15 мс. Таким образом, рекомендуется устанавливать T1 и T2 на 15 мс.

7. Таймер возврата

Таймер возврата нужно устанавливать на время, большее максимального ожидаемого времени прохождения машиной заданного числа периодов асинхронного хода для Зоны 1 или Зоны 2. Время возврата необходимо для сброса показаний счетчиков при устранении режимов асинхронного хода внешней защитой. Например, если счетчик Z2 установлен на срабатывание по истечении 2 периодов асинхронного хода в электрической системе, а после регистрации 1 условия было устранено другой защитой в системе, показания счетчиков нужно сбросить на нуль.

8. Режим асинхронного хода

При выпадении генератора из синхронизма с системой прохождение области полного сопротивления ожидается справа налево через линзу и ее ось. Однако если генератор работает как двигатель, как в режиме насоса гидроаккумулирующей станции, ожидается прохождение области полного сопротивления слева направо. Для определения того, в каком режиме работает защита – в генераторном, в двигательном, или в обоих – предусмотрена уставка.

Работа генераторов на гидроаккумулирующих станциях может переключаться с генераторного режима на двигательный, и наоборот. Поэтому предусмотрено устройство защиты для обнаружения нормального рабочего режима машины (генераторный или двигательный) и для выполнения обнаружения асинхронного хода в каждом режиме. Устройство вводится в работу, когда уставка 'pole slip mode' (АПАХ: РЕЖ.РАБОТЫ) установлена на 'Both' (Оба).

Кроме того, если генератор работает при низкой нагрузке, <30%, из-за присутствия сильного торможения системы при КЗ генератор может замедлить ход, что приведет к возникновению скольжения двигательного типа (отрицательное скольжение). Для обнаружения асинхронного хода в этих условиях уставку 'pole slip mode' (АПАХ: РЕЖ.РАБОТЫ) нужно установить на 'Both' (Оба).

2.26.6.1 Примеры уставок защиты от асинхронного хода

Полные сопротивления в реле P343/4/5 могут быть заданы как в первичных, так и во вторичных величинах, однако, все значения полного сопротивления, используемые в примерах, для простоты, приведены в первичных величинах.

2.26.6.2 Пример расчета

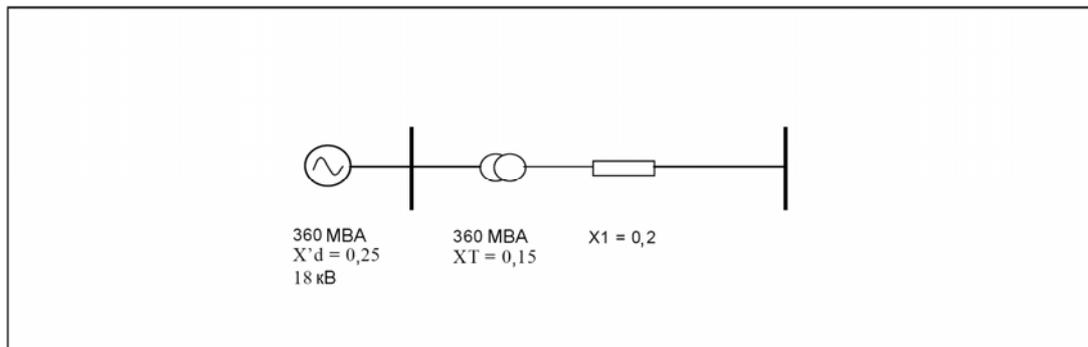


Рисунок 28: Пример конфигурации системы

Данные генератора и повышающего трансформатора:

Базисная, мощность $P_n = 360$ МВА

Базисное напряжение $V_n = 18000$ кВ

Мин.сопротивление нагрузки $R_{Lmin} = 0,77$ Ом

Угол полного сопротивления системы $\geq 80^\circ$

Полное сопротивление генератора 0,25 о.е.

Полное сопротивление трансформатора 0,15 о.е.

Полное сопротивление системы 0,2 о.е.

Реле установлено на выводах генератора. Z_A и Z_C направлены в сторону повышающего трансформатора и остальной системы. Линия реактивного сопротивления требуется для распознавания отличия между качаниями мощности с электрическими центрами в пределах области генератор/трансформатор и центрами вне этой области.

Базисное полное сопротивление равно:

$$Z_{base} = Vn^2/Pn = 18^2/360 = 0,9 \text{ Ом}$$

$$Z_A = (X_T + X_1) Z_{base} = (0,15+0,2) \times 0,9 = 0,315 \text{ Ом}$$

$$Z_B = 2X'd \times Z_{base} = 2 \times 0,25 \times 0,9 = 0,45 \text{ Ом}$$

Z_C установлено на 90% от реактивного сопротивления трансформатора

$$Z_C = 0,9 \times (X_T) Z_{base} = 0,9 \times 0,15 \times 0,9 = 0,122 \text{ Ом}$$

Минимальный подходящий угол α , который определяет границу линзы относительно минимального активного сопротивления нагрузки, равен:

$$\alpha_{min} = 180^\circ - 2 \times \tan^{-1} (1,54 \times R_{Lmin} / (Z_A + Z_B))$$

$$\alpha_{min} = 180^\circ - 2 \times \tan^{-1} (1,54 \times 0,77 / (0,315 + 0,45))$$

$$\alpha_{min} = 65,7^\circ.$$

Минимальной уставкой для α в реле является 90° , значит, принимаем эту уставку.

T1 и T2 установлены на 15 мс, а θ установлен равным углу полного сопротивления системы 80° .

2.27 Тепловая защита от перегрузки (49)

2.27.1 Введение

Перегрузки могут привести к повышению температуры статора выше допустимой для изоляции обмоток температуры. Практические результаты предполагают, что срок службы изоляции сокращается примерно вдвое при каждом повышении температуры выше номинальной на 10°C . Однако срок службы изоляции зависит не только от повышения температуры, но и от времени работы изоляции при такой повышенной температуре. Благодаря сравнительно высокой теплоемкости электрической машины, нечастые кратковременные перегрузки могут не привести к ее повреждению. Однако постоянные перегрузки на несколько процентов могут привести к преждевременному старению и повреждению изоляции.

Сложность физической и электрической конструкции генератора приводит к сложным тепловым взаимосвязям. Таким образом, нет возможности создать точную математическую модель истинной тепловой характеристики машины.

Однако, если генератор рассматривать как однородное тело, вырабатывающее тепло с постоянной скоростью и рассеивающее тепло со скоростью, прямо пропорциональной возрастанию температуры, можно показать, что температура в любой момент будет определяться времятоковой тепловой характеристикой модели.

Как говорилось ранее, рассматривание генератора как однородное тело является чрезмерным упрощением. Возрастание температуры разных частей или даже разных точек в одной части может быть очень неравномерным. Однако, целесообразно принять, что времятоковая зависимость имеет обратную характеристику. Более точное представление о тепловом состоянии машины можно получить с помощью использования устройств температурного контроля (RTD), которые предназначены для конкретных участков. Кроме того, применение защиты RTD и MT3 может обеспечить лучшую защиту при кратковременных перегрузках. Следует отметить, что тепловая модель не компенсирует влияния изменения температуры окружающей среды. Так что в условиях необычно высокой температуры окружающей среды или, если охлаждение машины заблокировано, то RTD также обеспечит лучшую защиту.

2.27.2 Тепловая модель

Реле P342/3/4/5 моделируют времятоковую тепловую характеристику генератора путем внутреннего генерирования тепловой модели машины.

Составляющие тока генератора прямой и обратной последовательности измеряются независимо и комбинируются вместе для создания эквивалентного тока, $I_{эк}$, который передается в схему модели. Эффект нагрева в тепловой модели создается $I_{эк}^2$ и, следовательно, учитывает влияние нагрева, вызванного током как прямой, так и обратной последовательности.

Несимметричные фазные токи вызовут дополнительный нагрев ротора, который может быть не учтен некоторыми реле тепловой защиты, основанными только на измеренном токе. Несимметричная нагрузка приводит к протеканию тока прямой и обратной последовательности. Несимметрия нагрузки может возрасти в результате наличия однофазной нагрузки, нелинейной нагрузки (содержащей силовую электронику или дуговые печи и т.п.), неустраненных или повторяющихся несимметричных замыканий, перегорания предохранителей, однофазного отключения и повторного включения в системах передачи, обрывов проводов ЛЭП и несимметричных неисправностей коммутационной аппаратуры. Любая составляющая обратной последовательности тока статора создаст обратно-вращающуюся составляющую потока статора, пересекающую ротор с удвоенной синхронной скоростью. Такая составляющая потока будет индуцировать в роторе вихревые токи двойной частоты, что может вызвать перегрев тела ротора, основных обмоток ротора, демпферных обмоток и т. д. Этот дополнительный нагрев не учитывается в граничных тепловых кривых, предоставленных изготовителем генератора, поскольку эти кривые учитывают токи только прямой последовательности, присутствующие в идеально сбалансированных системах. Тепловая модель реле P34x может быть смещена для отображения дополнительного нагрева, вызванного током обратной последовательности при работе машины. Это смещение выполняется путем создания эквивалентного тока нагрева вместо применения просто фазного тока. Коэффициент M является постоянной, равной отношению сопротивления ротора обратной последовательности к сопротивлению ротора прямой последовательности. Если используется коэффициент M , равный 0, то смещение несимметрии выведено из работы, и кривая перегрузки будет указывать время в соответствии с измеренным током генератора прямой последовательности. Обратите внимание, что P34x содержит также функцию защиты максимального тока обратной последовательности, основанную на $I_2^2 t$, специально для тепловой защиты ротора.

Эквивалентный ток для работы защиты от перегрузки определяется согласно следующему выражению:

$$I_{эк} = \sqrt{I_1^2 + M I_2^2}$$

Где:

I_1 = ток прямой последовательности

I_2 = ток обратной последовательности

M = задаваемая пользователем постоянная, пропорциональная теплоемкости машины

Как описывалось ранее, температура генератора будет возрастать по экспоненте с возрастанием тока. Аналогично, когда ток снижается, температура тоже падает подобным образом. Поэтому, чтобы получить точную длительную защиту от перегрузки, реле P342/3/4/5 содержит широкий диапазон тепловых постоянных времени для нагрева и охлаждения.

Более того, на термическую устойчивость генератора влияет предшествующий возникновению перегрузки нагрев обмоток. Тепловая модель учитывает предельные значения нулевого тока до повреждения, известные как 'cold' (холодное) состояние, и полного тока до повреждения, известного как 'hot' (горячее) состояние. При отсутствии тока до повреждения реле будет работать по 'cold curve' (холодной кривой). Если до возникновения перегрузки генератор работает или работал с полной нагрузкой, то применяется 'hot curve' (горячая кривая). Таким образом, при нормальной работе реле будет работать между этими двумя пределами.

2.27.3 Указания по выбору уставок

Ток срабатывания рассчитывается следующим образом:

Ток срабатывания тепловой защиты = допустимая длительная нагрузка единицы оборудования / коэффициент трансформации ТТ.

Тепловая постоянная времени нагрева должна выбираться такой, чтобы характеристика перегрузки всегда находилась ниже тепловых границ, заданных изготовителем. Это обеспечит отключение машины до достижения тепловой границы.

Уставка реле "T-heating (ПОСТ.ВР.НАГРЕВА)" задается в минутах.

Тепловая постоянная времени охлаждения должна задаваться изготовителем. Однако, если не указано другое, уставка постоянной времени охлаждения "T-cooling (ПОСТ.ВР. ОСТЫВАН)" должна задаваться равной основной уставке постоянной времени нагрева, "T-heating (ПОСТ.ВР.НАГРЕВА)". Постоянная времени охлаждения применяется, когда машина работает, и ток нагрузки падает. Таким образом, можно принять постоянную времени охлаждения равной постоянной времени нагрева, если от изготовителя нет другой информации. Когда машина не вращается, то она обычно остывает значительно медленнее, чем, когда ротор вращается. Уставка реле "T-cooling (ПОСТ.ВР. ОСТЫВАН)" задается в минутах.

При достижении теплового состояния, соответствующего проценту уставки срабатывания, может быть подан сигнал. Типичной уставкой может быть "Thermal Alarm (СТУП.СИГН.ПЕРЕГ.)" = 70% от теплоемкости. Сигнал тепловой защиты может также использоваться для предотвращения повторного пуска генератора до возврата сигнальной ступени. В таких случаях типичной уставкой является 20%.

Коэффициент "M Factor (КОЭФФ. М)" используется для повышения воздействия на тепловую защиту тока обратной последовательности из-за несимметричных токов. Если необходимо учитывать влияние нагрева от несимметричных токов, то этот коэффициент следует задавать равным отношению активного сопротивления ротора обратной последовательности к активному сопротивлению ротора прямой последовательности при номинальной скорости. Если нельзя точно рассчитать уставку, то следует задавать уставку, равную 3. Это типичная уставка и будет подходящей в большинстве случаев. Если используется коэффициент М, равный 0, то смещение несимметрии выведено из работы, и кривая перегрузки будет указывать время в соответствии с измеренным током генератора прямой последовательности. Обратите внимание, что дополнительный нагрев, вызванный несимметричными токами фаз, не учитывается в кривых предельного допустимого нагрева, предоставляемых изготовителем генератора, поскольку эти кривые учитывают только токи прямой последовательности, что справедливо только для идеально симметричных сетей и генераторов, поэтому уставкой по умолчанию является 0.

2.28 Устройство резервирования отказа выключателя (УРОВ) (50BF)

При обнаружении повреждения сработает одно или более устройство защиты и выдаст сигнал на отключение выключателя(ей), соответствующего поврежденной цепи. Действие выключателя очень важно для изолирования места КЗ и предотвращения разрушений в энергосистеме. В передающих сетях медленное устранение повреждений может также угрожать устойчивости системы. Поэтому, обычно применяется устройство резервирования отказа выключателя, которое контролирует отключение выключателя за определенное время. Если ток короткого замыкания не отключен через заданную выдержку времени после сигнала на отключение выключателя, то сработает устройство резервирования отказа выключателя.

Действие УРОВ может применяться к вышестоящим выключателям, чтобы гарантировать, что КЗ изолировано правильно. Действие УРОВ может также служить для возврата всех пусковых выходных контактов, снимая любые блокировки, введенные в МТЗ вышестоящей защиты.

2.28.1 Механизмы возврата таймеров УРОВ

Обычно, в случае необходимости, для обнаружения разрыва тока нагрузки или короткого замыкания полюсами выключателя в защите используются органы минимального тока с низкой уставкой. Это относится к следующим случаям:

- При неисправности блок-контактов выключателя или в случае, если на них нельзя полагаться, чтобы убедиться в отключении выключателя.

При заклинивании выключателя при отключении. Это может привести к возникновению дуги между первичными контактами с дополнительным активным сопротивлением дуги в цепи короткого замыкания. Если это сопротивление значительно ограничит ток короткого замыкания, может произойти возврат органа защиты, вызвавшего отключение. Таким образом, возврат органа не может надежно указывать на то, что выключатель отключился полностью.

Любая функция защиты, для срабатывания которой необходим ток, для обнаружения отключения полюсов нужного выключателя и возврата таймеров УРОВ использует органы минимального тока ($I<$). Однако, в некоторых случаях, органы минимального тока могут не обеспечивать надежный возврат УРОВ. Например:

- Когда нетоковая защита, такая как минимального /максимального напряжения или минимальной/максимальной частоты, использует измерения от трансформатора напряжения, подключенного к линии. В этом случае $I<$ обеспечивает надежный метод возврата только при постоянном протекании тока нагрузки в защищаемой сети. Более надежным методом было бы обнаружение возврата органа защиты, вызвавшего отключение.
- Когда нетоковая защита, такая как минимального /максимального напряжения или минимальной/максимальной частоты, использует измерения от трансформатора напряжения, подключенного к шинам. Здесь опять же, использование $I<$ будет зависеть от постоянного протекания тока нагрузки в фидере. Кроме того, отключение выключателя может не устранить вызвавшее его повреждение на шинах, и, следовательно, возврат органа защиты может не произойти. В таких случаях положение блок-контактов выключателя может обеспечивать лучший метод возврата.

2.28.1.1 Уставки таймеров УРОВ

Обычно используются следующие уставки таймеров:

Механизм возврата УРОВ	Выдержка времени УРОВ	Типичная уставка для выключателей на 2 ½ цикла
Возврат пускового органа	Время отключения выключателя + время возврата защиты (макс.) + погрешность таймера УРОВ + запас надежности	$50 + 50 + 10 + 50 = 160$ мс
Отключение выключателя	Время замыкания/ размыкания блок-контактов выключателя (макс.) + погрешность таймера УРОВ + запас надежности	$50 + 10 + 50 = 110$ мс
Органы минимального тока	Время отключения выключателя + время действия органа минимального тока (макс.) + запас надежности	$50 + 12 + 50 = 112$ мс

Примечание: Все типы возврата УРОВ включают действие органов минимального тока. При использовании возврата органа защиты или отключения выключателя, если это окажется самым плохим случаем, также должна использоваться выдержка времени органа минимального тока.

В приведенных примерах рассмотрено прямое отключение выключателя на 2 ½ цикла.

Примечание: При использовании промежуточных реле отключения, для учета времени действия реле следует добавить дополнительные 10 - 15 мс.

2.28.2 Уставки минимального тока УРОВ

Уставки фазных токов ($I<$) должны быть установлены меньшими тока нагрузки, чтобы гарантировать, что срабатывание $I<$ указывает на отключение полюса выключателя. Типичная уставка для воздушных или кабельных линий составляет $20\%I_n$, и, обычно, $5\%I_n$ для УРОВ генераторного выключателя.

Чувствительная защита от замыканий на землю (SEF) и органы минимального тока от замыканий на землю резервных защит должны иметь уставки ниже соответствующих уставок отключения, а именно:

$$ISEF< = (ISEF> \text{trip})/2$$

$$IN< = (IN> \text{trip})/2$$

В случае генератора органы минимального тока должны измерять ток с ТТ на выводах генератора. Это вызвано тем, что при внутреннем КЗ в генераторе после отключения генератора выключателем генератор будет продолжать вырабатывать некоторый ток КЗ, который будет измеряться органами минимального тока, подключенными к ТТ со стороны нейтрали генератора. Это может ошибочно воспринято как отказ выключателя.

МТЗ с пуском по напряжению и защита минимального сопротивления, используемая для резервной защиты от КЗ в системе, обычно подключаются к ТТ нейтрали, так чтобы генератор входил в зону действия защиты. Эти функции защиты используют входы токов IA, IB, IC в P343/4/5. Таким образом, если входы IA, IB, IC подключены к ТТ нейтрали, тогда для органом минимального тока следует выбрать входы IA-2, IB-2, IC-2 с помощью уставки 'I< Current Input (I< ТТ ИСТОЧНИК) - IA-1, IB-1, IC-1/IA-2, IB-2, IC-2'.

2.29 Защита от пробоя выключателя

Перед синхронизацией генератора или сразу после его отключения, когда защищаемый генератор может вращаться со скольжением относительно системы, на генераторном выключателе может появиться напряжение, в два раза превышающее номинальное. А сразу после отключения генератора при неисправности первичного двигателя, когда до начала работы автоматического регулятора напряжения мог поддерживаться предаварийный уровень возбуждения, может кратковременно возникать даже более высокое напряжение. Несмотря на то, что генераторный выключатель должен быть рассчитан на такие ситуации, вероятность пробоя расцепителя выключателя или пробоя изоляторов полюсов выключателя возрастает, и такие повреждения имели место.

Данный вид повреждения выключателя связан с пробоем одного полюса выключателя и, следовательно, может обнаруживаться органом измерения тока нейтрали. При прямом подключении генератора к системе, вторая ступень защиты статора от замыканий на землю ("IN>2...") может использоваться как мгновенная защита при задании выдержки времени ("IN>2 TimeDelay (IN>2 t СРАБ.)"), равной 0 с для быстрого обнаружения пробоя. Для предотвращения несогласованной работы защит при включенном выключателе данная ступень должна быть заблокирована. Блокировку можно запрограммировать при конфигурировании схемной логики, и можно интегрировать в логику УРОВ, как показано на рис. 29.

Если машине подключена к системе через повышающий трансформатор, может использоваться подобная схема. Для обеспечения защиты от пробоя выключателя резервный орган защиты от замыканий на землю реле P34x может быть с помощью подходящей логической схемы подключен для измерения тока замыкания на землю обмотки ВН трансформатора. Защита от замыканий на землю генератора может обеспечиваться органом чувствительной защиты от замыканий на землю P34x, как показано на рис. 30.

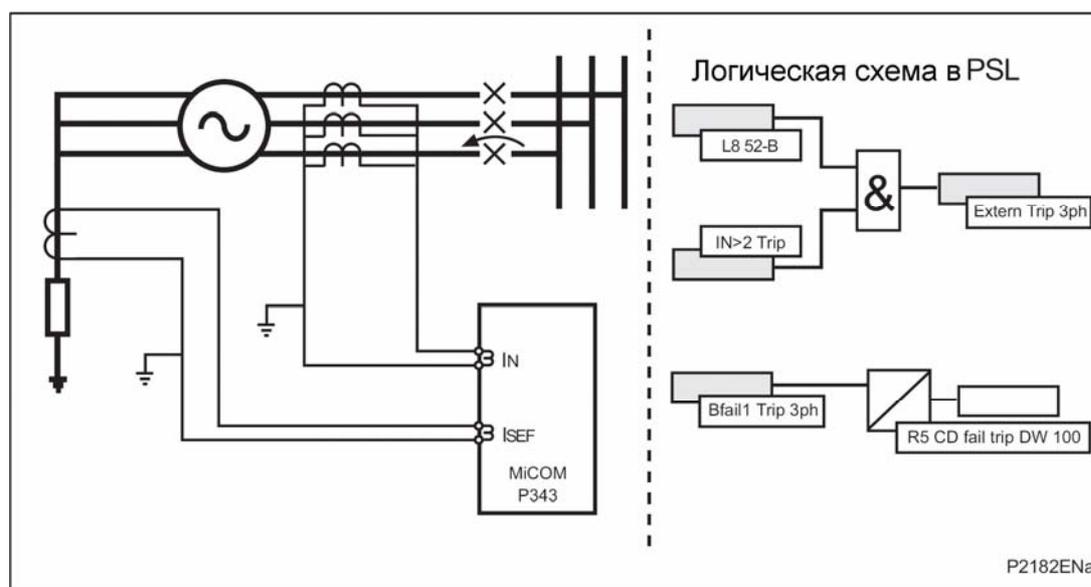


Рисунок 29: Защита от пробоя выключателя при прямом подключении генератора к системе

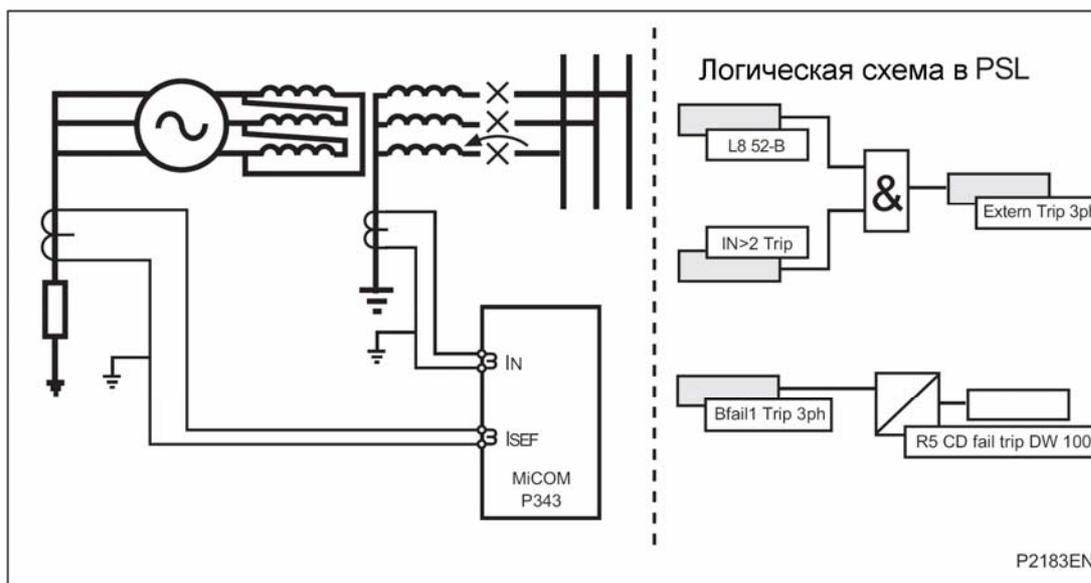


Рисунок 30: Защита от пробоя выключателя при подключении генератора к системе через повышающий трансформатор

2.30 Максимальная токовая защита с блокировкой

Максимальная токовая защита с блокировкой использует пусковые контакты нижестоящих защит для блокирования входов вышестоящих защит. Это позволяет устанавливать одинаковые уставки по току и времени на каждой защите, входящей в схему, поскольку защита, ближайшая к месту КЗ, не получает блокирующего сигнала и, значит, срабатывает селективно. Таким образом, такая схема снижает необходимое количество ступеней отстройки и, следовательно, время отключения КЗ.

Принцип МТЗ с блокировкой может быть расширен путем установки быстродействующих органов МТЗ на вводах подстанции, которые подключаются так, чтобы блокироваться пусковыми контактами от защит отходящих присоединений. Следовательно, быстродействующий орган может сработать при КЗ на шинах, но не будет работать при внешних КЗ на отходящих присоединениях из-за блокирующего сигнала. Такая схема обеспечивает значительно меньшее время отключения КЗ на шинах по сравнению с традиционной МТЗ, отстроенной по времени. Наличие нескольких ступеней МТЗ и защиты от замыканий на землю означает, что предусматривается также резервная токовая защита, отстроенная по времени. Это показано на рис. 31 и 32.

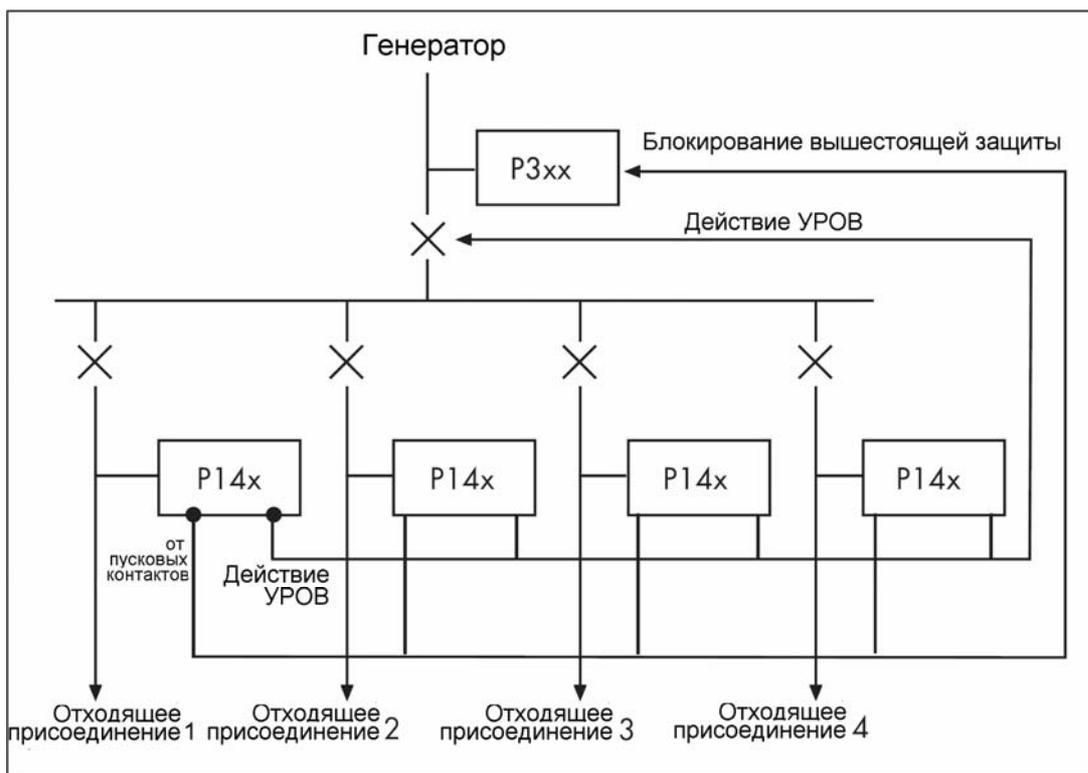


Рисунок 31: Простая схема защиты шин с блокировкой (один ввод)

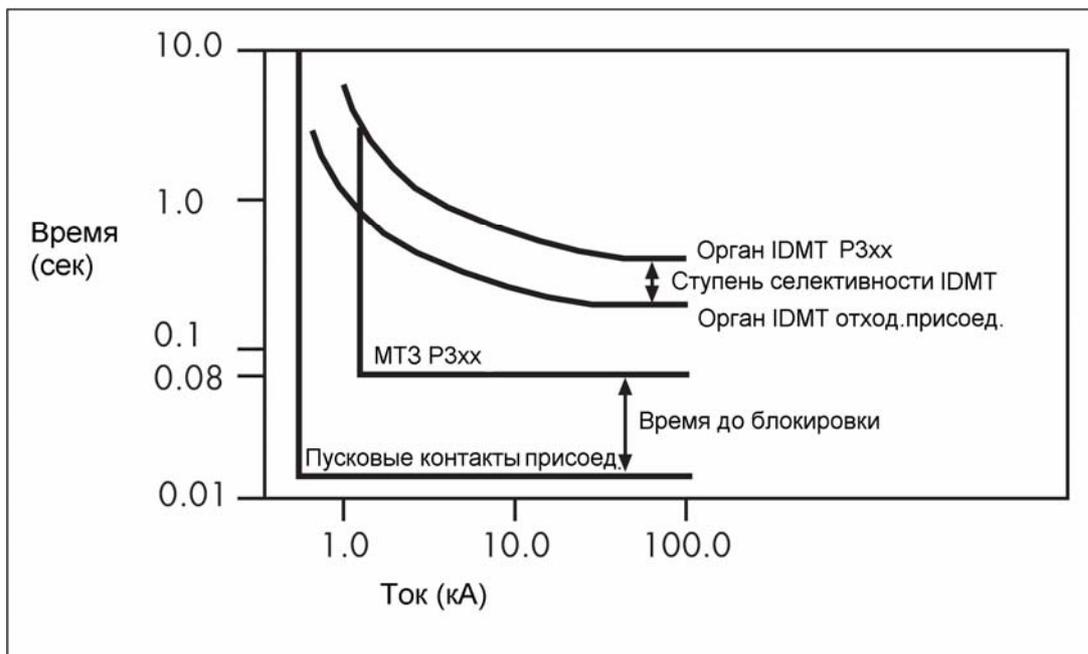


Рисунок 32: Простая схема защиты шин с блокировкой (один ввод)

Реле P140/P34x получают пусковые сигналы от каждой ступени каждого органа МТЗ и защиты от замыканий на землю, включая чувствительную защиту от замыканий на землю. Эти пусковые сигналы соответствующим программированием назначаются на выходные контакты. Каждая ступень может быть заблокирована, если запрограммирована на соответствующий оптоизолированный вход.

Следует отметить, что реле P34x обеспечивают питание оптовходов напряжением 50 В. Следовательно, в случае маловероятной потери питания блокировка защиты не произойдет. Для такой ситуации предусмотрен контроль питания, и, в случае возникновения неисправности, можно с помощью программируемой схемной логики реле предусмотреть выходной контакт сигнализации.

Этот контакт затем может использоваться для выдачи предупредительного сигнала на подстанции. Кроме того, возможно выполнение настройки схемы логики реле таким образом, чтобы выполнялась блокировка любой ступени максимальной токовой защиты или защиты от замыканий на землю, которые могут неселективно сработать при отсутствии блокирующего сигнала.

Для получения более полной информации о схемах МТЗ с блокировкой обращайтесь в AREVA T&D.

2.31 Аналоговые входы и выходы

2.31.1 Аналоговые входы

Предусмотрено четыре аналоговых входа (или входа токовой петли) для преобразователей с диапазонами 0 – 1 мА, 0 – 10 мА, 0 – 20 мА или 4 – 20 мА. Аналоговые входы могут использоваться для разных преобразователей, таких как датчики вибрации, тахометры и датчики давления. Существует две ступени защиты, связанные с каждым входом, одна для сигнализации, другая для отключения. Каждая ступень может отдельно быть введена и выведена из работы, и каждая ступень имеет уставку независимой выдержки времени. Ступени сигнализации Alarm (СИГНАЛ) и отключения Trip (ОТКЛЮЧИТЬ) можно установить на срабатывание, когда входная величина упадет ниже уставки Alarm/Trip 'Under' (СИГНАЛ /ОТКЛЮЧИТЬ 'ПО Понижению'), или, когда входной ток выше входной величины 'Over' ('ПО ПОВЫШЕНИЮ').

Для аппаратной части предусмотрена диагностика подачи питания и постоянная самопроверка, связанные с аналоговыми входами.

Для диапазона входа 4 – 20 мА, уровень тока ниже 4 мА указывает на то, что в преобразователе или проводке возникла неисправность. Имеется мгновенный сигнализирующий орган минимального тока с диапазоном уставки от 0 до 4 мА. Этот орган контролирует выходной сигнал (CL11/2/3/4 I< Fail Alm. (ТП1/2/3/4 I< сигн.неис), DDB 390-393), который может быть назначен, при необходимости, на определенный пользователем предупредительный сигнал.

2.31.2 Указания по выбору уставок для аналоговых входов

Пользователь может для каждого аналогового входа определить следующие уставки:

- Диапазон входного тока: 0 – 1 мА, 0 – 10 мА, 0 – 20 мА, 4 – 20 мА
- Функцию и единицу аналогового входа в форме входной этикетки из 16 знаков
- Минимальное значение аналогового входа (диапазон уставок от –9999 до 9999)
- Максимальное значение аналогового входа (диапазон уставок от –9999 до 9999)
- Уставку сигнализации, диапазон между максимальным и минимальным значениями
- Функцию сигнализации – «over (ПО ПОВЫШЕНИЮ)» или «under (ПО Понижению)»
- Выдержку времени сигнализации
- Уставку отключения, диапазон между максимальным и минимальным значениями
- Функцию отключения – «over (ПО ПОВЫШЕНИЮ)» или «under (ПО Понижению)»
- Выдержку времени отключения.

Каждый аналоговый вход может быть по выбору введен (Enabled) или выведен (Disabled) из работы, так же как и ступень сигнализации (Alarm) и отключения (Trip) каждого аналогового входа. Ступени сигнализации и отключения можно в зависимости от применения установить на срабатывание, когда входная величина упадет ниже уставки Alarm/Trip 'Under' (ПО Понижению), или, когда входной ток выше входной величины 'Over' (ПО ПОВЫШЕНИЮ). Можно выбрать один из четырех аналоговых входов для преобразователей с диапазонами 0 – 1 мА, 0 – 10 мА, 0 – 20 мА или 4 – 20 мА.

Максимальная и минимальная уставки позволяют пользователю вводить диапазон физических или электрических величин, измеряемых преобразователями. Уставки не имеют единиц; однако пользователь может ввести функцию преобразователя и единицу измерения с помощью задаваемой пользователем этикетки CL1 Input Label (Т/П ВХ: ИМЯ ВХ.) из 16 знаков. Например, если аналоговый вход используется для контроля преобразователя, измеряющего мощность, то подходящим текстом может быть "Активная мощность (МВт)".

Уставки ступени сигнализации и отключения следует задавать в диапазоне определенных пользователем физических или электрических величин. Для расчета защиты реле преобразует значение токового входа в соответствующее значение измерения преобразователя.

Например, если CLI Minimum (Т/П ВХ1: МИНИМУМ) равно -1000 , а CLI Maximum (Т/П ВХ1: МАКСИМ.) равно 1000 для входа $0 - 10$ мА, то входной ток в 10 мА эквивалентен измеренному значению 1000 , 5 мА эквивалентно 0 , а 1 мА -800 . Если CLI Minimum (Т/П ВХ1: МИНИМУМ) равно 1000 , а CLI Maximum (Т/П ВХ1: МАКСИМ.) равно -1000 для входа $0 - 10$ мА, то входной ток в 10 мА эквивалентен измеренному значению -1000 , 5 мА эквивалентно 0 , а 1 мА $+800$. Эти значения можно увидеть на дисплее в ячейках 'CLIO Input 1/2/3/4 (Т/П : ВХОД 1/2/3/4)' в меню 'MEASUREMENTS 3 (ИЗМЕРЕНИЯ 3)'. Верхняя строка показывает этикетку CLI Input Label, а нижняя строка показывает измеренное значение.

2.31.3 Аналоговые выходы

Предусмотрено четыре аналоговых выхода с диапазонами $0 - 1$ мА, $0 - 10$ мА, $0 - 20$ мА или $4 - 20$ мА, которые могут уменьшить необходимость в отдельных преобразователях. Они могут использоваться для питания стандартных магнитоэлектрических амперметров с подвижной катушкой для аналогового отображения определенных измеренных величин или в системах SCADA (диспетчерского управления и сбора данных) с использованием существующих аналоговых RTU (дистанционных терминалов).

Выходы могут быть назначены на любое из следующих измерений реле:

- Амплитуды IA, IB, IC, IN, IN Derived (IN ВЫЧИСЛ.АМПЛ.), I Sensitive (I ЧУВСТ. АМПЛ.)
- Амплитуды I1, I2, I0
- Действующие значения IA RMS, IB RMS, IC RMS (IA ЭФФ., IB ЭФФ., IC ЭФФ.)
- Амплитуды VAB, VBC, VCA, VAN, VBN, VCN, VN Measured (VN ИЗМЕР.АМПЛ.), VN Derived (VN ВЫЧИСЛ.АМПЛ.)
- Амплитуды V1, V2 и V0
- Действующие значения VAN RMS, VBN RMS, VCN RMS (VAN ЭФФ., VBN ЭФФ., VCN ЭФФ.)
- Частота
- Однофазная активная, реактивная и полная мощность, однофазный коэффициент мощности
- Трехфазная активная, реактивная и полная мощность, однофазный коэффициент мощности
- 3я гармоника VN (только P343/4/5)
- Тепловое состояние статора
- Тепловое состояние ротора (только P342/P343/P344/P345)
- Температуры RTD (только P342/P343/P344/P345)
- Аналоговые входы

Для каждого аналогового выхода пользователь может задать диапазон измерения. Границы диапазона определяются уставками Maximum (МАКСИМ) и Minimum (МИНИМУМ). Это позволяет пользователю увеличивать изображение и просматривать ограниченный диапазон измерений с желаемым разрешением. Для значений напряжения, мощности и тока эти уставки могут быть заданы либо в первичных, либо во вторичных значениях, в зависимости от установки 'CLO1/2/3/4 Set Values (Т/ПВЫХ1/2/3/4:УСТ.ЗН.) - Primary/Secondary (ПЕРВИЧНЫЙ/ ВТОРИЧНЫЙ)', связанной с каждым аналоговым выходом.

Для аппаратной части предусмотрена диагностика подачи питания и постоянная самопроверка, связанные с аналоговыми выходами.

2.31.4 Указания по выбору уставок для аналоговых выходов

Каждый аналоговый выход может быть по выбору введен (Enabled) или выведен (Disabled) из работы. Можно выбрать один из четырех аналоговых выходов для преобразователей с диапазонами $0 - 1$ мА, $0 - 10$ мА, $0 - 20$ мА или $4 - 20$ мА. Диапазон $4 - 20$ мА часто используется так, что при падении измеряемой величины до нуля выходной ток все еще присутствует. Это позволяет отображать отказобезопасную индикацию и может использоваться для того, чтобы отличать неисправность аналогового выхода преобразователя от падения измеряемой величины до нуля.

Максимальная и минимальная уставки позволяют пользователю вводить диапазон измерений для каждого аналогового выхода. Диапазон, размер шага и единица, соответствующие выбранному параметру, показаны в таблице в главе Работа, P34x/RU OP. Это позволяет пользователю увеличивать изображение и просматривать ограниченный диапазон измерений с желаемым разрешением.

Для значений напряжения, мощности и тока эти уставки могут быть заданы либо в первичных, либо во вторичных значениях, в зависимости от установки 'CLO1/2/3/4 Set Values (Т/ПВЫХ1/2/3/4:УСТ.ЗН.) - Primary/Secondary (ПЕРВИЧНЫЙ/ ВТОРИЧНЫЙ)', связанной с каждым аналоговым выходом.

Зависимость выходного тока и измеряемой величиной очень важна и требует внимательного рассмотрения. Любое принимающее устройство должно, конечно, использоваться в пределах его номинальных значений, но, по возможности, следует установить своего рода стандарт.

Одной из целей является получение возможности контролировать напряжение во всем диапазоне величин, так что необходимо выбрать верхнюю границу, обычно 120%. Однако, это может привести к трудностям в масштабировании измерительного прибора.

Такие же рассуждения применимы к выходам токовых преобразователей и, с дополнительной сложностью, к выходам преобразователей мощности, где нужно учитывать коэффициенты трансформации как ТТ, так и ТН.

Некоторые из этих трудностей не нужно учитывать, если преобразователь является только питающим, например станции SCADA. Любое оборудование, программируемое для применения коэффициента приведения отдельно к каждому входу, может преобразовывать почти все сигналы. Основной задачей является убедиться в том, что преобразователь способен выдать сигнал, соответствующий полному диапазону значений входа, т. е. он не будет насыщаться при наибольшем ожидаемом значении измеряемой величины.

3. ПРИМЕНЕНИЕ НЕЗАЩИТНЫХ ФУНКЦИЙ

3.1 Контроль ТН ("VTS" - "КЦИ ТН")

Функция контроля трансформатора напряжения (VTS) используется для обнаружения отказа входов напряжения переменного тока реле. Такой отказ может быть вызван внутренними замыканиями в трансформаторе напряжения, перегрузкой или замыканиями в проводке, соединяющей разные реле. Обычно, в результате таких ситуаций сгорает одна или несколько предохранительных плавких вставок ТН. Отказ входа напряжения переменного тока приведет к неправильному отображению фазных напряжений в энергосистеме, измеряемых реле, что приведет к неправильной работе оборудования.

Логика VTS в реле может обнаруживать пропадание напряжения и автоматически настраивать конфигурацию элементов защиты, чья устойчивость может стать сомнительной в противном случае. Также имеется выход аварийной сигнализации с задержкой по времени.

3.1.1 Настройка элемента контроля ТН

Уставка "VTS Status (КЦИ ТН:СТАТУС)" - "Blocking/Indication" ("Блокировка/индикация") определяет, какие операции должны производиться при обнаружении VTS.

- функция VTS настроена только на индикацию аварийных сигналов.
- дополнительная блокировка элементов защиты, зависящих от напряжения.
- дополнительное преобразование элементов направленной защиты по максимальному току в ненаправленную защиту (эта функция доступна только при нахождении в режиме блокировки). Эти уставки находятся в ячейках функциональных связей соответствующих колонок элемента защиты в меню.

Блокировка VTS будет зафиксирована по истечении задержки времени 'VTS Time Delay (КЦИ ТН: tCPAB.)', настраиваемой пользователем. Как только сигнал был зафиксирован, появляется возможность использовать два метода возврата в исходное положение. Первый метод - 'Manual' ("Ручной"), в нем используется интерфейс лицевой панели (или удаленная связь), если режим возврата в исходное положение VTS ('VTS Reset Mode (КЦИ ТН:РЕЖ.ВОЗВ)') установлен как "Ручной" ('Manual'). Вторым методом является автоматическим, когда режим возврата в исходное положение VTS ('VTS Reset Mode (КЦИ ТН:РЕЖ.ВОЗВ)') установлен как 'Auto', при условии, что условие VTS было снято, а 3 фазных напряжения были установлены на уровне, превышающем уставку обнаружения уровня фазы более чем на 240 мс.

Уставка максимального тока 'VTS I> Inhibit (КЦИ ТН: ЗАПР. I>)' используется для запрета функции контроля трансформатора напряжения при потере всех 3 фазных напряжений, вызванной коротким замыканием на 3 фазах в системе после включения выключателя для запитывания линии. Этот элемент должен быть настроен на значение, превышающее любые токи, не базирующиеся на КЗ на запитываемой линии (нагрузка, зарядный ток линии, бросок пускового тока трансформатора, если применимо), но это значение должно быть меньше уровня тока, вызванного 3-фазным КЗ.

Эта уставка максимального тока 'VTS I2> Inhibit (КЦИ ТН: ЗАПР. I2>)' используется для запрета функции контроля трансформатора в случае КЗ в системе при токе обратной последовательности, превышающем значение этой уставки.

Порог срабатывания по току обратной последовательности должен быть установлен на значение, превышающее ток обратной последовательности, вследствие максимальной нормальной несимметрии нагрузки в системе. Практически это можно выполнить на стадии наладки, используя измерительную функцию реле для отображения тока покоя обратной последовательности, и уставка должна составлять не менее 20% сверх этой цифры.

3.2 Контроль ТТ ("CTS" - "КЦИ ТТ")

Функция контроля трансформатора тока (CTS) используется для обнаружения отказа одного или более входов переменного тока реле. Отказ фазы ТТ или разомкнутый контур между несколькими реле может привести к неправильной работе любого элемента, срабатывающего по току. Кроме того, разрыв контура переменного тока может вызвать генерацию опасных напряжений во вторичной обмотке ТТ.

3.2.1 Настройка элемента контроля ТТ

Уставка остаточного напряжения "CTS1/2 Vn< Inhibit (КЦИ ТТ1/2:VN< ЗАПР)" и уставка остаточного тока "CTS1/2 In> set (КЦИ ТТ1/2: УСТ. I>)" должны задаваться во избежание нежелательного срабатывания при исправном состоянии системы.

Например, уставка "CTS1/2 Vn< Inhibit (КЦИ ТТ1/2:VN< ЗАПР)" должна быть задана как 120% максимального остаточного напряжения устойчивого состояния. Уставка "CTS1/2 In> set (КЦИ ТТ1/2: УСТ. I>)" обычно устанавливается на уровне ниже минимального тока нагрузки. Аварийный сигнал с задержкой по времени "CTS1/2 Time Delay (КЦИ ТТ1: t СРАБ.)" обычно устанавливается на значение 5 секунд.

Если величину остаточного напряжения при замыкании на землю предсказать невозможно, элемент можно отключить во избежание блокировки элементов защиты в условиях короткого замыкания.

3.3 Контроль положения выключателя

Периодическое техническое обслуживание выключателей необходимо для гарантии, что схема расцепляющего устройства и механизм работают правильно, и также, для того, чтобы отключающая способность не была снижена из-за предыдущих отключений коротких замыканий. Вообще, техническое обслуживание основано на установленном интервале времени, и установленном числе отключений токов коротких замыканий. Эти методы контроля положения выключателя определяют приблизительные сроки технического обслуживания выключателя.

3.3.1 Выбор уставок

3.3.1.1 Выбор уставки суммарного тока отключения

В случаях, где воздушная линия склонна к частым коротким замыканиям и защищена масляными выключателями, замена масла влияет на долговечность коммутационного устройства. Вообще, замена масла осуществляется через установленное число отключений коротких замыканий. Однако, это может привести к преждевременному техническому обслуживанию, когда токи КЗ невелики, и повреждение масла меньше, чем ожидается. Измерение суммарного тока отключения позволяет произвести более точную оценку положения выключателя.

Для масляных выключателей диэлектрическая способность масла уменьшается как функция $\sum I^2 t$, где I - ток отключения КЗ, и t - время горения дуги в пределах бака выключателя (но не время отключения). Поскольку время горения дуги не может быть определено точно, реле обычно настраивают на контроль суммы квадратов отключаемых токов с помощью уставки "Broken I² (ОТК. I²)" = 2.

Для других типов выключателей, особенно в системах высокого напряжения, очевидно, что значение "Broken I² (ОТК. I²)" = 2 неприемлемо. В таких случаях типично может быть установлено значение 1,4 или 1,5. В этом примере может понадобиться аварийный сигнал, свидетельствующий о необходимости тестирования давления высокого напряжения газо-вакуумного выключателя. Диапазон уставок "Broken I² (ОТК. I²)" составляет от 1,0 до 2,0 с шагом 0,1. Программа техобслуживания должна соответствовать заводским инструкциям на выключатель.

3.3.1.2 Уставка количества операций

Каждое срабатывание выключателя приводит к некоторой степени износа его компонентов. Таким образом, текущий ремонт может быть основан на количестве операций выключателя. Подходящая уставка покажет, когда нужно проводить профилактическое обслуживание. Если обслуживание не производится, реле можно настроить на блокировку функции автоматического повторного включения при достижении второго рабочего порогового значения. Это предотвратит дальнейшее повторное включение, если не проводилось техническое обслуживание выключателя по стандартам, указанным в документации производителя коммутационного оборудования.

Некоторые выключатели (например, масляные) могут произвести только несколько отключений короткого замыкания до профилактического ремонта, потому что каждое отключение короткого замыкания ухудшает диэлектрические свойства масла. Может быть задана уставка сигнализации необходимости техобслуживания "No CB Ops. Maint. (СИГН.К-ВО СРАБ В)" для осуществления выборки масла для испытания на диэлектрическую прочность или для более всестороннего технического обслуживания.

Также может быть задана уставка сигнализации "No CB Ops. Lock (БЛОК.К-ВО СРАБ В)" для блокировки функции автоматического повторного включения, если вы не можете гарантировать будущие отключения КЗ. При этом снизится опасность воспламенения масла или взрыва.

3.3.1.3 Уставка времени срабатывания.

Медленное срабатывание выключателя также является показателем необходимости обслуживания его механической части. Поэтому вводится сигнализация превышения уставки времени срабатывания выключателя (CB Time Maint./CB Time Lockout), которая принимается в диапазоне от 5 до 500 мс в соответствии с характеристикой выключателя.

3.3.1.4 Уставка пороговой частоты короткого замыкания

Выключатель может быть настроен так, чтобы прерывать ток короткого замыкания заданное количество раз перед тем как понадобится техническое обслуживание. Однако, последующие срабатывания выключателя через небольшой промежуток времени может вызвать необходимость проведения углубленного технического обслуживания. По этой причине возможно настроить счетчик частых срабатываний на реле, который позволит выполнить определенное число срабатываний "Fault Freq. Count (ЧИСЛО ОТКЛ.КЗ)" за определенный период "Fault Freq. Time (ПЕРИОД ОТКЛ.КЗ)". Можно также настроить отдельные пороговые значения аварийной сигнализации и блокировки.

3.4 Контроль контура отключения (TCS)

Контур отключения в большинстве схем защиты выходит за пределы корпуса реле и проходит через такие компоненты, как плавкие вставки, связи, контакты реле, переключатели собственных нужд и прочие контакты. Сложность этой организации и важность контура отключения вызвали разработку выделенных схем контроля. Несколько схем контроля контура отключения с различными функциями могут быть реализованы на базе реле серии P34x. Хотя специальных, выделенных уставок для TCS нет, в реле P34x можно создать описанные ниже схемы при помощи программируемой логики PSL. Пользовательская сигнализация используется в PSL для выдачи сообщения об аварийной ситуации на переднем дисплее реле. При необходимости пользовательская сигнализация может быть переименована при помощи текстового редактора меню, чтобы обеспечить индикацию наличия короткого замыкания в контуре отключения.

3.4.1 TCS - Схема 1

3.4.1.1 Описание схемы

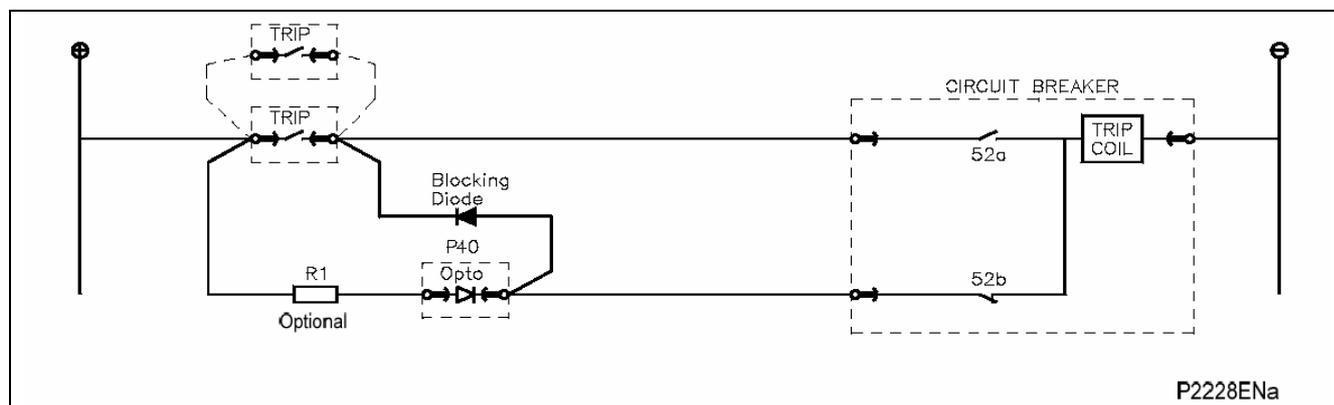


Рисунок 33: TCS - Схема 1

Надписи на рисунке: (trip=отключение, blocking diode = блок. диод, circuit breaker = выключатель, optional = дополнительно, opto = опто, trip coil = катушка отключения)

Эта схема обеспечивает контроль катушки отключения при выключателе, находящемся в отключенном или включенном состоянии, однако, контроль состояния перед замыканием выключателя не обеспечивается. Эта схема также несовместима с зафиксированными контактами отключения, поскольку зафиксированный контакт закортит опто-контакт при уставке таймера, превышающей рекомендуемую уставку DDO, равную 400 мс. Если необходим контроль положения выключателя, необходимо использовать дополнительно 1 или 2 опто-входа.

Примечание: Вспомогательный контакт выключателя "52a" отслеживает положение выключателя, а контакт "52b" является противоположным.

Когда выключатель находится во включенном положении, ток цепи контроля проходит через опто-вход, блокировочный диод и катушку отключения. Когда выключатель находится в разомкнутом положении, ток по-прежнему проходит через опто-вход и катушку отключения по вспомогательному контакту 52b.

Таким образом, не обеспечивается контроль пути отключения, пока выключатель находится в разомкнутом положении. Любое короткое замыкание на пути отключения будет обнаружено только при включении выключателя, с задержкой в 400 мс. Резистор R1 является дополнительным резистором, который можно установить в целях предотвращения неправильной работы выключателя, если опто-вход был непреднамеренно закорочен, ограничивая ток значением < 60 мА. Резистор не должен устанавливаться для напряжения собственных нужд в диапазоне 30/34 В или менее, поскольку нельзя будет гарантировать удовлетворительную работу. В таблице ниже показаны необходимые значения резистора и уставки напряжения (меню "OPTO CONFIG (КОНФ. ОПТОВХ.)") для этой схемы.

Эта схема TCS будет функционировать правильно даже без резистора R1, поскольку опто-вход автоматически ограничивает ток контроля до значения ниже 10 мА. Однако, если опто-вход случайно закоротить, выключатель может сработать на отключение.

Напряжение собственных нужд (Vx)	Резистор R1 (Ом)	Уставка напряжения на опто-входе при установленном резисторе R1
24/27	-	-
30/34	-	-
48/54	1,2 к	24/27
110/250	2,5 к	48/54
220/250	5,0 к	110/125

Примечание: Если R1 не установлен, уставка напряжения на опто-входе должна быть задана как равная напряжению питания контура контроля.

3.4.2 PSL для схемы 1

На рисунке 34 показана логическая схема для TCS - схемы 1. Любой доступный опто-вход может быть использован для индикации исправного или неисправного состояния контура отключения. Задержка на таймере отпущения срабатывает, как только запитывается опто-вход, но пройдет 400 мс, прежде чем реле отпустится или вернется в исходное положение, при сбое в контуре отключения. Задержка 400 мс предотвращает "ложную тревогу" вследствие падений напряжения, вызванных короткими замыканиями в других контурах, или при обычном отключении, когда опто-вход закорачивается самовозвратным контактом отключения. При работе таймера НЗ-реле (нормально замкнутое выходное реле) размыкается, а светодиоды и аварийные сигналы пользователя возвращаются в исходное положение.

Задержка 50 мс на таймере срабатывания предотвращает неоправданную индикацию светодиодов и аварийных сигналов пользователя в течение включения питания реле, которое следует за перебоем в подаче питания собственных нужд.

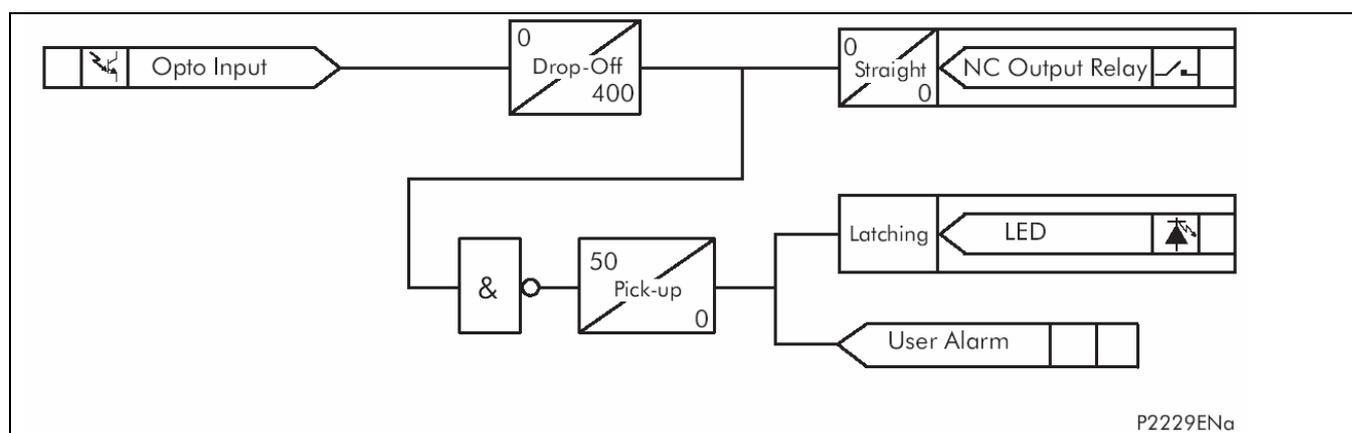


Рисунок 34: PSL для TCS - схем 1 и 3

Надписи на рисунке:

(opto input = опто-вход, drop-off = отпущение, straight = прямо, latching = фиксация, pick-up = срабатывание, user alarm = аварийная сигнализация пользователя, NC output relay = нормально замкнутое выходное реле, LED = светодиод)

3.4.3 TCS - Схема 2

3.4.3.1 Описание схемы

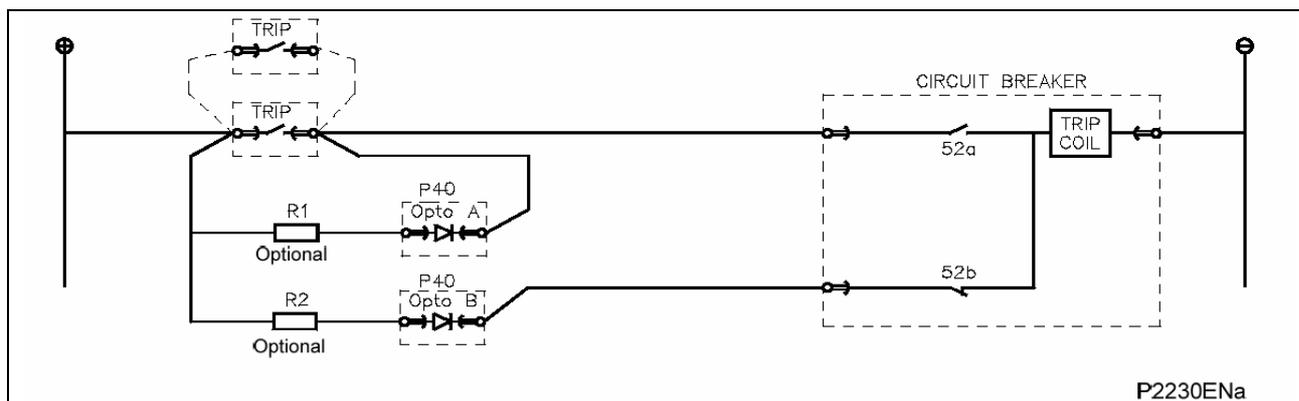


Рисунок 35: TCS - схема 2

Надписи на рисунке: (trip = отключение, blocking diode = блок. диод, circuit breaker = выключатель, optional = дополнительно, opto = опто, trip coil = катушка отключения)

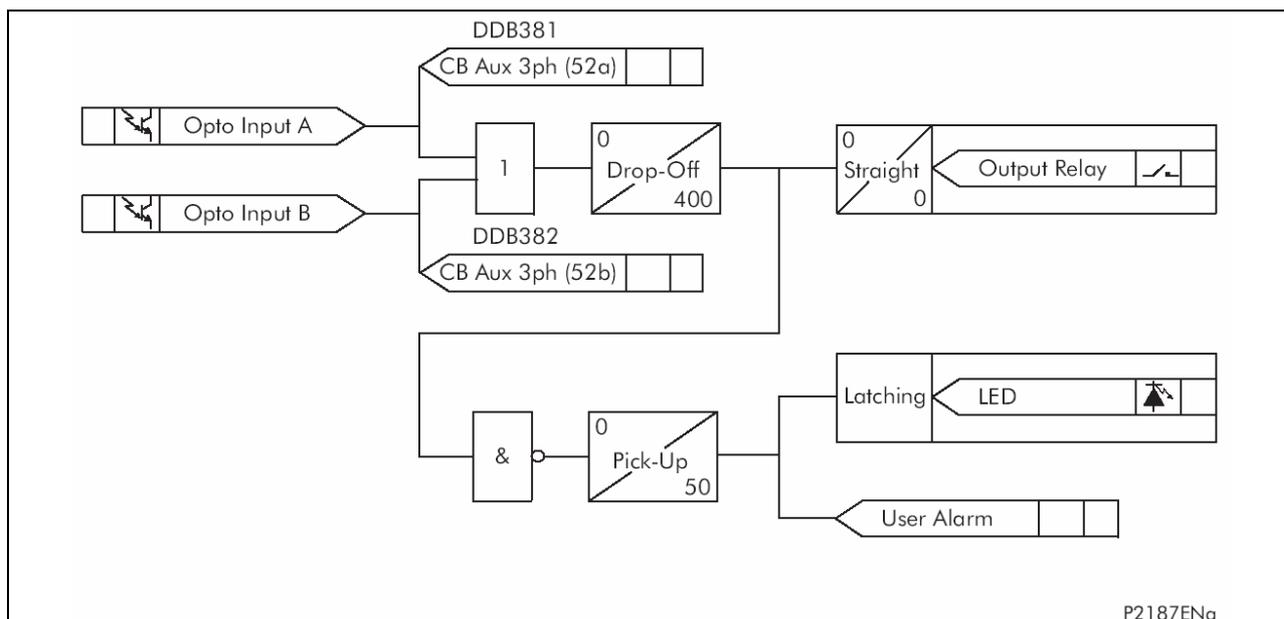
Во многом похожая на схему 1, эта схема обеспечивает контроль катушки отключения при выключателе, находящемся в отключенном или включенном состоянии, и не обеспечивает контроль состояния перед замыканием выключателя. Однако, при использовании двух опто-входов, реле корректно контролирует положение выключателя, поскольку опто-входы соединены последовательно со вспомогательными контактами выключателя. Это достигается путем назначения Опто А на контакт 52а и Опто В на контакт 52b. Если параметр "Circuit Breaker Status" ("Положение выключателя") установлен как "52а и 52b" (колонка "CB CONTROL (УПРАВЛЕНИЕ В)"), а опто-входы А и В подключены к "CB Aux 3ph (52а) (3Ф.НО Б/К (52А)) (DDB 611)" и "CB Aux 3ph (52b) (3Ф.НЗ Б/К (52В)) (DDB 612)", то реле будет корректно контролировать положение выключателя. Эта схема также полностью совместима с зафиксированными контактами, поскольку ток контроля будет поддерживаться по контакту 52b, когда контакт отключения замкнется.

Когда выключатель находится во включенном положении, ток цепи контроля проходит через опто-вход А и катушку отключения. Когда выключатель находится в разомкнутом положении, ток проходит через опто-вход В и катушку отключения. Как и в схеме 1, не обеспечивается контроль пути отключения, пока выключатель находится в разомкнутом положении. Любое короткое замыкание на пути отключения будет обнаружено только при включении выключателя, с задержкой в 400 мс.

Как и в схеме 1, можно добавить дополнительные резисторы R1 и R2 в целях предотвращения отключения выключателя при закорачивании любого из опто-входов. Значения резисторов R1 и R2 одинаковы, их можно задать равными R1 в схеме 1.

3.4.4 PSL для схемы 2

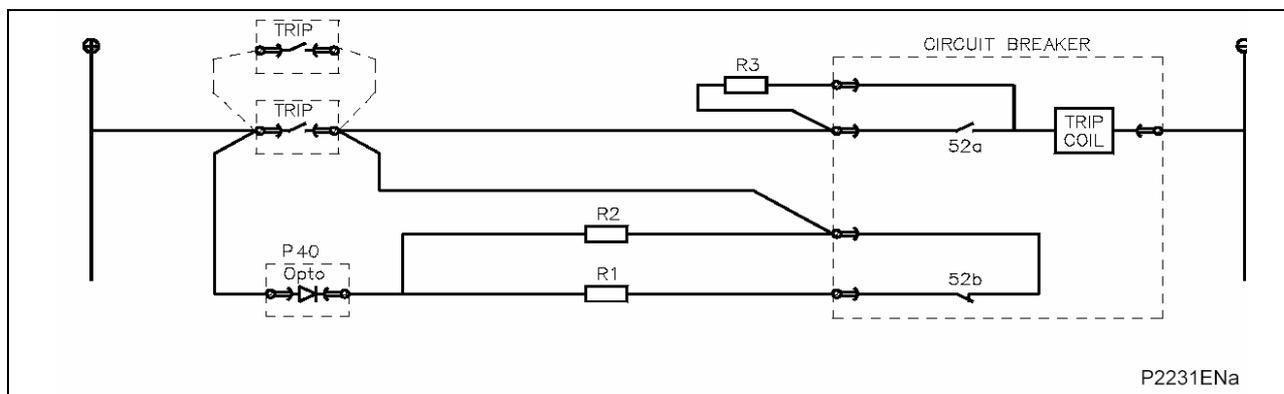
PSL для этой схемы (Рисунок 36) практически не отличается от PSL схемы 1. Основное отличие - оба опто-входа должны быть выключены перед тем как будет подан аварийный сигнал о неисправности в контуре отключения.

**Рисунок 36: PSL для TCS - схемы 2**Надписи на рисунке:

(opto input = опто-вход, drop-off = отпускание, straight = прямо, latching = фиксация, pick-up = срабатывание, user alarm = аварийная сигнализация пользователя, output relay = нормально замкнутое выходное реле, LED = светодиод, CB Aux 3ph = соб. нужд. выключатель 3 фазы)

3.4.5 TCS - Схема 3

3.4.5.1 Описание схемы

**Рисунок 37: TCS - схема 2**Надписи на рисунке:

(trip = отключение, blocking diode = блок. диод, circuit breaker = выключатель, optional = дополнительно, opto = опто, trip coil = катушка отключения)

Схема 3 обеспечивает контроль катушки отключения при выключателе, находящемся в отключенном или включенном состоянии, но, в отличие от схем 1 и 2, она обеспечивает и контроль состояния перед замыканием выключателя. Поскольку используется только один опто-вход, эта не совместима с зафиксированными контактами отключения. Если необходим контроль положения выключателя, то нужно использовать еще 1 или 2 опто-входа. Когда выключатель находится во включенном положении, ток цепи контроля проходит через опто-вход, резисторы R1 и R2 и катушку отключения. Когда выключатель находится в разомкнутом положении, ток проходит через опто-вход, резисторы R1 и R2 (соединенные параллельно), резистор R3 и катушку отключения. В отличие от схем 1 и 2, ток контроля поддерживается на пути отключения при выключателе, находящемся в любом из положений, и, таким образом, обеспечивается контроль перед замыканием выключателя.

Как и в схемах 1 и 2, резисторы R1 и R2 не используются для предотвращения фальшивого отключения, если был случайно замкнут опто-вход. Однако, в отличие от двух других схем, эта схема зависит от положения и параметра этих резисторов. Их удаление приведет к неполному контролю контура отключения. В таблице ниже показаны параметры резистора и уставки напряжения, необходимые для удовлетворительной работы.

Напряжение собственных нужд (Vx)	Резистор R1 и R2 (Ом)	Резистор R3 (Ом)	Уставка напряжения на опто-входе
24/27	-	-	-
30/34	-	-	-
48/54	1,2 к	0,6 к	24/27
110/250	2,5 к	1,2 к	48/54
220/250	5,0 к	2,5 к	110/125

Примечание: Схема 3 несовместима с напряжениями питания собственных нужд 30/34 В, см. ниже.

3.4.6 PSL для схемы 3

PSL для схемы 3 идентична схеме 1 (см. Рисунок 34).

3.5 Соединения ТН

3.5.1 Схема соединения трансформаторов напряжения открытым треугольником (V-образное соединение)

Реле P342/3/4/5 могут использоваться с V-образно соединенными ТН, при этом вторичные обмотки ТН подключаются к входным контактам C19, C20 и C21, а контакт C22 остается неподключенным (см. Рисунки 2 и 18 в документе P34x/EN CO).

Этот тип организации ТН не может передать напряжение нулевой последовательности (остаточное) на реле или создать какие-либо напряжения фаза-нейтраль. Поэтому, любая защита, зависящая от измерения напряжения нулевой последовательности, должна быть отключена, за исключением случая, когда можно выполнить прямое измерение по входу измеряемого напряжения VN1 (C23 - C24). Таким образом, защита напряжения смещения нейтралей, чувствительная направленная защита от КЗ на землю и контроль ТТ должны быть отключены, если остаточное напряжение не измеряется напрямую со вторичной обмотки заземляющего трансформатора или с обмоткой ТН, соединенной разомкнутым треугольником, на ТН с пятью сердечниками.

Защиты минимального и максимального напряжений могут быть настроены на измерение фаза-фаза при V-образно соединенных ТН. Защиты минимального сопротивления и максимального тока, зависящего от напряжения, в любом случае используют напряжения фаза-фаза, поэтому точность не должна пострадать. Функции защиты, использующие напряжение фаза-нейтраль, следующие: защита мощности, от потери возбуждения и от асинхронного хода. Все они предназначены для обнаружения аномальной работы генератора в синхронных 3-фазных условиях, поэтому 'нейтральная' точка, хотя и 'плавающая', будет находиться приблизительно в центре векторов 3-фазных напряжений.

Точность измерения 1-фазного напряжения может пострадать при использовании соединенных V-образно ТН. Реле пытается получить напряжения фаза-нейтраль из векторов напряжения фаза-фаза. Если импедансы входов напряжения идеально совпадают, то измерения напряжения фаза-нейтраль будут правильными, при условии, что векторы напряжения фаза-фаза были сбалансированы. Однако, на практике имеются небольшие различия в импедансах входов напряжения, что может вызвать небольшие погрешности при измерениях напряжения фаза-нейтраль. Это может вызвать подъем фиксируемого остаточного напряжения. Эта проблема также распространяется на измерения однофазной мощности и импеданса, которые также зависят от соответствующих однофазных напряжений.

Точность измерения напряжения фаза-нейтраль может быть повышена путем подключения трех хорошо совмещенных резисторов нагрузки между входами фазных напряжений (C19, C20, C21) и нейтралью C22, при котором создается 'виртуальная' нейтральная точка. Значения резисторов нагрузки должны быть выбраны так, чтобы их потребление мощности было в пределах ТН. Рекомендуется использовать резисторы 10 кОм $\pm 1\%$ (6 Вт) для реле с номиналом 110 В (Vn), при условии, что ТН может обеспечить эту нагрузку.

3.5.2 Заземление ТН в одной точке

Реле P34x будут функционировать корректно с обычными 3-фазными ТН, заземленными в любой одной точке на вторичном контуре ТН. Типичные примеры заземления - заземление нейтралей и "желтой" фазы.

4. ТРЕБОВАНИЯ К ТРАНСФОРМАТОРУ ТОКА

Технические требования к каждому входу трансформатора тока зависят от применяемой защиты и от способа разветвления вторичной цепи на различные токовые входы. При разветвлении порог по напряжению должен определяться для каждого входа, а затем должно использоваться максимальное из вычисленных значений.

Реле P342/3/4/5 могут обеспечивать все функции защиты в широком диапазоне эксплуатационной частоты благодаря их системе отслеживания частоты (5 - 70 Гц).

Если необходимо, чтобы функции защиты P342/3/4/5 действовали с точностью при низкой частоте, понадобится использование ТТ с крупными сердечниками. В действительности, параметры ТТ должны быть умножены на f_n/f , где f - это минимально необходимая эксплуатационная частота, а f_n - номинальная эксплуатационная частота.

4.1 Функция дифференциальной защиты генератора

4.1.1 Дифференциальная защита по методу торможения

Порог ТТ по напряжению для токовых входов при использовании данной защиты при заданных уставках $I_s = 0,05 I_n$, $k_1 = 0\%$, $I_{s2} = 1,2 I_n$, $k_2 = 150\%$, при предельном сквозном токе $K_3 \leq 10 I_n$ равен:

$$V_k \geq 50 I_n (R_{ct} + 2R_L + R_r) \text{ при минимальном значении } \frac{60}{I_n} \text{ для } X/R < 120 \text{ If } < 10 I_n$$

$$V_k \geq 30 I_n (R_{ct} + 2R_L + R_r) \text{ при минимальном значении } \frac{60}{I_n} \text{ для } X/R < 40 \text{ If } < 10 I_n$$

Если генератор заземлен по импедансу, а максимальный ток короткого замыкания на землю во вторичной обмотке меньше I_n , то требования к порогу ТТ по напряжению таковы:

$$V_k \geq 25 I_n (R_{ct} + R_L + R_r) \text{ при минимальном значении } \frac{60}{I_n} \text{ для } X/R < 60 \text{ If } < 10 I_n$$

$$V_k \geq 30 I_n (R_{ct} + R_L + R_r) \text{ при минимальном значении } \frac{60}{I_n} \text{ для } X/R < 100 \text{ If } < 10 I_n, X/R < 120 \text{ If } < 5 I_n$$

$$V_k \geq 40 I_n (R_{ct} + R_L + R_r) \text{ при минимальном значении } \frac{60}{I_n} \text{ для } X/R < 120 \text{ If } < 10 I_n$$

Где:

V_k = минимальный порог ТТ по напряжению для устойчивости при сквозном КЗ

I_n = номинальный ток реле.

R_{ct} = активное сопротивление вторичной обмотки ТТ (Ом).

R_L = активное сопротивление одного провода, протянутого от реле к ТТ (Ом).

R_r = активное сопротивление других реле, связанных с этим же ТТ (Ом).

If = предельный сквозной ток КЗ

Для ТТ класса X ток возбуждения с учетом вычисленного порогового напряжения должен быть меньше $2,5 I_n$. (<5% максимального перспективного тока КЗ $50 I_n$, на котором основаны данные требования к ТТ). По стандарту IEC класс точности ТТ для работы защит должен быть равен 5P.

4.1.2 Дифференциальная защита по методу большого полного сопротивления

При использовании данной защиты возникают следующие требования к ТТ:

$$R_s = [1.5 * (I_f) * (R_{ct} + 2R_L)] / I_{s1}$$

$$V_k \geq 2 * I_{s1} * R_s$$

Где:

R_s – сопротивление стабилизационного резистора (Ом).

I_f – максимальный сквозной ток КЗ (А).

V_k – пороговое напряжение ТТ (В).

I_{s1} – токовая уставка защиты от замыканий на землю (А).

R_{ct} – активное сопротивление вторичной обмотки ТТ (Ом).

R_L – активное сопротивление одного провода, протянутого от реле к ТТ (Ом).

4.2 Защита максимального тока, зависящего от напряжения, потери возбуждения, тепловой перегрузки, асинхронного хода, минимального сопротивления и защита обратной последовательности

При использовании ТТ для работы нескольких защит необходимо проводить расчет для наиболее тяжелого режима работы. Приведенная ниже формула учитывает это требование. Формула одинаково применима с ТТ, установленным на нейтрали или выводах генератора.

$$V_k \geq 20I_n (R_{ct} + 2R_L + R_r)$$

Где:

V_k = минимальный порог ТТ по напряжению для устойчивости при сквозном КЗ

I_n = номинальный ток реле.

R_{ct} = активное сопротивление вторичной обмотки ТТ (Ом).

R_L = активное сопротивление одного провода, протянутого от реле к ТТ (Ом).

R_r = активное сопротивление других реле, связанных с этим же ТТ (Ом).

I_f = предельный сквозной ток КЗ

Для ТТ класса X ток возбуждения с учетом вычисленного порогового напряжения должен быть меньше 1,0 I_n . По стандарту МЭК класс точности ТТ для работы защит должен быть равен 5P.

4.3 Вход остаточного тока чувствительной направленной защиты от замыканий на землю

4.3.1 Линейные ТТ

Как уже было упомянуто в разделе 2.16, чувствительная направленная защита от замыканий на землю имеет три входа линейных ТТ с остаточным подключением.

Применение данной защиты предполагается только в том случае, если ток замыкания на землю статора не превышает номинальный ток обмотки статора. Также максимальное отношение X/R для импеданса при замыкании на землю в шине не должно быть больше 10. Требуемый минимальный порог ТТ по напряжению определяется по формуле:

$$V_k \geq 6 I_n (R_{ct} + 2R_L + R_r)$$

Где:

V_k = минимальный порог ТТ по напряжению для устойчивости при сквозном КЗ

I_n = номинальный ток реле.

R_{ct} = активное сопротивление вторичной обмотки ТТ (Ом).

R_L = активное сопротивление одного провода, протянутого от реле к ТТ (Ом).

R_r = активное сопротивление других реле, связанных с этим же ТТ (Ом).

Для ТТ класса X ток возбуждения с учетом вычисленного порогового напряжения должен быть меньше 0,3 I_n . (<5% максимального перспективного тока КЗ 20 I_n , на котором основаны данные требования к ТТ). По стандарту МЭК класс точности ТТ для работы защит должен быть равен 5P.

4.3.2 ТТ нулевой последовательности

В отличие от линейного ТТ, номинальный первичный ток для ТТ нулевой последовательности не должен равняться номинальному току обмотки статора, что учитывается следующей формулой:

$$V_k > 6 N I_n (R_{ct} + 2R_L + R_r)$$

Где:

V_k = минимальный порог ТТ по напряжению для устойчивости при сквозном КЗ

$$N = \frac{\text{Ток короткого замыкания на землю статора}}{\text{Номинальный первичный ток ТТ нулевой последовательности}}$$

I_n = номинальный ток реле.

R_{ct} = активное сопротивление вторичной обмотки ТТ (Ом).

R_L = активное сопротивление одного провода, протянутого от реле к ТТ (Ом).

R_r = активное сопротивление других реле, связанных с этим же ТТ (Ом).

Примечание: величина N не должна быть больше двух. ТТ нулевой последовательности должен выбираться в соответствии с этим требованием.

4.4 Защита статора от замыканий на землю

Вход тока I_n короткого замыкания на землю используется функцией защиты статора от замыканий на землю.

4.4.1 Ненаправленная защита от короткого замыкания на землю с независимой выдержкой времени/IDMT

Требования к ТТ для элементов защиты от максимального тока при замыкании на землю с задержкой времени

$$V_k \geq I_{cn}/2 * (R_{ct} + 2R_L + R_m)$$

4.4.2 Ненаправленная мгновенная защита от замыкания на землю

Требования к ТТ для элементов мгновенной защиты от максимального тока при замыкании на землю

$$V_k \geq I_{sn} (R_{ct} + 2R_L + R_m)$$

Где:

V_k = необходимый порог ТТ по напряжению (В)

I_{sn} = максимальный ожидаемый ток замыкания на землю во вторичной обмотке или умноженная на 31 уставка $I >$
(берется наименьшее из этих значений) (А)

I_{sn} = Уставка короткого замыкания (А)

R_{ct} = активное сопротивление вторичной обмотки ТТ (Ом).

R_L = активное сопротивление одного провода, протянутого от реле к ТТ (Ом).

R_m = полное сопротивление входа тока нейтрали реле в точке I_n (Ом)

4.5 Ограниченная защита от замыканий на землю

4.5.1 Малое полное сопротивление

$$V_k \geq 24 * I_n * (R_{ct} + 2R_L) \text{ для } X/R < 40 \text{ и } I_f < 15 I_n$$

$$V_k \geq 48 * I_n * (R_{ct} + 2R_L) \text{ для } X/R < 40, 15 I_n < I_f < 40 I_n$$

$$\text{и } 40 < X/R < 120, I_f < 15 I_n$$

Где:

$$V_k = \frac{VA * ALF}{I_n} + ALF * I_n * R_{ct}$$

V_k = необходимый порог ТТ по напряжению (В)

I_n = номинальный вторичный ток реле (А).

R_{ct} = активное сопротивление вторичной обмотки ТТ (Ом).

R_L = активное сопротивление одного провода, протянутого от реле к ТТ (Ом)

I_f = максимальный сквозной ток КЗ (А).

4.5.2 Большое полное сопротивление

Ограниченная защита от замыканий на землю с использованием большого полного сопротивления должна обеспечивать срабатывание менее чем за 40 мс при внутренних КЗ. Ниже приведены номинальные параметры вспомогательного стабилизирующего резистора:

$$R_s = (I_f) * (R_{ct} + 2R_L) / I_{s1}$$

$$V_k \geq 4 * I_{s1} * R_s$$

Где:

R_s = сопротивление стабилизирующего резистора (Ом).

I_f = максимальный сквозной ток КЗ (А).

V_k = порог ТТ по напряжению (В).

I_{s1} = токовая уставка ограниченной защиты от замыканий на землю.

R_{ct} = активное сопротивление вторичной обмотки ТТ (Ом).

R_L = активное сопротивление одного провода, протянутого от реле к ТТ (Ом).

4.6 Защита обратной и малой мощности

Для защиты обратной и малой мощности и при величине уставки по напряжению, превышающей 3% R_n , исключается неточность в определении угла сдвига фазы, следовательно исключается возможность ложного срабатывания защиты. Однако, для чувствительной защиты мощности, если используются уставки менее 3%, рекомендуется запитывать токовый вход правильно нагруженным ТТ измерительного класса.

4.6.1 Класс защиты ТТ

При использовании менее чувствительной величины уставки по напряжению, превышающей 3% R_n , вход фазового тока P34x должен запитываться правильно нагруженным ТТ класса защиты 5P.

Для нормальной работы ТТ необходимо, чтобы его номинальная нагрузка соответствовала номинальной нагрузке (при номинальном токе) внешних вторичных токовых цепей.

4.6.2 ТТ измерительного класса

При использовании более чувствительной величины уставки по напряжению (менее 3% P_n) чувствительный токовый вход I_n реле P34x должен запитываться правильно нагруженным ТТ измерительного класса. Класс точности ТТ будет зависеть от необходимой чувствительности по обратной мощности и малой передней мощности.

В таблице ниже указаны классы измерительных ТТ, необходимые для различных уставок мощности ниже 3% P_n.

Для нормальной работы ТТ необходимо, чтобы его номинальная нагрузка соответствовала номинальной нагрузке (при номинальном токе) внешних вторичных токовых цепей. Использование функции компенсации сдвига фаз чувствительной защиты мощности P34x поможет в этой ситуации.

Уставки защиты обратной и малой передней мощности % P _n	Класс измерительного ТТ
0.5	1.0
0.6	
0.8	0.2
0.1	
1.2	
1.4	
1.6	0.5
1.8	
2.0	
2.2	
2.4	
2.6	
2.8	1.0
3.0	

Требования к ТТ чувствительной защиты мощности

4.7 20-Гц входы 100% защиты статора от КЗ на землю

4.7.1 Линейные трансформаторы тока

4.7.1.1 Генератор, заземленный через первичный резистор в нейтральной точке звезды генератора

Предполагалось, что функция 100% защиты статора от КЗ на землю будет применяться только тогда, когда ток короткого замыкания на землю статора ограничен значением номинального тока <2х или менее, поскольку линейный диапазон чувствительного токового входа составляет 2 I_n. Минимальный порог ТТ по напряжению:

$$V_k \geq f_n/20 \times 2 I_n (R_{ct} + 2R_L + R_r)$$

Где:

V_k = минимальный порог ТТ по напряжению для устойчивости при сквозном КЗ

I_n = номинальный ток реле

R_{ct} = активное сопротивление вторичной обмотки ТТ (Ом)

R_L = активное сопротивление одного провода, протянутого от реле к ТТ (Ом).

R_r = активное сопротивление других реле, связанных с этим же ТТ (Ом).

f_n = базовая эксплуатационная частота 50 или 60 Гц (f_n/20 для эксплуатации при 20 Гц)

Для ТТ класса X ток возбуждения с учетом вычисленного порогового напряжения должен быть меньше $0,1 I_n$. (<5% максимального перспективного тока КЗ $2 I_n$, на котором основаны данные требования к ТТ). По стандарту МЭК класс точности ТТ для работы защит должен быть равен 5P, ТТ типа 15VA 5P10 адекватно подходит для большинства типов применения.

4.7.1.2 Генератор, заземленный через заземляющий трансформатор и вторичный резистор на выводах или нейтральной точке звезды генератора

Для данного типа применения можно заказать ТТ 400/5A, $V_k = 720$ В (50/60 Гц)

4.7.2 Заземляющие трансформаторы

Чтобы предотвратить слишком маленькое сопротивление вторичной нагрузки (оно должно быть $> 0,5$ Ом, где это возможно), необходимо выбрать высокое напряжение вторичной обмотки, например, 500 В, для нейтрали или заземляющего трансформатора.

Очень важно, чтобы заземляющий трансформатор никогда не становился насыщенным, в противном случае может возникнуть феррорезонанс. Достаточно, чтобы порог напряжения трансформатора был равен номинальному линейному напряжению генератора V_n .

4.7.2.1 Генератор, заземленный через первичный резистор в нейтральной точке звезды генератора

Номинальные параметры трансформатора напряжения: $V_n/\sqrt{3} / 500$ В, 3000 ВА (для 20 с) класс 0.5
(ненасыщ. до $V_{n, \text{Генератор}}$)

V_n = номинальное линейное напряжение генератора (фаза-фаза)

4.7.2.2 Генератор, заземленный через заземляющий трансформатор и вторичный резистор на выводах генератора

Номинальные данные трансформатора напряжения: $V_n/\sqrt{3} / 500/3$ В (ненасыщ. до $V_{n, \text{Генератор}}$)

ВА-параметр трансформатора для 20 с на фазу = $1,3 \times 1/3 \times I_f \times V_n \times \sqrt{3} \times \sqrt{10}/\sqrt{20}$ для трех однофазных трансформаторов.

I_f = первичный ток короткого замыкания

1,3 - коэффициент максимального напряжения от форсировки поля.

$\sqrt{10}/\sqrt{20}$ увеличивает параметр с 10 до 20 с.

Для 3-фазного трансформатора номинал ВА в 3 раза больше.

4.7.2.3 Генератор, заземленный через заземляющий трансформатор и вторичный резистор в нейтральной точке звезды генератора

Номинальные параметры трансформатора напряжения: $V_n/\sqrt{3} / 500$ В
(ненасыщ. до $V_{n, \text{Генератор}}$)

ВА-параметр трансформатора для 20 с на фазу = $1,3 \times I_f \times V_n \times \sqrt{3} \times \sqrt{10}/\sqrt{20}$

1,3 - коэффициент максимального напряжения от форсировки поля.

$\sqrt{10}/\sqrt{20}$ увеличивает параметр с 10 до 20 с

4.8 Конвертация классификации стандартной защиты трансформатора тока по МЭК185 в порог по напряжению

Вы можете проверить, подходит ли ТТ со стандартной защитой по МЭК к требованиям, предъявляемым к порогу по напряжению, описанным выше.

Если, например, имеющиеся трансформаторы тока имеют тип "15 VA 5P 10", то порог по напряжению можно определить так:

$$V_k = \frac{VA \times ALF}{I_n} + ALF \times I_n \times R_{ct}$$

Где:

V_k = необходимый порог напряжения, VA = номинальная нагрузка трансформатора (ВА)

ALF = коэффициент ограничения точности

I_n = номинальный ток вторичной обмотки ТТ (А)

R_{ct} = сопротивление вторичной обмотки ТТ (Ом)

Если R_{ct} не доступно, то второй компонент в указанном выше уравнении можно игнорировать.

Пример: 400/5 А, 15 VA 5P 10, $R_{ct} = 0,2$ Ом

$$V_k = \frac{15 \times 10}{5} + 10 \times 5 \times 0.2$$

$$= 40 \text{ В}$$

4.9 Конвертация классификации стандартной защиты трансформатора тока по МЭК185 в номинальный параметр по стандарту ANSI/IEEE

Защиты MiCOM Pх40 совместимы с ТТ стандарта ANSI/IEEE, указанным в документе IEEE C57.13. Применяемый класс защиты - это класс "С", который обозначает сердечник без воздушного зазора. Конструкция ТТ является идентичной классу Р по МЭК, или классу Х по британскому стандарту, но номинальные параметры определяются по-другому.

Необходимое стандартное номинальное напряжение класса "С" по ANSI/IEEE будет ниже порогового напряжения по МЭК. Это обусловлено тем, что номинальное напряжение по ANSI/IEEE определяется в рамках полезного выходного напряжения на выводах ТТ, а пороговое напряжение по МЭК включает в себя падение напряжения по внутреннему сопротивлению вторичной обмотки ТТ, добавленное к полезному выходному значению. Порог МЭК/BS обычно на 5% выше порога ANSI/IEEE.

Отсюда:

$$V_c = [V_k - \text{внутреннее падение напряжения}] / 1,05$$

$$= [V_k - (I_n \cdot R_{CT} \cdot ALF)] / 1,05$$

Где:

V_c = стандартное номинальное напряжение класса "С"

V_k = необходимый порог по напряжению по МЭК

I_n = номинальный ток ТТ = 5 А в США

R_{CT} = сопротивление вторичной обмотки ТТ

(для ТТ 5 А типичное сопротивление составляет 0,002 Ом/виток вторичной обмотки)

ALF = коэффициент ограничения точности ТТ, номинальный динамический выходной сигнал тока ТТ класса "С" (K_{ssc}) всегда равен $20 \times I_n$

Коэффициент ограничения точности по МЭК аналогичен 20-кратному номинальному вторичному току по ANSI/IEEE.

Отсюда:

$$V_c = [V_k - (100 \cdot R_{CT})] / 1,05$$

5. ПАРАМЕТРЫ ПЛАВКОЙ ВСТАВКИ В ЦЕПЯХ ПИТАНИЯ СОБСТВЕННЫХ НУЖД

В разделе "Безопасность" данного руководства приведены максимально допустимые номинальные параметры плавких вставок 16 А. Чтобы обеспечить ступенчатую выдержку времени для плавких вставок выше по схеме, предпочтительно использовать более низкое номинальное значение тока. Рекомендуется использовать стандартные значения от 6 А до 16 А. Приемлемо использовать плавкие вставки низкого напряжения, не менее 250 В, согласно типу gG по МЭК60269-2, с высокой отключающей способностью. При этом будут обеспечены характеристики, эквивалентные предохранителям типа HRC "red spot" NIT/TIA.

В таблице ниже указаны рекомендуемые граничные параметры реле, подключенных на одно ответвление с предохранителями. Эти параметры применимы к устройствам MiCOM Rx40 с обозначением исполнения "С" и выше, поскольку эти устройства имеют ограничения пускового тока при включении, чтобы обеспечить консервацию плавкой вставки.

Максимальное количество реле MiCOM Rx40, рекомендуемое для одной плавкой вставки				
Номинальное напряжение батареи	Плавкая вставка 6 А	Плавкая вставка 10 А	Плавкая вставка 15 или 16 А	Плавкая вставка > 16 А
24 - 54 В	2	4	6	Не допускается
60 - 125 В	4	8	12	Не допускается
138 - 250 В	6	10	16	Не допускается

В качестве альтернативного варианта можно использовать миниатюрные выключатели ("МСВ") для защиты цепей питания собственных нужд.