



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Кафедра «Интеллектуальные электрические сети»

Методические указания
к практическим занятиям
по дисциплине

**«Проектирование релейной защиты
и автоматики»**

**Часть 3. Релейная защита силового
электрооборудования**

Автор
Шелест В. А.

Ростов-на-Дону, 2021

Аннотация

Методические указания предназначены для подготовки бакалавров всех форм обучения направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (профиль «Энергетические системы и сети»). Методика по проектированию релейной защиты и автоматики изложена в трех частях: «Моделирование токов коротких замыканий», «Релейная защита линий электропередач» и «Релейная защита силового электрооборудования».

Автор

к.т.н., доцент кафедры «ИЭС» Шелест В.А.





Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ.....	5
Практическое занятие № 1	6
Защита от замыканий на землю в обмотке статора генератора	6
Практическое занятие № 2	10
Продольная дифференциальная токовая защита трансформаторов	10
Практическое занятие № 3	18
Максимальная токовая защита обратной последовательности с независимыми выдержками времени	18
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	23

ВВЕДЕНИЕ

В настоящих указаниях рассматривается проектирование релейных защит для силового электрооборудования от различных видов коротких замыканий.

Для проверки работоспособности релейных защит с рассчитанными уставками предлагается использовать компьютерное моделирование. Программа MULTISIM более универсальная. Поэтому и было отдано предпочтение моделирующей программе MULTISIM.

В первом практическом занятии достаточно подробно изложены методы расчета уставок защиты от замыканий на корпус в обмотке статора генератора. Для проверки работоспособности защиты от замыканий на корпус в обмотке статора применяется моделирующая программа Multisim.

Во втором практическом занятии рассчитывается продольные дифференциальные защиты на реле РНТ и ДЗТ. Основные выводы по результатам расчетов делаются в соответствии с полученными коэффициентами чувствительности. Для проверки работы защиты используется программа Multisim.

В третьем практическом занятии выполняется проектирование МТЗ обратной последовательности с независимыми выдержками времени. По аналогии с предыдущими практическими занятиями для проверки работы защиты используется программа Multisim.

Успешному выполнению заданий по практическим занятиям способствуют умение использовать компьютерные технологии и знание основ электротехники.

Применение моделирующей программы MULTISIM позволяет сократить время, затрачиваемой на исследование работы релейной защиты, и ускорить проектирование релейной защиты и автоматики.

Темы практических занятий соответствуют рабочей программе изучаемой дисциплины.

Методика проведения практических занятий содержит элементы научных исследований.

В методических указаниях обозначается цель выполняемой работы, даются общие сведения по теме практического занятия, подробно изложен порядок выполнения работы, указаны требования к содержанию отчета и приведены контрольные вопросы.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

- 1.Выполнению заданий предшествует изучение теоретической части дисциплины «Электромагнитные переходные процессы в энергосистемах».
- 2.Практические занятия состоят из 3 частей:
 - Защита от замыканий на землю в обмотке статора генератора.
 - Продольная дифференциальная токовая защита трансформаторов.
 - МТЗ обратной последовательности с независимыми выдержками времени.
- 3.Индивидуальные задания по практическим занятиям выдаются преподавателем.
- 4.Рекомендуется выполненные задания печатать (формат А4). Текст и формулы набираются в редакторе Word. Рисунки и графики выполняются в графическом редакторе.
- 5.Необходимо использовать титульный лист установленного образца.
- 6.При дистанционном образовании страницы отчета по всем частям изучаемой дисциплины помещаются в один файл *.docx. Название файлу присваивается согласно примеру: «ЭЛ42_ПетровИК_ПрРЗиА_Оборуд.docx».
- 7.При защите необходимо показать знание материала, изложенного в отчете. Без защищенных выполненных заданий студент к экзамену не допускается.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

Защита от замыканий на землю в обмотке статора генератора

1. Цель занятия

В процессе выполнения работы изучить методику проектирования защиты от замыканий на землю в обмотке статора.

2. Особенности выполнения защиты

Эти защиты выполняются на основе применения ТТ шинного или кабельного типов. Для ТТ шинного типа применяется подмагничивание сердечника переменным током для повышения чувствительности. Схема защиты (рис.1.1,а) трансформатор тока ТА1 типа ТНПШ, в токовую цепь которого включены реле КАТ и КАЗ. Реле КАТ типа РНТ–560 действует без выдержки времени при двойных замыканиях на землю. Реле КАЗ типа РТЗ–51 действует с выдержкой времени при замыканиях на землю и блокируется с помощью реле КА при междуфазных КЗ.

Так как магнитопровод ТНПШ охватывает все три шины генератора, его длина во много раз превышает длину магнитопровода обычного ТТ. Это приводит к увеличению тока намагничивания, снижению в несколько раз параллельного сопротивления ветви намагничивания $z_{\text{э.нам}}$ и в целом увеличению погрешности трансформатора тока. Поэтому соотношение между первичным $I_{\text{п}}$ и вторичным $I_{\text{в}}$ токами ТНПШ обусловлено не только коэффициентом трансформации по виткам первичной и вторичной обмоток $K_I = w_{\text{в}} / w_{\text{п}} = w_{\text{в}}$ при ($w_{\text{п}} = 1$), но и с учетом отсоса тока в ветвь намагничивания $n_{\text{отс}} = (z_{\text{в}} + z_{\text{э.нам}}) / z_{\text{э.нам}}$ (рис.1.1,б)

$$I_{\text{п}} = w_{\text{в}} \cdot n_{\text{отс}} \cdot I_{\text{в}} \quad (1.1)$$

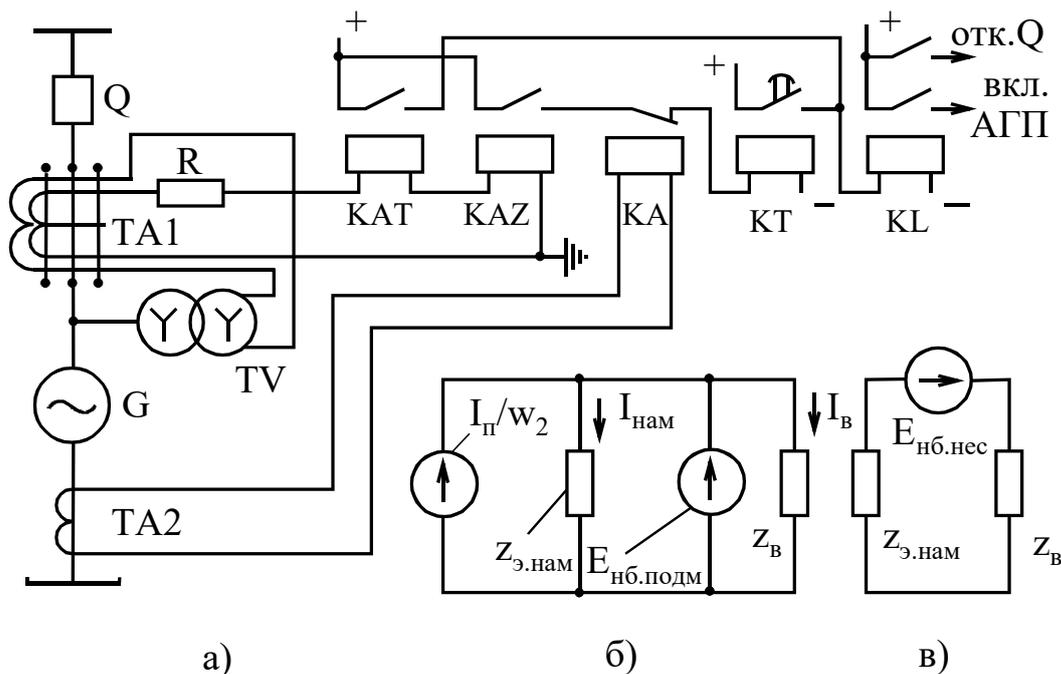


Рис.1.1. Принципиальная схема (а) и схемы замещения (б, в) токовой цепи ТНПШ

Для ТНПШ различных типов $z_{э.нам}=10 \text{ Ом}$, $w_b = 39$ витков. Кроме того, у ТНПШ во вторичной цепи появляются дополнительные составляющие тока небаланса, обусловленные неполной компенсацией ЭДС от обмоток подмагничивания $E_{нб.подм}$ и ЭДС $E_{нб.нес}$, возникающей из-за несимметричного расположения фазных шин в окне ТНПШ. Первая ЭДС определяется конструктивным выполнением и для ТНПШ различных типов может быть принята $E_{нб.подм}=0,1 \text{ В}$. Вторая ЭДС небаланса зависит от конструкции и первичного тока. Для ТНПШ типов 1, 2, 3, 3у с номинальными токами 1,75 ; 3,0 ; 4,5 и 7,5 кА ЭДС $E_{нб.нес}$ составляет соответственно 0,06 ; 0,085 ; 0,1 ; 0,15 В.

3. Расчет защиты от замыканий на землю в обмотке статора

Выбора параметров срабатывания защиты не связан с расчетом токов короткого замыкания, и поэтому расчет уставок выполняется для номинальных параметров генератора по первичным и вторичным цепям.

1. Ток срабатывания блокирующего реле КА отстраивается от номинального тока генератора

$$I_{с.бл} = (k_3 / k_в) \cdot I_{Г ном}, \quad (1.2)$$

где $k_3=1,2$ – коэффициент запаса по избирательности; $k_в=0,85$ – коэффициент возврата реле.

2. Ток небаланса, приведенный ко вторичной цепи, определяется с учетом схем замещения (рис.28,б,в):

$$I_{нб.В} = \frac{k_{бл} \cdot E_{нб.нес}}{z_{э.нам} + z_в} + \frac{E_{нб.подм}}{z_в}, \quad (1.3)$$

где $k_{бл} = I_{ср.бл}/I_{Г ном}$ – кратность тока срабатывания блокирующего реле по отношению к номинальному току ТНПШ.

Для уменьшения тока небаланса в режиме отсутствия намагничивания (обрыв проводов), когда $I_{нб} = k_{бл} \cdot E_{нб.нес} / z_в$, во вторичную цепь включено дополнительное сопротивление R для того, чтобы $z_в \approx z_{э.нам}$. При использовании реле РНТ–565 и РТЗ–51 их суммарное активное сопротивление около 1 Ома, а $R=9 \text{ Ом}$.

3. Ток небаланса, приведенный к первичной цепи, находится в соответствии с уравнением (1.1);

$$I_{нб.п} = w_b \cdot n_{отс} \cdot I_{нб.В}, \quad (1.4)$$

4. Емкостный ток генератора в установившемся режиме при замыкании одной фазы сети на землю

$$I_{Г.С} = w \cdot 3C_G \cdot U_{Г ном} / \sqrt{3}, \quad (1.5)$$

где C_G – емкость обмотки статора по отношению к земле, мкФ/фазу, емкость C_G – в фарадах, $U_{Г ном}$ – в вольтах.

Значения $I_{с.г}$ и C_G для некоторых типов турбогенераторов приведены в табл.1.1.

Таблица 1.1. Параметры турбогенераторов и величины $I_{с.г}$

Тип турбогенера- тора	Но- минальное напряже- ние, кВ	Утроенная емкость обмотки ста- тора, мкФ/фазу	Е мкост- ный ток, А
ТВС–32 УЗ	6,3	0,54	0,617
ТВС–32 УЗ	10,5	0,54	1,03
ТВФ–63–2	6,3	0,52	0,59
ТВФ–63–2	10,5	0,61	1,16
ТВФ–120–2	10,5	0,72	1,37
ТВВ–160–2	18	0,462	1,51

Для гидрогенераторов величина C_G может быть определена приближенно

$$C_G = \frac{40 \cdot S_{Г.ном}^{3/4}}{3(U_{Г.ном} + 3600) \cdot n^{1/3}}, \quad \text{мкФ/фазу}, \quad (1.6)$$

где $S_{Г.ном}$ – мощность генератора, кВА; n – скорость вращения, об/мин.

5. Ток срабатывания защиты, действующей при однофазных замыканиях, отстраивается от броска емкостного тока генератора и тока небаланса ТНПШ. Расчетным является режим однофазного замыкания в сети при одновременном замыкании между двумя другими фазами:

$$I_{с.з} KAZ = \kappa_3 \cdot (\kappa_{пер} \cdot I_{ГС} + \kappa'_3 \cdot I_{нб.п}), \quad (1.7)$$

где $\kappa_3 = 1,3$ – коэффициент запаса по избирательности; $\kappa_{пер} = 2$ – коэффициент переходного процесса, обусловленного броском емкостного тока, при $t_{с.з} \geq 1$ с, $\kappa_{пер} = 1,0$; $\kappa'_3 = 1,5$ – коэффициент запаса на погрешность расчета тока небаланса.

6. Ток срабатывания реле защиты от однофазных замыканий определяется в соответствии с уравнением (5.8) :

$$I_{с.р} KAZ = I_{с.з} KAZ / (w_B \cdot n_{омс}). \quad (1.8)$$

Полученное значение тока срабатывания реле должно находиться в пределах диапазона уставок реле РТЗ–51, равном 0,02–0,12 А. Заметим, что уменьшение или увеличение тока срабатывания может быть достигнуто соответственно увеличением или снижением сопротивления R.

7. Ток срабатывания защиты, действующей при двойных замыканиях на землю (одно в генераторе, второе в сети), отстраивается от броска емкостного тока сети и тока небаланса ТНПШ, с запасом можно принять

$$I_{с.з} KAZ = 100 \text{ А}.$$

8. Ток срабатывания реле, действующего при двойных замыканиях на землю определяется в соответствии с уравнением (1.1) :

$$I_{с.р} KAZ = I_{с.з} KAZ / (w_B \cdot n_{омс}). \quad (1.9)$$

Выбранные уставки обеспечивают необходимую чувствительность, которая при выборе уставок не оценивается.

В заключении отметим, что трансформаторы тока типа ТНПШ находятся в эксплуатации, но их выпуск прекращен и в новых проектных решениях предусматриваются устройства (например, БРЭ–1301.01.02), в которых реализованы принципы определения замыканий на землю на основе контроля параметров третьей гармоники, рекомендованные для блоков генератор–трансформатор.

4. Моделирование защиты от замыканий на землю в обмотке статора

4.1. В программе Multisim создать модель защиты от замыканий на землю в обмотке статора.

4.2. Выполнить настройку модели по результатам расчетов, выполненных в пунктах 1.1 ÷ 1.9.

4.3. На модели проверить работоспособность спроектированной защиты от замыканий на землю в обмотке статора.

5. Подготовка доклада на конференцию.

На основании изученного материала выбрать тему доклада на конференции по исследованию в области энергетики и согласовать ее с преподавателем.

Провести дополнительные исследования в рамках выполненного практического занятия.

Составить презентацию по результатам своей работы для доклада на конференции.

6. Контрольные вопросы

6.1. Для чего подмагничивается магнитопровод трансформатора тока нулевой последовательности?

6.2. Почему защита дополнена реле КА?

6.3. Причина появления ЭДС небаланса подмагничивания?

6.4. Причина появления ЭДС небаланса несимметрии?

6.5. Чем обусловлена емкость обмотки статора?

6.6. Какие компоненты программы Multisim использовались при моделировании защиты от замыканий на землю в обмотке статора?

6.7. Ваши дополнительные предложения по применению программы MULTISM для моделирования защиты от замыканий на землю в обмотке статора.

7 Содержание отчета

7.1. Наименование практического занятия.

7.2. Цель практического занятия.

7.3. Схема защиты от замыканий на землю в обмотке статора.

7.4. Расчетные формулы защиты от замыканий на землю в обмотке статора..

7.5. Модель защиты от замыканий на землю в обмотке статора.

7.6. Результат моделирования защиты от замыканий на землю в обмотке статора.

7.7. Краткие ответы на контрольные вопросы.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

Продольная дифференциальная токовая защита трансформаторов

1. Цель занятия

В процессе выполнения работы изучить методику проектирования продольной дифференциальной токовой защит трансформаторов.

2. Основные условия проектирования дифференциальных защит трансформаторов

Эти условия определяют расчетные режимы и требования, предъявляемые к защите в зависимости от параметров трансформатора.

1. Продольная дифференциальная защита применяется для трансформаторов мощностью 6,3 МВА и выше, а также для всех автотрансформаторов (при мощности трансформатора менее 6,3 МВА применяется токовая отсечка в сочетании с МТЗ). Для двухобмоточных трансформаторов используется двухрелейная схема защиты, для трехобмоточных трансформаторов трехрелейная схема (на стороне низшего напряжения, для повышения чувствительности ТТ соединяются в полную звезду). Защита выполняется с использованием дифференциальных реле типа РНТ, ДЗТ. Реле типа РНТ-560 обеспечивают повышенную отстройку от переходных режимов с апериодической составляющей, реле типа ДЗТ-11 обеспечивают повышенную отстройку от периодических токов небаланса.

2. Выбор типа реле определяется расчетом с учетом следующих условий. Реле типа РНТ-560 имеют повышенную отстройку от токов небаланса с апериодической составляющей, в том числе и при однополярных бросках тока намагничивания трансформатора или автотрансформатора. Такие реле широко эксплуатируются, но на вновь проектируемых подстанциях не рекомендуются к установке, за исключением двухобмоточных трансформаторов мощностью менее 25 МВА. Реле типа ДЗТ-11 имеют магнитное торможение, что обеспечивает отстройку от периодических токов небаланса, в том числе на трансформаторах с регулировкой напряжения под нагрузкой (РПН).

3. Для выбора тока срабатывания защиты по условиям отстройки от тока небаланса рассматриваются такие режимы, при которых ток небаланса будет наибольшим. Выбор расчетных условий определяется параметрами системы. Для трансформаторов с односторонним питанием расчетными являются трехфазные КЗ на шинах среднего (СН) и низшего (НН) напряжений (точки К1 и К2, рис.30). При двухстороннем питании расчетным может быть и КЗ на шинах высшего (ВН) напряжения (точка К3).

4. Для проверки чувствительности рассматриваются такие режимы, при которых чувствительность будет минимальной. При одностороннем питании коэффициент чувствительности проверяется при внутреннем двухфазном КЗ на сторонах СН и НН в минимальном режиме работы системы (точки К4 и К5, рис.2.1). При двухстороннем питании расчетной по чувствительности может оказаться и однофазное или двухфазное КЗ на стороне ВН (точка К6, рис.2.1). Заметим, что при нескольких трансформаторах на подстанции расчетным является режим раздельной работы. Это справедливо как для проверки чувствительности, так и для выбора тока срабатывания.

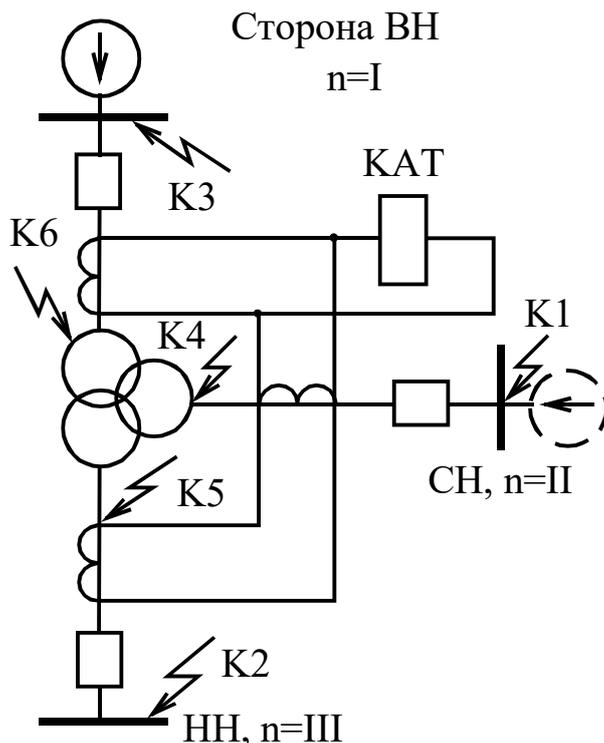


Рис.2.1. Поясняющая схема к расчету дифференциальной токовой защиты трансформатора

3. Расчет дифференциальных защит трансформаторов

3.1. Предварительный расчет защиты

Первоначально определяется ток срабатывания защиты с реле РНТ по большему из двух условий.

1. Отстройка от броска тока намагничивания, возникающего при включении трансформатора и автотрансформатора на холостой ход или при восстановлении напряжения после отключения КЗ, а также от переходных токов небаланса при внешних КЗ:

$$I_{с.з} = k_0 \cdot I_{ном}, \quad (2.1)$$

где $k_0 = 1,3$ – коэффициент отстройки для реле типа РНТ; $I_{ном}$ – номинальный ток той стороны трансформатора, напряжение которой принято в качестве расчетной; для автотрансформатора при определении $I_{ном}$ берется типовая мощность.

2. Отстройка от максимального периодического тока небаланса, возникающего при внешних КЗ:

$$I_{с.з} \geq k_3 \cdot I_{нб.расч}, \quad (2.2)$$

где $k_3 = 1,3$ – коэффициент запаса по избирательности; $I_{нб.расч}$ – максимальный расчетный ток небаланса, определяемый как сумма трех составляющих, пропорциональных периодической слагающей тока КЗ,

$$I_{нб.расч} = I'_{нб.расч} + I''_{нб.расч} + I'''_{нб.расч}. \quad (2.3)$$

Составляющая $I'_{нб.расч}$ обусловлена погрешностью трансформаторов тока:

$$I'_{нб.расч} = k_{одн} \cdot \varepsilon \cdot I_{к.макс}, \quad (2.4)$$

где $K_{одн} = 1,0$; $\varepsilon = 0,1$; $I_{к.макс}$ – максимальный ток внешнего КЗ, приведенный к расчетной ступени напряжения.

Составляющая $I''_{нб.расч}$ обусловлена регулировкой коэффициента трансформации силового трансформатора (автотрансформатора) после того, как защита была сбалансирована на средних отпайках. Эта составляющая определяется как сумма токов небаланса на сторонах, где имеется регулирование:

$$I''_{нб.расч} = \sum_{n=1}^{III} \Delta U_n \cdot I_{н.к.макс}, \quad (2.5)$$

где ΔU_n – относительная погрешность регулировки напряжения, принимается равной половине диапазона регулирования стороны n трансформатора (если регулирование $\pm 10\%$, то $\Delta U_n = 0,1$); $I_{н.к.макс}$ – максимальный периодический ток, протекающий по стороне n трансформатора (рис.2.1).

Составляющая $I'''_{нб.расч}$ обусловлена неточностью установки на реле расчетных чисел витков:

$$I'''_{нб.расч} = \sum_{n=1}^{III} \Delta w_n \cdot I_{н.к.макс}, \quad (2.6)$$

где $\Delta w_n = (w_{н.расч} - w_n) / w_{н.расч}$ – погрешность выравнивания для стороны n трансформатора. При предварительном расчете эта составляющая не учитывается.

3. Выбор типа реле производится на основе оценки чувствительности защиты, которая определяется приближенно, полагая, что весь ток повреждения (приведенный ко вторичной стороне) попадает в реле:

$$K_{сз} = I_{к.мин}^{(2)} / I_{с.з} \geq 2,0. \quad (2.7)$$

Допускается снижение коэффициента чувствительности против нормируемого значения для трансформаторов и автотрансформаторов, имеющих токоограничительный реактор на стороне низшего напряжения (НН), входящей в зону дифференциальной защиты до 1,5 при КЗ за реактором. Кроме того для трансформаторов мощностью менее 80 МВА такое же снижение коэффициента чувствительности допускается при КЗ на стороне НН.

В тех случаях, когда чувствительность не обеспечивается при КЗ за реактором дифференциальную токовую защиту выполняют с двумя комплектами реле: грубым и чувствительным. Грубый комплект, действующий без выдержки времени рассчитывается как для обычной дифференциальной токовой защиты объекта. Чувствительный комплект действует с выдержкой времени 0,5-1,0 с, что позволяет производить отстройку от броска намагничивающего тока объекта из условия

$$I_{с.з.ч} = (0,75 \div 1,0) \cdot I_{ном}. \quad (2.8)$$

4. Если чувствительность оказывается достаточной, то продолжают расчет защиты с реле РНТ. В процессе расчета уставок реле уточненный ток срабатывания (с учетом $I'''_{нб.расч}$) может оказаться больше предварительно найденного, а чувствительность защиты недостаточной. В этом случае проверяется возможность снизить ток срабатывания за счет составляющих $I''_{нб.расч}$ и $I'''_{нб.расч}$. Составляющую $I''_{нб.расч}$ можно не учитывать, если регулирование коэффициента трансформации силового трансформатора производится редко. В этом случае расчет уставок реле производится

для каждого положения переключателя напряжения (обычно для верхнего и нижнего ответвлений). Т.е. при изменении положения переключателя должна изменяться и уставка, выполняемая на реле. Составляющую $I_{нб.расч}'''$ можно уменьшить за счет более рационального выбора числа витков реле путем изменения коэффициентов трансформации ТТ отдельных сторон силового трансформатора.

5. Если дифференциальная защита с реле РНТ не обеспечивает необходимой чувствительности, а расчетной является отстройка от тока небаланса, то принимают реле типа ДЗТ-11, имеющие магнитное торможение от сквозного тока КЗ. При выборе тока срабатывания защиты с реле ДЗТ-11 в выражении (2.1) принимается $\kappa_0 = 1,5$, а в (2.2) $-\kappa_3 = 1,5$. Причем, в качестве расчетного рассматривается внешне КЗ, при котором торможение отсутствует.

Необходимо отметить, что расчетные коэффициенты для отстройки от броска намагничивающего тока после уточнений могут быть снижены для реле РНТ-560 до $\kappa_0 = 0,9$ ($0,8$) при вторичном номинальном токе 5 (1) А. Для реле ДЗТ-11 до $\kappa_0 = 1,0$ ($0,8$) при вторичном номинальном токе 5 (1) А.

3.2. Расчет уставок реле РНТ

1. Определяются первичные номинальные токи для всех n сторон защищаемого оборудования

$$I_{ном.n} = S_{ном} / (\sqrt{3} \cdot U_{ном.n}), \quad (2.9)$$

где $S_{ном}$ – номинальная мощность трансформатора или проходная мощность автотрансформатора; $U_{ном.n}$ – номинальное напряжение стороны n защищаемого оборудования.

2. Определяются вторичные номинальные токи плеч защиты:

$$I_{ном.в.n} = I_{ном.n} \cdot \kappa_{сх.n} / K_{In}, \quad (2.10)$$

где $\kappa_{сх.n}$ – коэффициент схемы соединения вторичных обмоток ТТ на стороне n объекта (при соединении обмоток в звезду $\kappa_{сх} = 1,0$; при соединении обмоток в треугольник $\kappa_{сх} = \sqrt{3}$); K_{In} – коэффициент трансформации ТТ, принятый стороны n объекта (при выборе коэффициента ТТ надо учитывать, чтобы вторичные номинальные токи существенно не превышали паспортные значения токов 5 А или 1 А). Сторона с наибольшим вторичным током принимается в качестве основной, что обеспечивает наименьшую погрешность выравнивания для реле РНТ-560 и ДЗТ-11.

3. Определяется ток срабатывания реле для основной стороны трансформатора:

$$I_{ср.n} = \frac{I_{с.з} \cdot \kappa_{сх} \cdot (U_{ном.расч} / U_{ном.n})}{K_{In}}, \quad (2.11)$$

где $U_{ном.расч}$ – номинальное напряжение стороны, соответствующей расчетной ступени напряжения. Если расчет защиты выполняется для разных положений переключателя напряжения трансформатора, то это учитывается при определении тока срабатывания защиты введением коэффициента $\kappa_{рег} = (1 + \Delta U)$ и $\kappa_{рег} = (1 - \Delta U)$ в числитель выражения (2.11).

4. Находится расчетное число витков для основной стороны:

$$w_{осн.расч} = F_{с.р} / I_{с.р}. \quad (2.12)$$

Если расчетное число витков оказывается дробным, то принимается ближайшее меньшее целое значение $w_{осч}$, что обеспечивает запас избирательности.

5. Расчетные числа витков для других сторон защиты выбираются по условиям баланса на реле МДС защиты при внешнем КЗ или нормальном режиме (рис.31,а)

$$I_{НОМ.В.І} \cdot w_I = I_{НОМ.В.ІІ} \cdot w_{II} = I_{НОМ.В.ІІІ} \cdot w_{III},$$

откуда

$$w_{расч.n} = w_{осч} \cdot (I_{НОМ.В.осч} / I_{НОМ.В.n}). \quad (2.13)$$

Для неосновных сторон к установке на реле принимается ближайшее целое значение w_n , что обеспечивает наименьшую погрешность выравнивания.

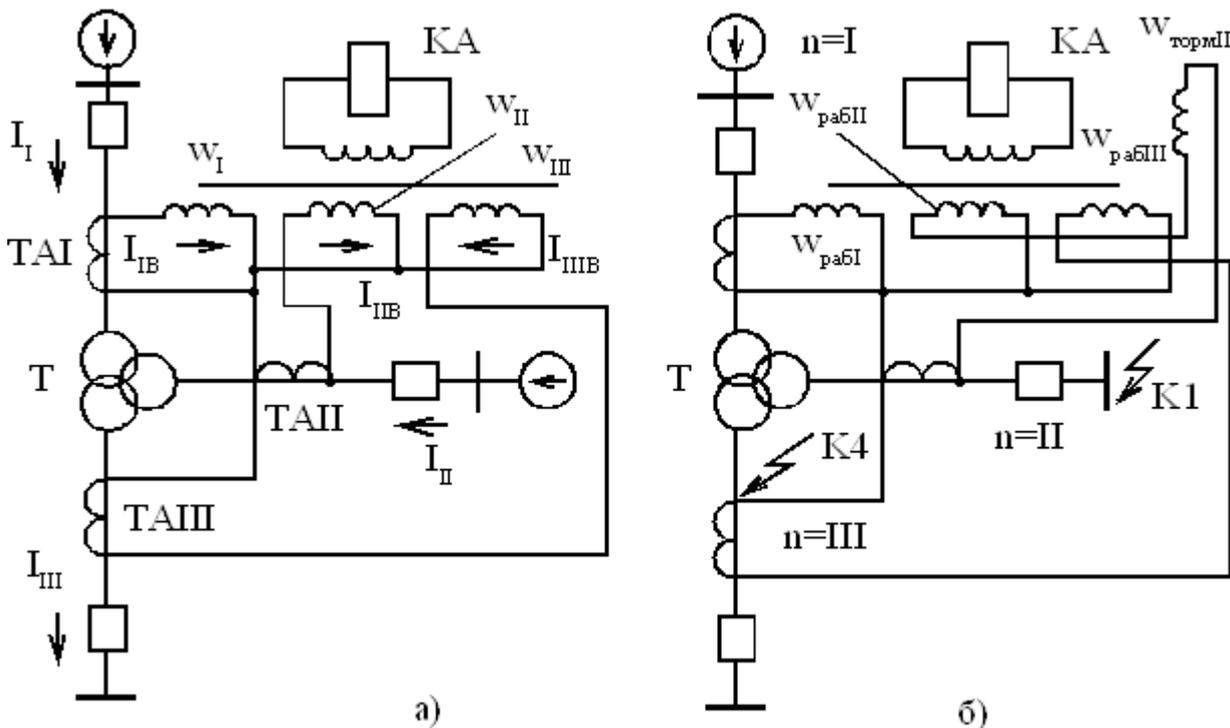


Рис.2.2. Упрощенные схемы токораспределения дифференциальных защит с реле РНТ-560 (а) и ДЗТ-11 (б)

6. Находится ток срабатывания защиты с учетом составляющей $I_{нб.расч}'''$ при КЗ на той стороне, где ток небаланса наибольший и уточняется по выражению (2.11) ток срабатывания реле.

Если полученное значение тока срабатывания окажется больше ранее найденного, то число витков на основной стороне принимается на один меньше, а для неосновных сторон принимается ближайшее целое число витков.

Расчет повторяется до тех пор, пока не обеспечится условие

$$I_{с.рi} \leq I_{с.р(i-1)},$$

где i – номер варианта расчета при изменении $w_{осч}$.

7. Чувствительность защиты проверяется при внутренних КЗ в расчетных точках:

$$k_{ч} = \sum_{n=1}^{III} (I_{В.n} \cdot w_n) / F_{с.р} \geq 2, \quad (2.14)$$

где $I_{л.в}$ – вторичный ток плеча защиты со стороны $л$ трансформатора при расчетном КЗ (определяется по схемам токораспределения). Практически при сбалансированных МДС плеч защит коэффициент чувствительности может быть определен по первичным токам с погрешностью не более 10%:

$$k_{ч} = I_{к.мин} / I_{с.з} \geq 2.$$

3.2. Расчет уставок реле типа ДЗТ-11

1. При использовании реле ДЗТ-11 тормозную обмотку включают обычно на той стороне, КЗ на которой дает наибольший ток небаланса (например, точка К1, рис.2.2,б). При этом указанный ток небаланса при выборе тока срабатывания не учитывается.

2. Определение числа витков $W_{раб.л}$, которые устанавливаются на рабочих обмотках разных сторон для обеспечения баланса МДС на реле, производится также, как и для реле РНТ.

3. Число витков тормозной обмотки, обеспечивающее надежную отстройку реле от тока небаланса при данном виде КЗ, определяется как

$$w_{торм.л} = \frac{k_з \cdot I_{нб.расч} \cdot w_{раб.л}}{I_{торм.л} \cdot tg\alpha}, \quad (2.15)$$

где $k_з = 1,5$; $I_{торм.л}$ – первичный тормозной ток стороны $л$ трансформатора, на которой включена тормозная обмотка; $tg\alpha = 0,75$ – тангенс угла наклона касательной, проведенной из начала координат к нижней расчетной по избирательности тормозной характеристике (рис.2.3).

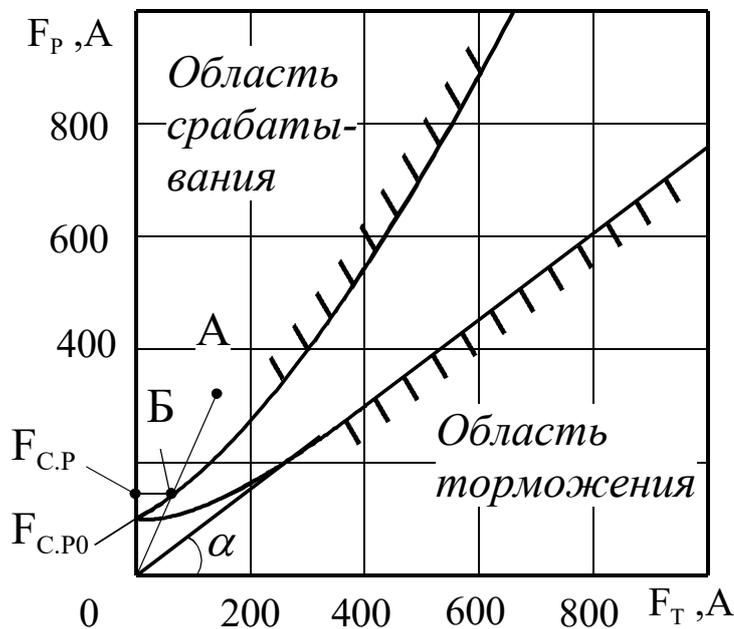


Рис.2.3. К определению чувствительности дифференциальной защиты с реле типа ДЗТ-11 при наличии торможения.

4. Проверка чувствительности защиты при внутренних повреждениях без торможения (например, точка К4, рис.2.2,б) производится также, как и для реле РНТ:

$$k_{ч} = F_{раб} \Sigma / F_{с.р.0}, \quad (2.16)$$

где $F_{с.р.0}$ – МДС срабатывания реле ДЗТ при отсутствии торможения;

$$F_{раб.Σ} = \sum_{n=1}^{III} I_{Bn} \cdot w_{раб.n};$$

где I_{Bn} – вторичный ток плеча защиты при КЗ в расчетной точке; $w_{раб.n}$ – число рабочих витков реле на стороне n трансформатора.

5. Чувствительность при внутреннем КЗ с торможением (например, точка К4 при наличии питания со стороны $n = II$) производится следующим образом. Первоначально определяется рабочая и тормозная МДС, подводимые к реле

$$F_{раб.Σ}, F_{торм.n} = I_{вn} \cdot w_{торм.n}.$$

В дальнейшем на чертеже тормозной характеристики откладывают точку $A(F_{торм.n}, F_{раб.Σ})$, соответствующую внутреннему КЗ с торможением. Точку А соединяют с началом координат прямой линией. Пересечение этой линии с верхней расчетной по чувствительности тормозной характеристикой дает точку Б (рис.2.3). Проекция точки Б на ось ординат дает МДС срабатывания ($F_{ср}$) реле при наличии торможения для данного расчетного режима.

Коэффициент чувствительности определяется как

$$k_{ч} = F_{раб.Σ} / F_{с.р} \geq 1,8.$$

4. Моделирование дифференциальной защиты трансформатора

4.1.В программе Multisim создать модель дифференциальной защиты трансформатора с реле РНТ или ДЗТ-11.

4.2.Выполнить настройку модели по результатам расчетов, выполненных в пунктах 2.1 ÷ 2.16.

4.3.На модели проверить работоспособность спроектированной дифференциальной защиты трансформатора.

5. Подготовка доклада на конференцию.

На основании изученного материала выбрать тему доклада на конференции по исследованию в области энергетики и согласовать ее с преподавателем.

Провести дополнительные исследования в рамках выполненного практического занятия.

Составить презентацию по результатам своей работы для доклада на конференции.

6. Контрольные вопросы

6.1. Основные условия проектирования дифференциальных защит трансформаторов.

6.2. Какие короткие замыкания являются внутренними?

6.3. Какие короткие замыкания являются внешними?

6.4. При каком условии применяется реле РНТ

6.5. Какой физический смысл применения торможения в дифференциальной защите?

6.6. Какие компоненты программы Multisim использовались при моделировании

дифференциальной защиты?

6.7. Ваши дополнительные предложения по применению программы MULTISM для моделирования дифференциальных защит.

7 Содержание отчета

- 7.1. Наименование практического занятия.
- 7.2. Цель практического занятия.
- 7.3. Расчетные формулы для расчета защиты с реле РНТ.
- 7.4. Расчетные формулы для расчета защиты с реле ДЗТ.
- 7.5. Модель дифференциальной защиты трансформатора.
- 7.6. Результат моделирования дифференциальной защиты трансформатора.
- 7.7. Краткие ответы на контрольные вопросы.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

Максимальная токовая защита обратной последовательности с независимыми выдержками времени

1. Цель занятия

В процессе выполнения работы изучить методику проектирования максимальной токовой защиты обратной последовательности с независимыми выдержками времени.

2. Общие сведения о максимальной токовой защите обратной последовательности с независимыми выдержками времени

Применяется для защиты генераторов мощностью 60-100 МВт от токов несимметричных КЗ и несимметричной перегрузки. Защита содержит два блок-реле РТФ-9 и одно токовое реле РТ-40, включенное в выходную цепь первого блок-реле

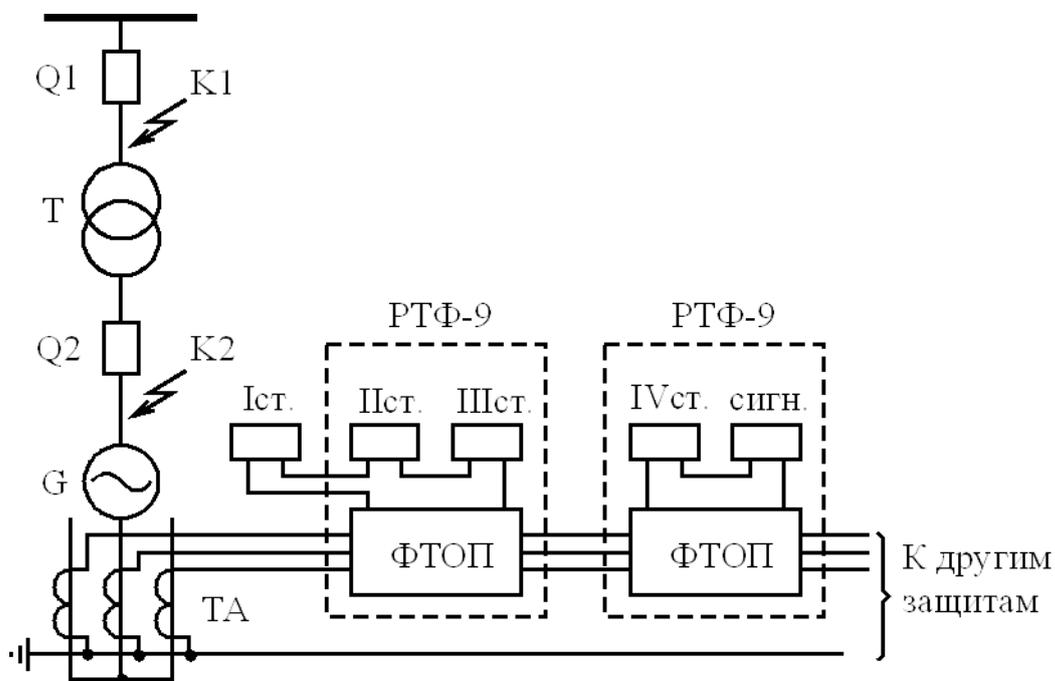


Рис. 3.1. Упрощенная схема включения ступенчатой МТЗ обратной последовательности

3. Расчет максимальной токовой защиты обратной последовательности с независимыми выдержками времени

1. Ток срабатывания отсечки первой ступени выбирается исходя из следующих условий:

а) обеспечение расчетной чувствительности при двухфазном КЗ на выводах генератора (точка 2, рис.3.1)

$$I_{*2с.з}^I = I_{*2(K2)}^{(2)} / K_{\text{ч}}, \quad (3.1)$$

где $I_{*2(K2)}^{(2)} = I_{2(K2)}^{(2)} / I_{Г.НОМ}$; $\kappa_{ч} = 1,2$ – расчетный коэффициент чувствительности (здесь и далее токи КЗ и номинальный ток генератора приведены к одной и той же ступени напряжения);

б) отстройка от КЗ на шинах ВН блока, для ограничения зоны действия отсечки I ступени (точка К1, рис.3.1)

$$I_{*2с.з}^I \geq \kappa_3 \cdot I_{*2(K1)}^{(2)}, \quad (3.2)$$

где $\kappa_3 = 1,3$ – коэффициент запаса по условиям избирательности к защитам сети ВН; $I_{*2(K1)}^{(2)} = I_{2(K1)}^{(2)} / I_{Г.НОМ}$ – приведенный ток обратной последовательности генератора при двухфазном КЗ на стороне ВН блока.

2. Время действия первой ступени защиты не должно превышать допустимого времени, определяемого по тепловой характеристике (7.4)

Связь между тепловой постоянной генератора, кратностью тока обратной последовательности $I_{2*} = I_2 / I_{Г.НОМ}$ и допустимым для этой кратности тока временем работы генератора $t_{доп}$ определяется выражением

$$A = I_{2*}^2 \cdot t_{доп}. \quad (3.3)$$

При двухфазном КЗ на выводах генератора

$$t_{с.з}^I = A / \left(I_{*2(K2)}^{(2)} \right)^2. \quad (3.4)$$

По условию согласования с основными защитами блока время срабатывания отсечки первой ступени должно составлять 0,4-0,5 с.

3. Ток срабатывания отсечки второй ступени выбирается исходя из следующих условий:

а) обеспечение расчетной чувствительности при двухфазном КЗ на шинах ВН блока

$$I_{*2с.з}^{II} = I_{*2(K1)}^{(2)} / \kappa_{ч}, \quad (3.5)$$

где $\kappa_{ч} = 1,2$ – расчетный коэффициент чувствительности;

б) согласование с защитами отходящих линий стороны ВН

$$I_{*2с.з}^{II} = \kappa_3 \cdot \kappa_{ток} \cdot I_{*2с.м}^I, \quad (3.6)$$

где $\kappa_3 = 1,1$ – коэффициент запаса по избирательности; $\kappa_{ток} = I_{2 з.выб} / I_{2 з.см}$ – коэффициент токораспределения, равный отношению тока, протекающего через выбранную защиту, к току, протекающему через смежную защиту при КЗ в конце зоны ее

действия; $I_{*2с.м}^I$ – приведенный ток срабатывания смежной защиты (для токовой отсечки $I_{*с.м}^I = I_{с.з} / (\sqrt{3} \cdot I_{Г.НОМ})$).

В реальных расчетах условие (3.6) обычно не является определяющим, вследствие малых значений $\kappa_{т}$. Кроме того отстройка от первых ступеней защит отходящих линий обеспечивается по времени.

4. Время действия второй ступени защиты выбирается по меньшему из двух условий:

а) время срабатывания не должно превышать допустимого времени, определяемого по тепловой характеристике (3.3) при двухфазном КЗ на стороне ВН блока

$$t_{c.3}^{II} = A / \left(I_{*2(K1)}^{(2)} \right)^2 ; \quad (3.7)$$

б) время действия должно быть согласовано по (3.3) с уставкой срабатывания отсечки первой ступени

$$t_{c.3}^{II} = A / \left(I_{*2c.3}^I \right)^2 . \quad (3.8)$$

5. Ток срабатывания третьей ступени согласуется по (3.3) с учетом максимального времени действия четвертой ступени $t^{IV} = 40 \text{ с}$

$$I_{*2c.3}^{III} \leq \sqrt{A / t^{IV}} ; \quad (3.9)$$

рекомендуется принимать $I_{*2c.3}^{III} = 0,5 - 0,6$.

6. Время действия третьей ступени согласуется по (7.4) с уставкой срабатывания второй ступени

$$t_{c.3}^{III} = A / \left(I_{*2c.3}^{II} \right)^2 . \quad (3.10)$$

Максимальное время действия третьей ступени (реле времени) – 8,5 с.

7. Уставки срабатывания четвертой ступени рекомендуется принимать равными

$$I_{*2c.3}^{IV} = 0,25; \quad t_{c.3}^{IV} = 40 \text{ с}.$$

8. Для сигнального органа ток срабатывания принимается равным

$$I_{*2c.3}^{сигн} = 0,05.$$

9. Выдержка времени сигнального органа отстраивается от времени действия резервных защит и обычно принимается максимальной для реле времени $t_{c.3}^{сигн} = 9 \text{ с}$.

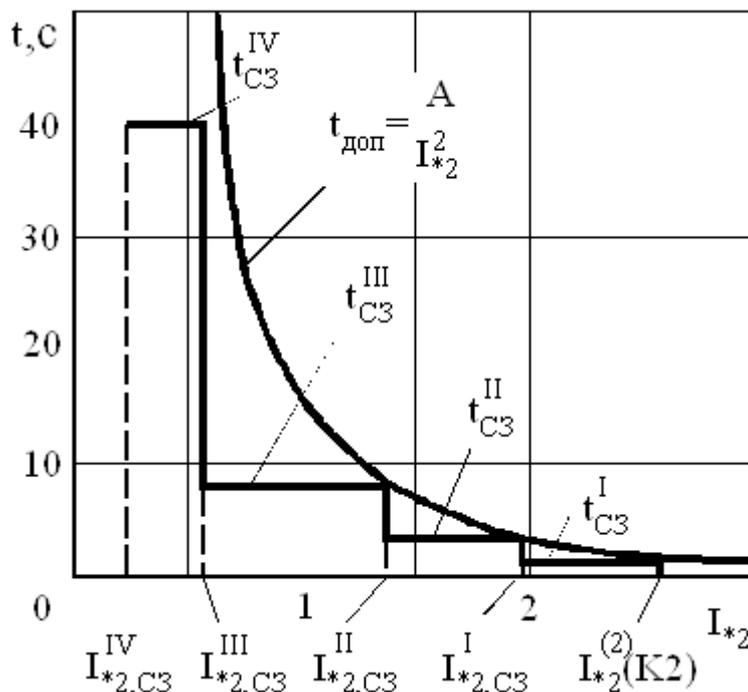


Рис. 3.2. Токовременные характеристики МТЗ обратной последовательности с независимыми выдержками времени.

10. При появлении сигнала дежурный персонал должен устранить несимметрию. Допустимое время устранения определяется по тепловой характеристике генератора (3.3)

$$t_{\text{дон.устр}} = A / \left(I_{*2c.3}^{IV} \right)^2 \quad (3.11)$$

и обычно составляет 5-10 мин.

11. На основании полученных уставок строится ступенчатая токовременная характеристика срабатывания (рис.3.2), все точки которой не должны выходить за пределы тепловой характеристики генератора, построенной по (3.3).

4. Моделирование МТЗ обратной последовательности с независимыми выдержками времени

4.1. В программе Multisim создать модель МТЗ обратной последовательности с независимыми выдержками времени

4.2. Выполнить настройку модели по результатам расчетов, выполненных в пунктах 2.1 ÷ 2.11.

4.3. На модели проверить работоспособность спроектированной МТЗ обратной последовательности.

5. Подготовка доклада на конференцию.

На основании изученного материала выбрать тему доклада на конференции по исследованию в области энергетики и согласовать ее с преподавателем.

Провести дополнительные исследования в рамках выполненного практического занятия.

Составить презентацию по результатам своей работы для доклада на конференции.

6. Контрольные вопросы

6.1. Условия определения уставок первой степени токовой защиты от замыканий на землю.

6.2. Условия определения уставок второй степени токовой защиты от замыканий на землю.

6.3. Условия определения уставок третьей степени токовой защиты от замыканий на землю.

6.4. Согласование защит параллельных линий в режиме каскадного отключения

6.5. Графическое определение коэффициента токораспределения для согласования земляных защит

6.6. Какие компоненты программы Multisim использовались при моделировании токовой защиты от замыканий на землю?

6.7. Ваши дополнительные предложения по применению программы MULTISM для моделирования токовой защиты от замыканий на землю.

7 Содержание отчета

- 7.1. Наименование и цель практического занятия.
- 7.2. Расчетные формулы для первой ступени МТЗ обратной последовательности.
- 7.3. Расчетные формулы для второй ступени МТЗ обратной последовательности.
- 7.4. Расчетные формулы для третьей и четвертой ступеней МТЗ обратной последовательности.
- 7.5. Модель МТЗ обратной последовательности с независимыми выдержкам времени.
- 7.6. Результат моделирования МТЗ обратной последовательности с независимыми выдержкам времени.
- 7.7. Краткие ответы на контрольные вопросы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Жарков Ю.И. Моделирование дискретных устройств автоматики систем электро-снабжения с использованием программного пакета MULTISIM / Ю.И. Жарков, Д.В. Колосов, И.Г. Фролов // – Ростов-на-Дону: РГУПС. – 2012. – 70с.
2. Дьяков А.Ф. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем: Учебное пособие/ А.Ф. Дьяков, В.В. Платонов// – М: Изд-во МЭИ. – 200/ – 248.