

Министерство образования и науки Российской Федерации

Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова

А.Р. Упит, С.А. Банкин

Релейная защита и автоматика в системах ЭПП

*Методические указания для студентов всех форм
обучения для специальности 10.04 «Электроснабжение»*

Изд-во АлтГТУ
Барнаул • 2004

УДК 621.316.925.

Упит А.Р., Банкин С.А. Релейная защита и автоматика в системах ЭПП: Методические указания для студентов специальности 10.04 - «Электро-снабжение» / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова.- Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2004. - 51 с.

Цель настоящего пособия - оказать помощь студентам, изучающим курс «Релейная защита и автоматика в системах ЭПП» (РЗА). Даны основные расчетные формулы, примеры решения задач, схемные решения выполнения устройств релейной защиты и автоматики, общие методические указания и необходимые справочные материалы.

Исходные данные для выполнения курсового проекта и части дипломного проекта выдаются каждому студенту индивидуально в соответствии с методическими указаниями для выполнения курсового проекта по РЗА или по заданию руководителя дипломного проекта.

Рассмотрены и одобрены
на заседании кафедры ЭПП.
Протокол № 1 от 19.09.2003 г.

1. Цели и задачи курсового и дипломного проектирования

Задачи, которые необходимо решить при выполнении курсового и дипломного проектов по релейной защите и автоматике, охватывают вопросы защиты электроустановок внутреннего и внешнего электроснабжения промышленных предприятий. В эти задачи также должен входить выбор и проектирование таких устройств автоматики, как автоматическое повторное включение (АПВ), автоматический ввод резерва (АВР), автоматическая частотная разгрузка (АЧР) и автоматическое повторное включение после АЧР (ЧАПВ), т.к. принцип выполнения устройств релейной защиты (РЗ) необходимо производить с учетом решений, принятых для системной автоматики.

В качестве объектов для проектирования РЗ и автоматики в курсовых и дипломных работах рекомендуется выполнить защиту и автоматику следующих объектов:

- высоковольтного электродвигателя;
- цехового трансформатора 6-10 кВ;
- кабельной линии 6-10 кВ;
- силового трансформатора ГПП;
- питающей ЛЭП 35-110-220 кВ;
- выбрать и обосновать устройство АПВ на выключателях ЛЭП 35-220 кВ;
- выбрать схему АВР на секционных выключателях 6-10 кВ;
- выбрать схему АЧР для потребителей, питающихся с шин 6-10 кВ ГПП с последующим ЧАПВ.

В процессе выполнения курсового проекта студент должен пользоваться учебниками, учебными пособиями, справочниками, ПУЭ, руководящими указаниями, а также специальной литературой по вопросам проектирования РЗ и автоматики систем электроснабжения.

Навыки и знания, полученные при выполнении курсового проекта, во многом способствуют успешному выполнению раздела дипломного проекта по релейной защите и автоматике.

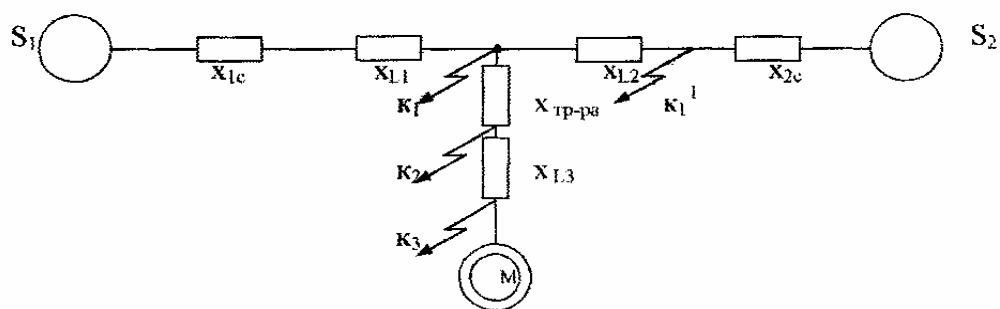
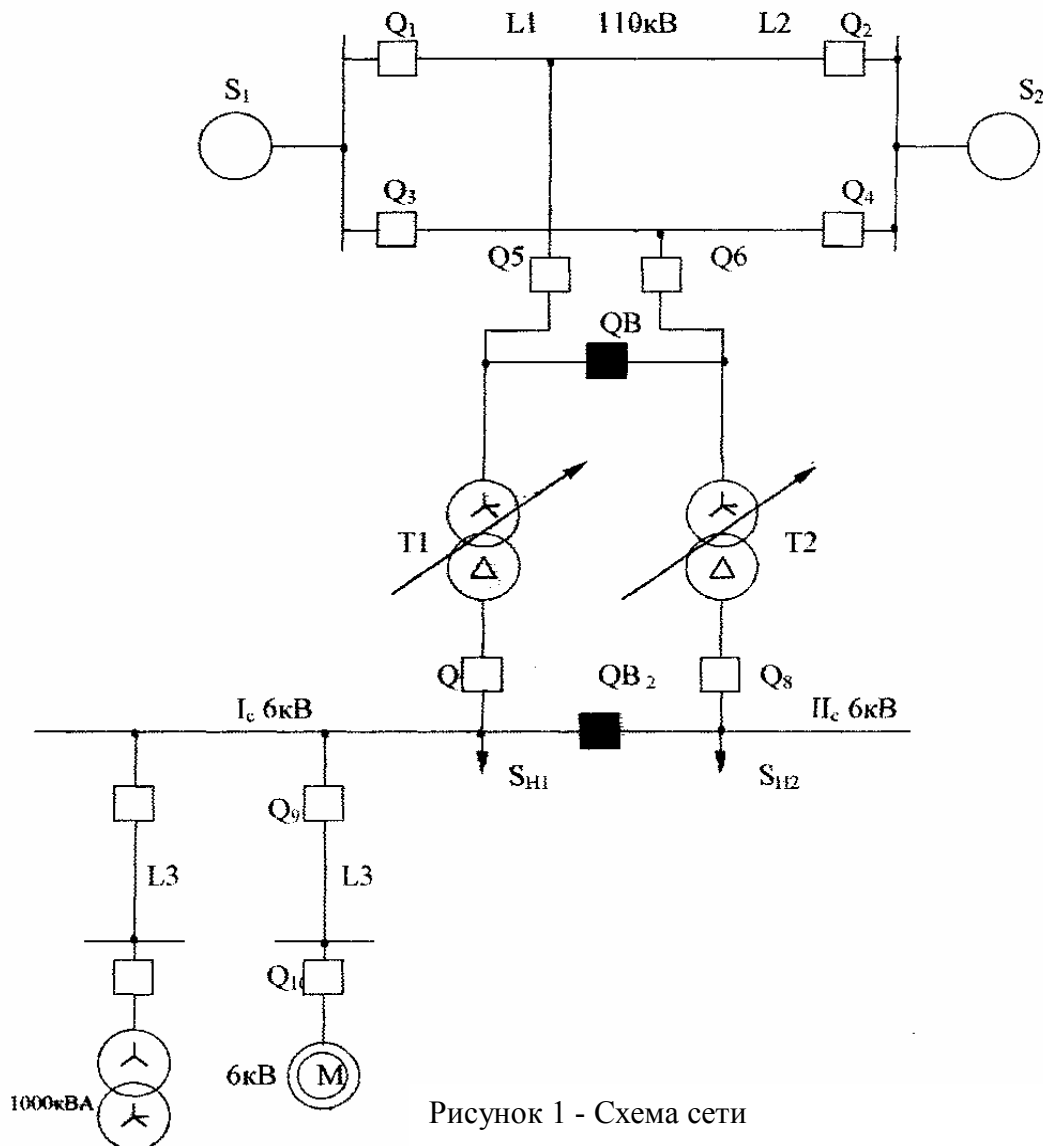
На рисунке 1 приведена наиболее часто встречающаяся схема участка сети для электроснабжения промышленного предприятия, которая соответствует одному из заданий на курсовое проектирование [2].

На рисунке 2 дана схема замещения для расчетов токов короткого замыкания (ТКЗ) и показаны основные точки их расчета.

2. Защита высоковольтного электродвигателя

В соответствии с [1, пп. 5.3.43.-5.3.54] и [2, табл. 1] мощность двигателя не превышает 2,5 МВА, и на данных двигателях должны быть установлены и рассчитаны следующие защиты:

- защита от многофазных замыканий в обмотках эл. двигателя [1, п. 5.3.46-2];
- защита от перегрузки [1, п. 5.3.49];
- защита от однофазных замыканий на землю [1, п. 5.3.48];
- защита минимального напряжения [1, пп. 5.3.52-5.3.53].



2.1 Защита электродвигателя от ТКЗ между фазами

Защита от междуфазных ТКЗ является основной защитой, и ее установка обязательна во всех случаях [4, разд. 18-4]. В качестве такой защиты применяется токовая защита мгновенного действия (токовая отсечка), отстроенная от пусковых токов и токов самозапуска.

Для защиты эл. двигателя целесообразно применять переменный оперативный ток, а также реле прямого действия, что значительно упрощает схему защиты и повышает ее надежность. Схема такой защиты приведена на рисунке 3. Реле типа РТ-86 (КА) имеет кроме индукционного элемента, электромагнитный элемент, который исполняет роль токовой отсечки. Трансформаторы тока (ТТ) включены на разность токов двух фаз и имеют коэффициент схемы, в зависимости от комбинации замкнувшихся фаз, 1; 1,73; 2.

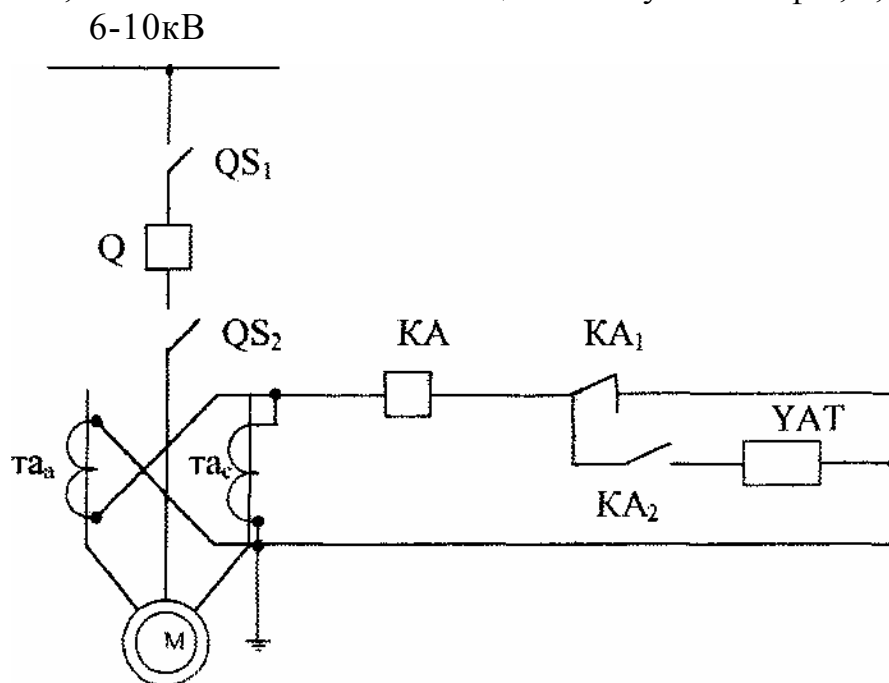


Рисунок 3

Контакты реле способны коммутировать токи, позволяющие непосредственно отключать выключатель.

В случаях, когда однорелейная схема не обеспечивает требуемой чувствительности, применяется двухрелейная схема, более чувствительная к двухфазным ТКЗ. Схема защиты приведена на рисунке 4 а, б.

Токовое реле 3КА используется в защите от перегрузки. В этом случае применяется реле типа РТ-40, имеющее достаточно высокий коэффициент возврата ($K_B=0,85$), а для отстройки от апериодической составляющей пусковых токов применяется промежуточное реле типа РП-25 или РП-26 [5, с. 183] с временем срабатывания $t_{CP}=0,06$ с, за которое апериодическая составляющая пускового тока затухает до того, как сработает защита.

Ток срабатывания защиты равен:

$$I_{с.з.} = \frac{K_n \cdot I_{н.пуск.}}{K_\theta} . \quad (2.1)$$

Коэффициент надежности обычно принимают равным 1,2 [4, с. 567].
Пусковой периодический ток ($I_{н.период.}$) определяют по справочным или заводским данным.

Защита, выполненная на реле РТ-86, имеет большую инерционность, а коэффициент возврата 0,4. Такая защита, сработав от броска пускового тока, не сможет вернуться после затухания его апериодической составляющей. Поэтому ток срабатывания должен отстраиваться от максимального значения пусковых токов двигателя ($I_{д.пуск.}$). Первичный ток срабатывания защиты определяется из формулы:

$$I_{с.з.} = K_n \cdot 1,8 \cdot I_{н.пуск} \quad (2.2)$$

Вторичный ток срабатывания защиты равен:

$$I_{с.р.} = \frac{K_{с.х.} \cdot I_{с.з.}}{n_{ТТ}} , \quad (2.3)$$

где $K_{с.х.}$ - коэффициент, учитывающий схему соединения ТТ;

$n_{ТТ}$ - коэффициент трансформации ТТ.

Чувствительность защиты от многофазных ТКЗ оценивается коэффициентом чувствительности (K_χ), представляющим собой отношение тока двухфазного КЗ ($I_{к.з.}^{(2)}$) в минимальном режиме на выводах двигателя, к первичному току срабатывания защиты [4].

$$K_\chi = \frac{I_{к.з.}^{(2)}}{I_{с.з.}} \geq 1,5 . \quad (2.4)$$

2.2 Защита электродвигателя от замыкания одной фазы на землю

Если при расчетах ток однофазного КЗ у двигателя до 2 МВт оказался 10 А и ниже, а у двигателя 5 МВт - 5 А и менее, то в соответствии с [1, п. 5.3.48] защита от замыканий на землю не устанавливается.

Если эти условия не выполняются, то защита от однофазных замыканий на землю выполняется без выдержки времени с применением трансформаторов тока нулевой последовательности (ТНП) типа ТНПШ-1УЗ, ТЗУ-3, ТЗЛМ-УЗ, ТЗРЛ-УЗ [6, табл. 5.40]. Схема защиты дана на рисунке 5.

Однофазный ток замыкания на землю одиночного кабеля определяется из выражения [8]:

$$I_{к.з.}^{(1)} = \sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot C_0 \cdot \omega \cdot 10^{-3} = 3U_\phi \cdot C_0 \cdot \omega \cdot 10^{-3} = 0,942U_\phi \cdot C_0 , \quad (2.5)$$

где $U_{ном}$ - номинальное напряжение линии в кВ;

ω - угловая частота;

C_0 - определяется из [6, с. 537, табл. 9.31].

В кабельной сети с общей длиной кабелей L_{KM} ток однофазного замыкания с достаточной для РЗ точностью может быть определен из выражения:

$$I^{(1)}_{к.з.сети} = \frac{U_{сети} \cdot L_{сети}}{10},$$

где $U_{сети}$ - напряжение сети в кВ;

L - длина всех кабелей, питающихся с шин данного напряжения в км [8].

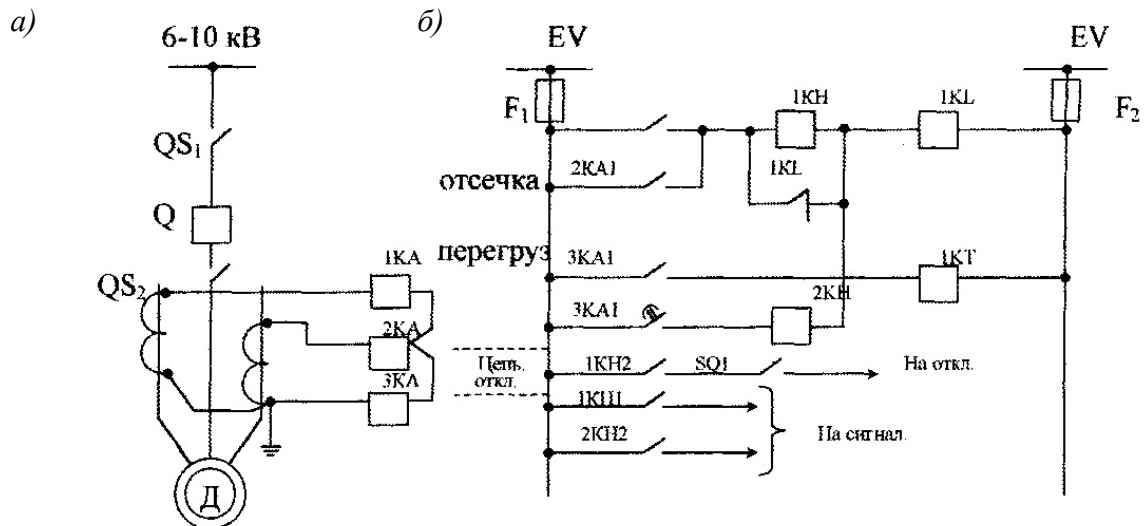


Рисунок 4 - Схемы токовых (а) и оперативных (б) цепей

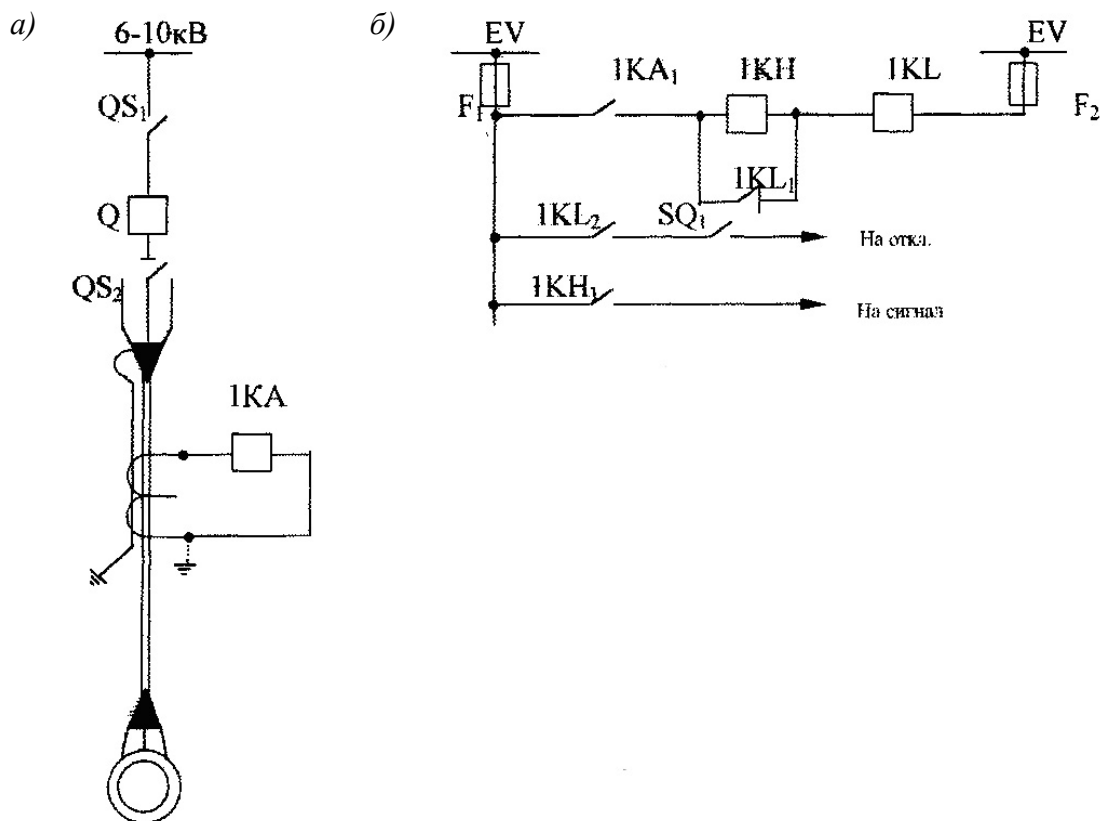


Рисунок 5 - Токовые цепи защиты двигателя от замыкания на землю (а) и оперативные цепи (б)

Коэффициент чувствительности определяется из выражения:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.з.сети}}^{(1)}}{I_{\text{к.з.каб.}}^{(1)}} \geq 1,25. \quad (2.7)$$

2.3 Защита двигателя от перегрузки

Защита от перегрузки устанавливается из условия отстройки ее от номинального тока и рассчитывается по выражению:

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{K_{\text{н}}}{K_{\text{в}}} \cdot I_{\text{ном}}. \quad (2.8)$$

Время действия защиты от перегрузки должно быть таким, чтобы оно было больше времени пуска электродвигателя при эксплуатационно возможном снижении напряжения, а у двигателей, у которых возможен самозапуск - больше времени для самозапуска. Время пуска асинхронных электродвигателей обычно составляет 10-15 с [4, с. 572]. Схема защиты от перегрузки приведена на рисунке 4, реле 3КА.

2.4 Защита электродвигателя от понижения напряжения

Защита минимального напряжения устанавливается на эл. двигателях, которые отключаются при понижении напряжения для обеспечения самозапуска ответственного электропривода. Время срабатывания таких защит должно быть на 0,5 с больше выдержки времени основных токовых защит. Оно должно составлять $0,7U_{\text{ном}}$ [1, пп. 5.3.52-5.3.53].

Схема защиты минимального напряжения приведена на рисунке 6 а, б.

2.5 Пример расчета релейной защиты электродвигателя

Данные двигателя:

- $U_{\text{ном}}$ - 6 кВ;
- $\cos \varphi = 0,89$;
- $P_{\text{ном}}$ - 1000 кВт;
- $I_{\text{ном}}$ - 116 А;
- к.п.д. $\eta = 95,8$;
- $K_{\text{пуск.период.}} = 4,4$;
- длина кабельной линии $L = 3$ км;
- марка кабеля ААБл (3х70).

Расчеты ведутся в соответствии с расчетной схемой (рисунок 7).

$$I_{\text{к.з.мак}}^{(3)} = 4466 \text{ А}; I_{\text{к.з.мак}}^{(2)} = 3840 \text{ А}; I_{\text{к.з.мин}}^{(2)} = 3300 \text{ А}; I_{\text{к.з.}}^{(1)} = 1,71 \text{ А}.$$

Для выбора ТТ необходимо найти $m_{\text{расч.}}$ (расчетная кратность первичного тока) [4, с. 98]. Принимается к исполнению ТТ типа ТЛ-10УЗ, $n_{\text{ТТ}} = 400/5=80$, $m_{\text{пред.}} = 17$ [6, табл. 5.36].

$$m_{расч.} = \frac{K_a \cdot I_{пер.пуск.}}{\alpha \cdot I_{пер.ном.}} = \frac{1,2 \cdot 4466}{0,8 \cdot 400} = 16,7 < 17,$$

где $K_a=1,2$; $\alpha = 0,8$ [4, с. 98].

2.5.1 Ток срабатывания защиты от многофазных КЗ

$$I_{с.з.} = \frac{K_n \cdot K_{н.п.} \cdot I_{нач}}{K_g} = \frac{1,2 \cdot 4,4 \cdot 116}{0,85} = 740 A.$$

Принимается схема соединения ТТ неполная звезда, $K_{с.х.}=1$.

Ток срабатывания реле $I_{ср}$

$$I_{ср} = \frac{K_{с.х.} \cdot I_{с.з.}}{K_g} = \frac{1 \cdot 740}{80} = 9,25 A, \text{ при } t_{с.з.}=0.$$

Принимается к исполнению токовое реле РТ-40/10 с пределом регулирования тока 5-10 А при параллельном соединении катушек [5, табл. 5]. Коэффициент чувствительности:

$$K_{\eta} = \frac{I_{к.з.мин}^{(1)}}{I_{с.з.}} = \frac{3300}{740} = 4,5 > 1,5.$$

2.5.2 Защита от однофазных замыканий на землю

В данном случае такая защита не требуется, т.к. $I_{к.з.}^{(1)}=1,71 < 10$ А [1, п. 5.3.48].

2.5.3 Защита от перегрузки

Ток срабатывания защиты:

$$I_{с.з.} = \frac{K_n}{K_g} \cdot I_{ном.} = \frac{1,2}{0,85} \cdot 116 = 164 A.$$

Ток срабатывания реле:

$$I_{ср} = \frac{K_{с.х.}}{80} \cdot I_{ном.} = \frac{1}{80} \cdot 164 = 2,05 A; \quad t_{ср} = 10 с.$$

Реле тока типа РТ-40/6 с пределом регулирования тока 1,5-3 А при последовательном соединении катушек [5, табл. 5].

Реле времени выбирается типа ЭВ-245, $U_{ном} = 220$ В, с пределом регулирования времени 1-20 с [3, табл. 98].

2.5.4 Защита от понижения напряжения

Напряжение срабатывания защиты $U_{ср.з.} = 0,7 U_{ном.}$ На каждой секции шин 6 кВ ГПП установлен трансформатор напряжения типа НАМИ-6-77У4 с коэффициентом трансформации $n_{ТН}=6000/100=60$. Тогда $U_{с.р.}=0,7 \cdot 6000/60=70$ В, $t_{с.з.}=0,5$ с. Реле напряжения принимается типа РН-154/160 с пределом регулирования напряжения 40-80 В на первом диапазоне уставок [5, табл. 65].

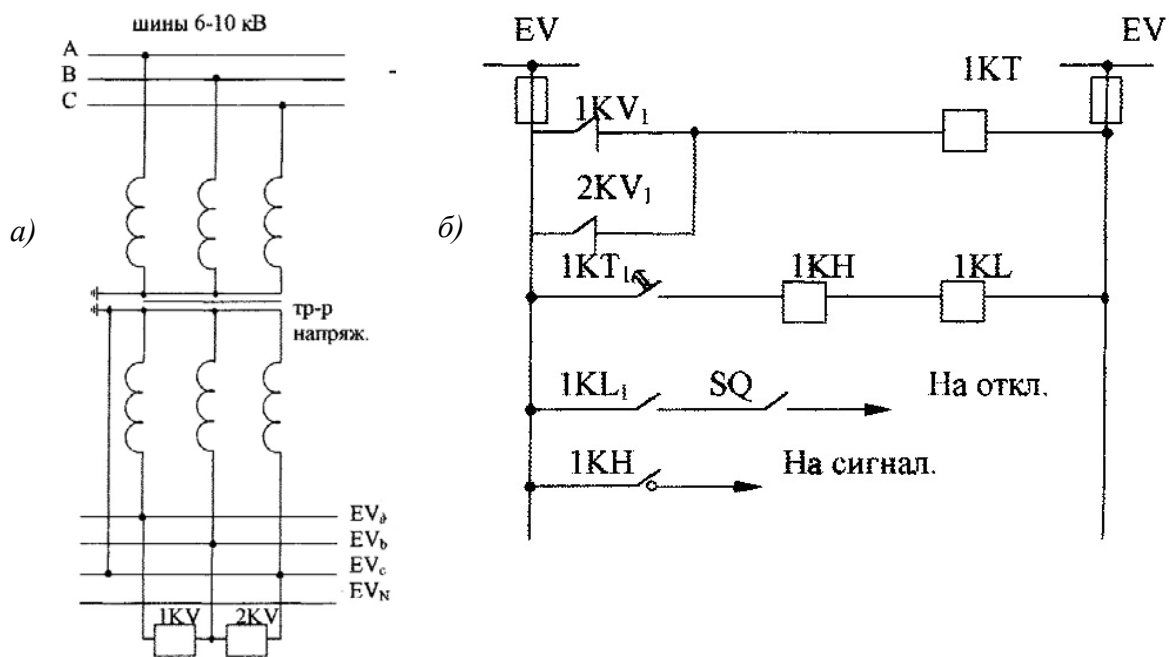


Рисунок 6 - Схема цепей напряжения (а) и расчетная схема (б)

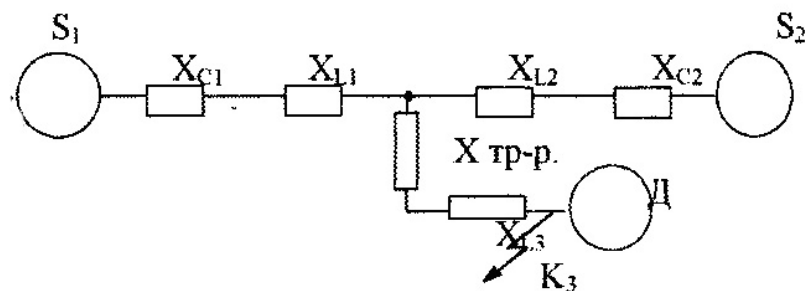


Рисунок 7 - Расчетная схема

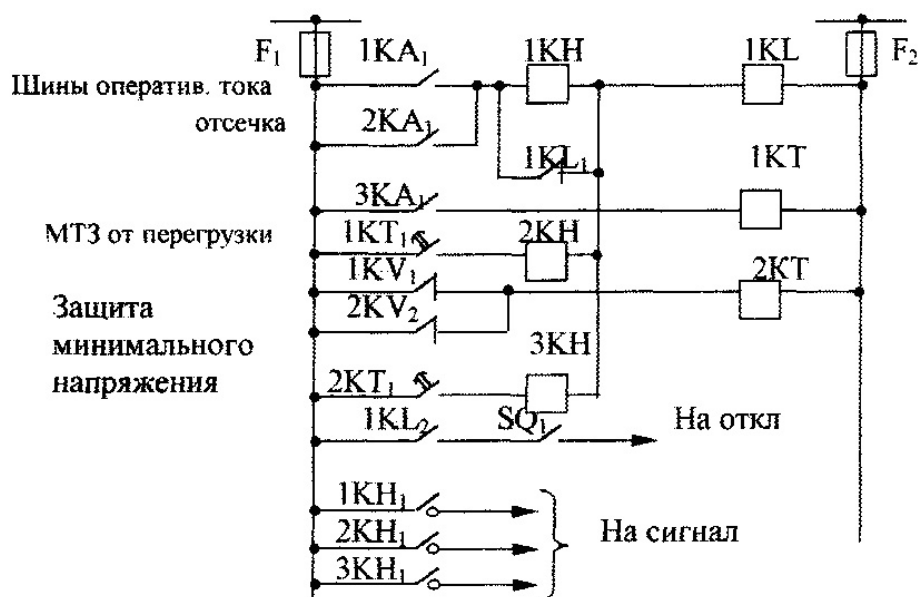


Рисунок 8 - Схема оперативных цепей защиты двигателя

Реле времени принимается типа ЭВ-215 с пределом регулирования времени 0,1-1,3 с, $U_{ном} = 220\text{В}$.

Выбирается промежуточное реле типа РП-25; $U_{ном} = 220\text{ В}$; $t_{ср} = 0,06\text{ с}$ [3, табл. 124].

Сигнальные реле принимаются типа РУ-21/0,05 последовательного включения с катушкой промежуточного реле РП-25 [5, табл. 159].

Схема релейной защиты двигателя приведена на рисунке 8.

3. Защита кабельной линии 6-10 кВ

В соответствии с [1, пп. 3.2.91-3.2.96] на одиночных кабельных линиях 6 кВ с односторонним питанием должны быть предусмотрены следующие устройства релейной защиты:

- защита от многофазных замыканий без выдержки времени (токовая отсечка);
- максимальная токовая защита (МТЗ) с выдержкой времени, согласованной со смежным участком;
- защита от замыканий на землю.

Требования к защите с малыми токами замыканий на землю значительно отличается от требований, предъявляемых к защите от междуфазных КЗ. Замыкание на землю не вызывает появление сверхтоков и не искажает величины междуфазных напряжений, они не отражаются на питании потребителей и не сопровождаются перегрузкой оборудования. Поэтому в отличие от междуфазных замыканий, однофазные замыкания на землю не требуют немедленной ликвидации. Однако в сильно разветвленной и протяженной кабельной сети суммарный емкостный ток замыкания в электрически связанных подсоединениях оказывается значительным и может разрушить изоляцию в месте замыкания с переходом однофазного замыкания в междуфазное.

На кабельных ЛЭП выполняются следующие типы токовых защит от междуфазных КЗ:

- токовая защита в двухфазном исполнении с независимой выдержкой времени (рисунок 9);
- токовая защита с включением токового реле на разность фазных токов с независимой выдержкой времени (рисунок 10);
- токовая защита с включением токового реле типа РТ-80 с ограниченно-зависимой характеристикой, на разность токов двух фаз (рисунок 11);
- токовая отсечка и МТЗ с независимой выдержкой времени в двухфазном исполнении (рисунок 12).

Защита по схеме рисунка 9 используется на кабельных ЛЭП 6-10 кВ в том случае, если защита, включенная на разность токов двух фаз, не обеспечивает требуемой чувствительности. Во всех других случаях, за ис-

ключением перечисленных ниже, применяется защита, собранная по схеме рисунка 10. При возможности установки защиты с комбинированной характеристикой (отсечка и резервная токовая защита), должна использоваться схема, представленная на рисунке 11. Если использование реле с ограниченно-зависимой характеристикой (рисунок 11) вызывает затруднения в части согласования защит питающей сети, необходимо применение схемы защиты по рисунку 12.

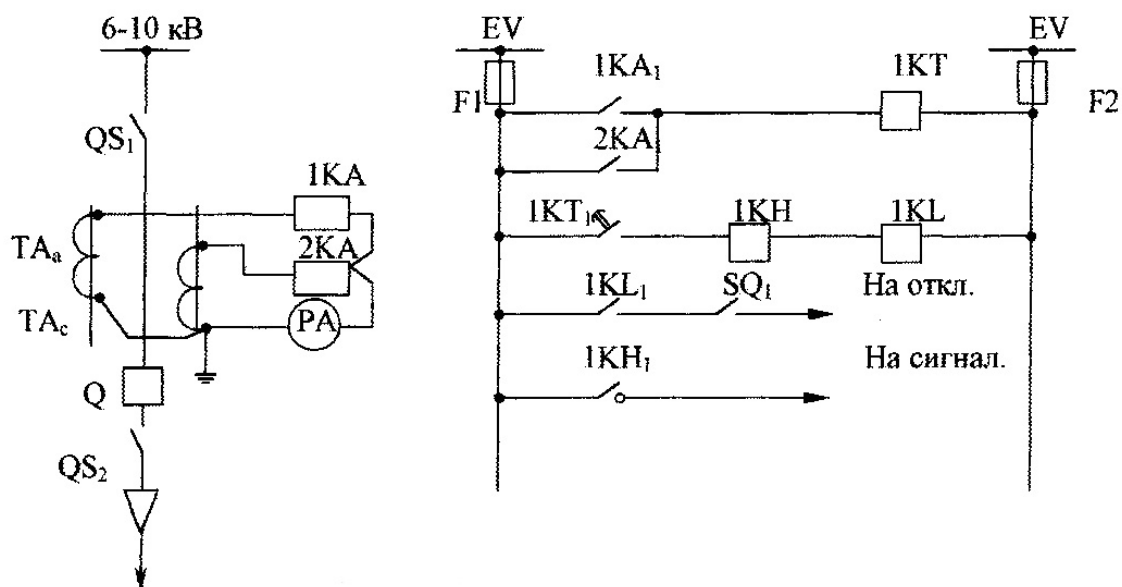


Рисунок 9 - Схема защиты с независимой выдержкой времени

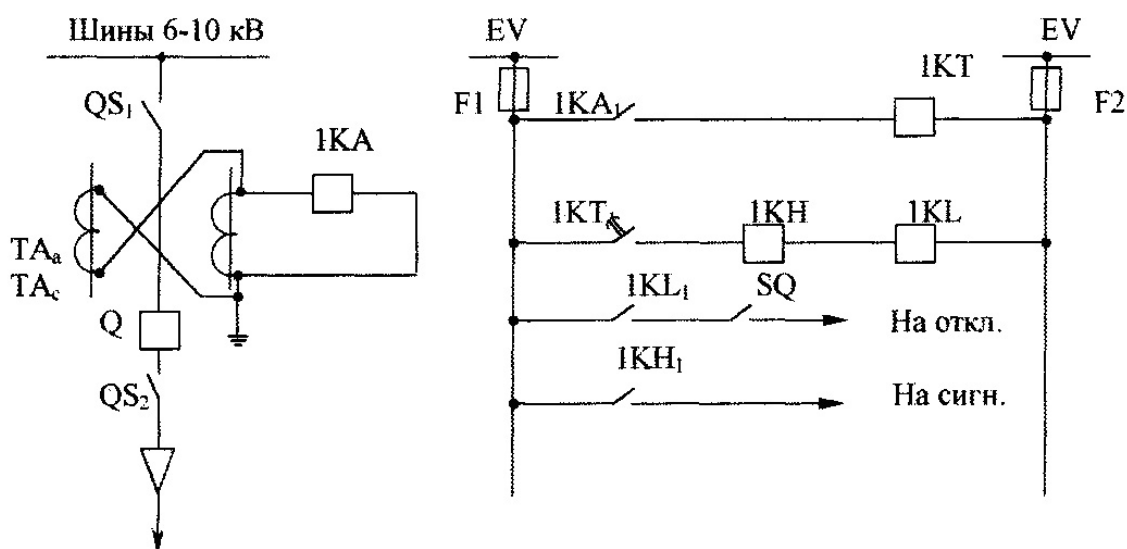


Рисунок 10 - Схема защиты на разность токов 2-х фаз

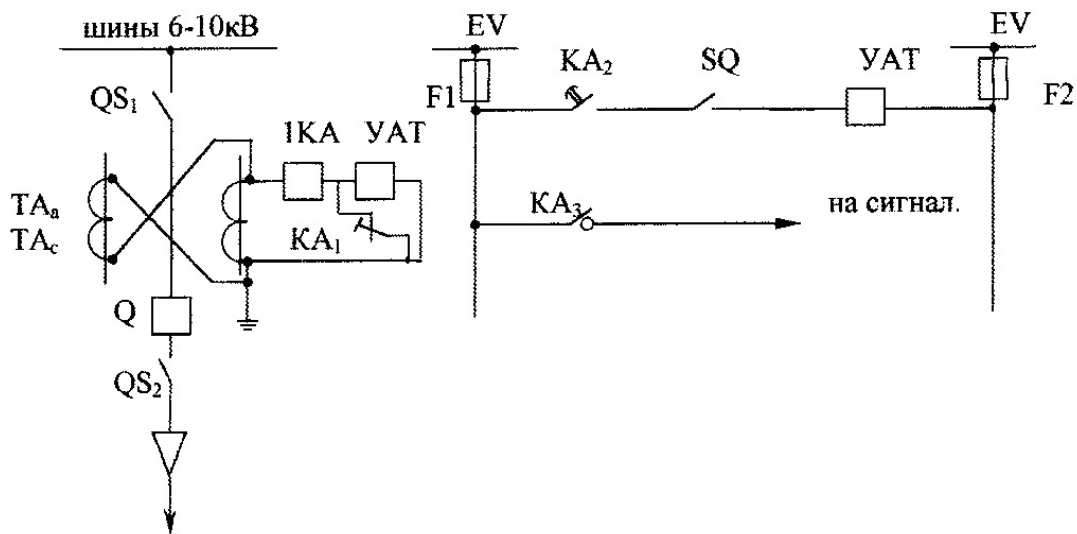


Рисунок 11 - Схема защиты на разность токов 2-х фаз с ограниченно-зависимой характеристикой

Защита нулевой последовательности от однофазных замыканий на землю выполняется с трансформатором ТНП типа ТНП-2-УЗ, ТНПШ-1-6, ТЗЛМ-УЗ. При наличии нескольких кабелей вторичные обмотки трансформаторов тока соединяются последовательно. Защита устанавливается в сети 6-10 кВ при условии, что суммарный ток замыкания на землю (при наличии компенсации или без нее) равен или превышает 10 А.

3.1 Пример расчета защиты кабеля

3.1.1 Токовая отсечка

По условию селективности с защитами двигателя, защита кабеля без выдержки (отсечка) не должна работать за пределами кабельной линии, и ее ток срабатывания определяется по формуле:

$$I_{с.з.} = K_n \cdot I_{к.з.макс} = 1,1 \cdot 4466 = 4900 \text{ А},$$

где коэффициент надежности принимается равным 1,1.

$$t_{с.з.} = 0.$$

Трансформаторы тока на выключателе кабеля устанавливаются такими же, как и у двигателя (ТЛ-10УЗ, $n_{ТТ}=400/5$). Ток срабатывания реле:

$$I_{с.р.} = \frac{I_{с.з.}}{n_{ТТ}} = \frac{4900}{80} = 61 \text{ А}.$$

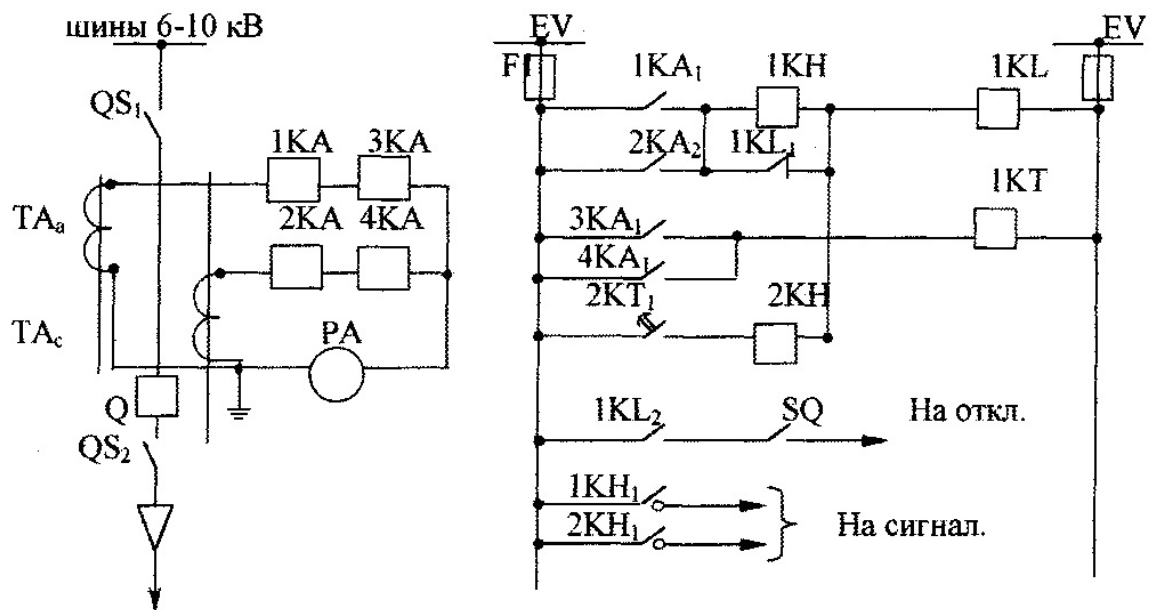


Рисунок 12 - Схема двухступенчатой токовой защиты с независимой характеристикой

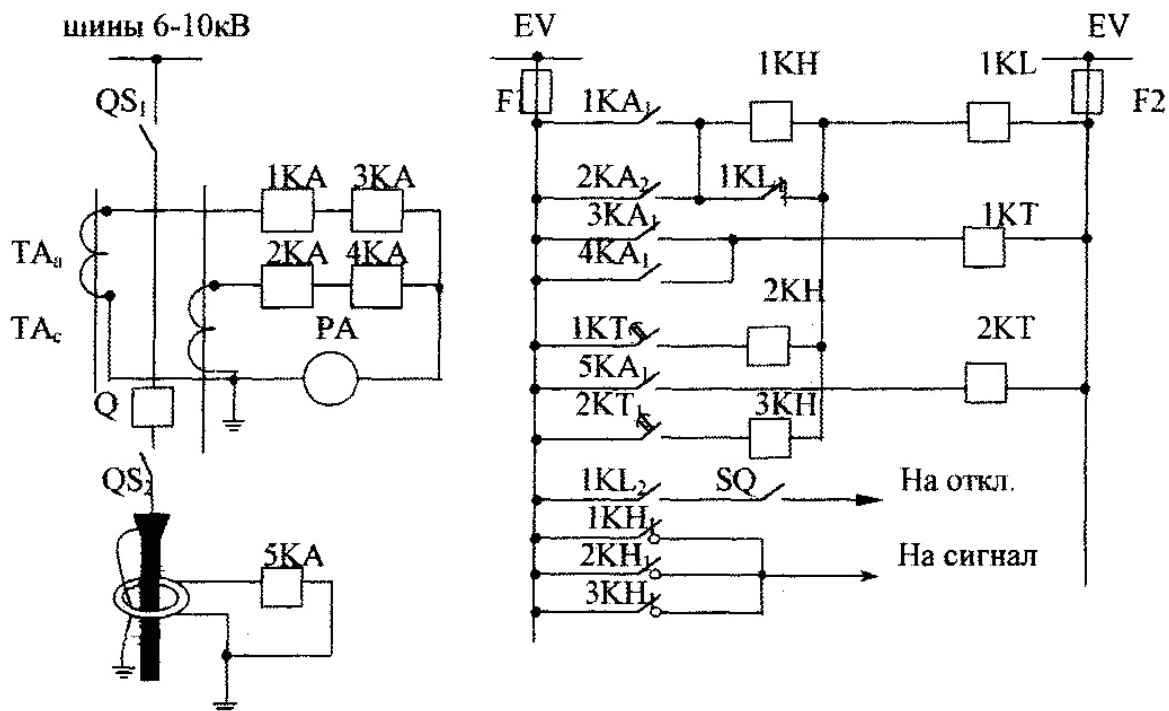


Рисунок 13 - Схема защиты кабеля

При выходе из строя одного из трансформаторов ГПП нагрузка двух секций 6-10 кВ будет обеспечиваться одним трансформатором, и согласовать уставки по току и выдержки времени на реле типа РТ-80 не представляется возможным. Поэтому к исполнению принимается защита, выполненная по схеме рисунка 12.

При отказах защиты двигателя от междуфазных КЗ должна работать резервная МТЗ [1, п. 3.2.93].

Ток срабатывания защиты двигателя от междуфазных КЗ равен 740 А. Тогда ток срабатывания МТЗ кабельной линии равен:

$$I_{с.з.} = \frac{K_n \cdot I_{с.з.дв}}{K_g} = \frac{1,1 \cdot 740}{0,85} = 960 \text{ А};$$

$$t_{с.з.} = t_{дв} + \Delta t = 0,5 + 0,5 = 1 \text{ с}.$$

Ток срабатывания реле

$$I_{с.р.} = \frac{I_{с.з.каб}}{n_{ТТ}} = \frac{960}{80} = 12 \text{ А}.$$

Выбирается токовое реле типа РТ-40/20; реле времени ЭВ-215 [5].

3.1.2 Защита кабельной линии нулевой последовательности от однофазных замыканий на землю

Так как минимальное число отходящих кабельных линий от шин ГПП по заданию равно 16, а средняя их длина 1,7 км, то минимальный ток однофазного КЗ в сети 6 кВ будет равен:

$$I^{(1)}_{к.з.} = \frac{U_{сети} \cdot L_{каб} \cdot n}{10} = \frac{6 \cdot 1,7 \cdot 16}{10} = 16,32 \text{ А}.$$

Установка защиты от однофазных замыканий обязательна [1].

Выбирается ТТ нулевой последовательности для одиночного кабеля типа ТЗЛМ-УЗ [7, табл. 5.40]. Ток срабатывания защиты:

$$I_{с.з.} = K_n \cdot I^{(1)}_{к.з.} = 1,2 \cdot 1,71 = 2 \text{ А}.$$

В соответствии с [1, п. 3.2.97] время срабатывания защиты $t_{с.з.} = 0,5 \text{ с}$. Токовое реле типа РТ-40/6; реле времени типа ЭВ-215; промежуточное реле типа РП-25; сигнальное реле типа РУ-21/0,05 [5]. Схема защиты кабеля приведена на рисунке 13.

4. Защита силового трансформатора, установленного на ГПП

В соответствии с [1, пп. 3.2.51-3.2.71] на мощных понижающих трансформаторах ГПП должны быть предусмотрены устройства релейной защиты от следующих видов повреждения и ненормальных режимов работы:

- от многофазных замыканий в обмотках и на выводах трансформатора;
- однофазных КЗ на землю, в обмотках и на выводах, присоединенных к сети с глухо заземленной нейтралью;

- витковых замыканий в обмотках;
- токов в обмотках, обусловленных внешними КЗ;
- токов в обмотках, обусловленных перегрузкой;
- понижений уровня масла;
- однофазных КЗ на землю в сети 6 - 10 кВ, если трансформатор питает сеть, в которой отключение однофазных КЗ необходимо.

Схемы и расчеты релейной защиты трансформаторов должны соответствовать указаниям [9,10].

4.1 Релейная защита от многофазных замыканий в обмотках и на выводах трансформатора

Одной из самых простых и быстродействующих защит от повреждений в трансформаторе является токовая отсечка, действующая мгновенно. Однако она не является полноценной, т.к. реагирует только на большие токи повреждения и охватывает своей зоной действия лишь часть трансформатора. Отсечка не действует при витковых замыканиях и замыканиях на землю в обмотках, работающих на сеть с изолированной нейтралью.

Отсечка должна применяться в комплексе с другими защитами и устанавливается с питающей стороны трансформатора. Ток срабатывания отсечки отстраивается от максимального внешнего ТКЗ и определяется по формуле

$$I_{с.отс} = K_n \cdot I_{вн.макс.}^{(3)} \quad (4.1)$$

Токовая отсечка должна отстраиваться от броска намагничивающего тока $I_{нам}$, возникающего при включении трансформатора под напряжение $I_{с.з.} > I_{нам}$. Для выполнения этого условия ток срабатывания в 3 - 5 раз должен превышать номинальный ток трансформатора.

В зону действия отсечки должны входить обмотки со стороны питания, выводы трансформатора и ошиновка. Коэффициент надежности, учитывающий погрешности работы реле, принимают равным 1,2 - 1,3, а для реле РТ-80 - 1,5 [4]. На трансформаторах, питающихся от сети с глухо заземленной нейтралью, отсечка устанавливается на трех фазах. Схема защиты отсечки приведена на рисунке 14.

4.2 Дифференциальная защита трансформатора

Для защиты трансформатора от внутренних повреждений широкое применение получила дифференциальная защита [4]. Она устраняет многие недостатки токовой отсечки и, работая совместно, обеспечивает необходимую степень защиты трансформатора. В соответствии с принципом действия этой защиты трансформаторы тока устанавливаются с обеих сторон силового трансформатора. Их вторичные обмотки соединяют-

ся таким образом, чтобы при нагрузке или внешних КЗ в реле протекала разность вторичных токов ($I_{\text{втор.}} = I_{1\text{втор.}} - I_{2\text{втор.}}$). Тогда при КЗ в зоне защиты ток в реле равен сумме вторичных токов ($I_p = I_{1\text{втор.}} - I_{2\text{втор.}}$). Если $I_p > I_{\text{ср}}$, то реле приходит в действие и отключает трансформатор. Для того, чтобы дифференциальная защита не работала при нагрузке или внешних КЗ, необходимо уравнивать вторичные токи в плечах защиты так, чтобы в этих случаях ток в реле отсутствовал $I_p = I_{1\text{в}} - I_{2\text{в}} = 0$ [4]. Эти условия выполняются при применении реле с насыщающимися трансформаторами тока (НТТ) типа РНТ-565 или ДЗТ-11 [10].

Первичный ток срабатывания защиты $I_{\text{с.з.}}$ выбирается по следующим условиям:

1. Отстройка от расчетного максимального первичного тока небаланса ($I_{\text{нб.расч.}}$) при переходном режиме внешних КЗ. Первичные токи должны быть приведены к одной ступени напряжения [10]:

$$I_{\text{с.з.}} \geq K_n \cdot I_{\text{нб.расч.}}, \quad (4.2)$$

где K_n - коэффициент надежности, учитывающий погрешности реле, ошибки расчета и необходимый запас, может быть принят 1,2-1,3 [10].

2. Отстройка от броска намагничивающего тока при включении ненагруженного трансформатора под напряжение

$$I_{\text{с.з.}} = K_{\text{отстр.}} \cdot I_{\text{ном}}, \quad (4.3)$$

где $K_{\text{отстр.}} = 1,1-1,3$ [10].

Расчетный ток небаланса может быть определен как сумма трех составляющих:

$$I_{\text{нб.}} = I_{\text{нб.расч.}}^{(1)} + I_{\text{нб.расч.}}^{(2)} + I_{\text{нб.расч.}}^{(3)}, \quad (4.4)$$

где $I_{\text{нб.расч.}}^{(1)}$ - составляющая, обусловленная погрешностью трансформаторов тока;

$I_{\text{нб.расч.}}^{(2)}$ - составляющая, обусловленная регулированием напряжения;

$I_{\text{нб.расч.}}^{(3)}$ - составляющая, обусловленная неточностью установки витков на НТТ реле.

$I_{\text{нб.}}$ определяют как значение, пропорциональное периодической составляющей трехфазного ТКЗ в максимальном режиме ($I_{\text{вн.макс.}}^{(3)}$).

$$I_{\text{нб.расч.}}^{(1)} = K_{\text{однотип.}} f_i I_{\text{вн.макс.}}^{(3)}, \quad (4.5)$$

где $K_{\text{однотип.}}$ - коэффициент однотипности ТТ на стороне, где трансформатор включен с двумя выключателями (трансформаторы с расщепленными обмотками, сдвоенные реакторы) $K_{\text{однотип.}} = 0,5$ в остальных случаях $K_{\text{однотип.}} = 1$;

f_i - коэффициент, учитывающий полную погрешность ТТ, $f_i = 0,1$.

$$I_{\text{нб.расч.}}^{(2)} = (\Delta U_\alpha + \Delta U_\beta) \cdot I_{\text{вн.макс.}}^{(3)}, \quad (4.6)$$

где ΔU_α и ΔU_β - относительные погрешности, обусловленные регулированием напряжения на сторонах защищаемого трансформатора, принимаются равными половине предела регулирования на соответствующей стороне.

$$I_{\text{нб.расч.}}^{(3)} = \frac{(W_{1.\text{расч.}} - W_1)}{W_1} \cdot I_{\text{вн.макс.}}^{(3)}, \quad (4.7)$$

где $W_{1.\text{расч.}}$ - расчетное число витков на основной стороне;

W_1 - установленное целое число витков на основной стороне.

Коэффициент чувствительности определяется, как отношение минимального тока короткого замыкания на стороне низшего напряжения к току срабатывания защиты.

$$K_q = \frac{I_{\text{мин}}^{(2)}}{I_{\text{с.з.}}} \geq 2. \quad (4.8)$$

На рисунке 15 приведена схема токовых цепей дифференциальной защиты.

Для компенсации угловой погрешности, вызванной схемой соединения силового трансформатора (Y/Δ), ТТ со стороны звезды соединяются в треугольник, а со стороны треугольника - в звезду.

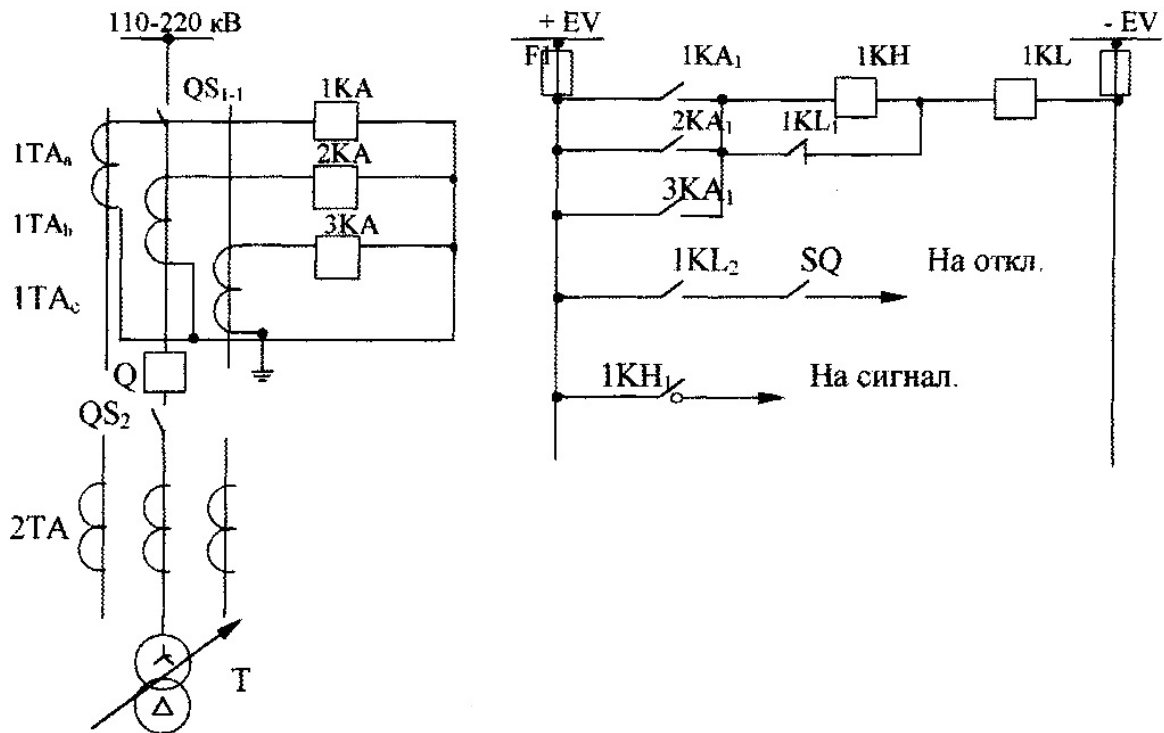


Рисунок 14 - Схема токовой отсечки трансформатора ГПП

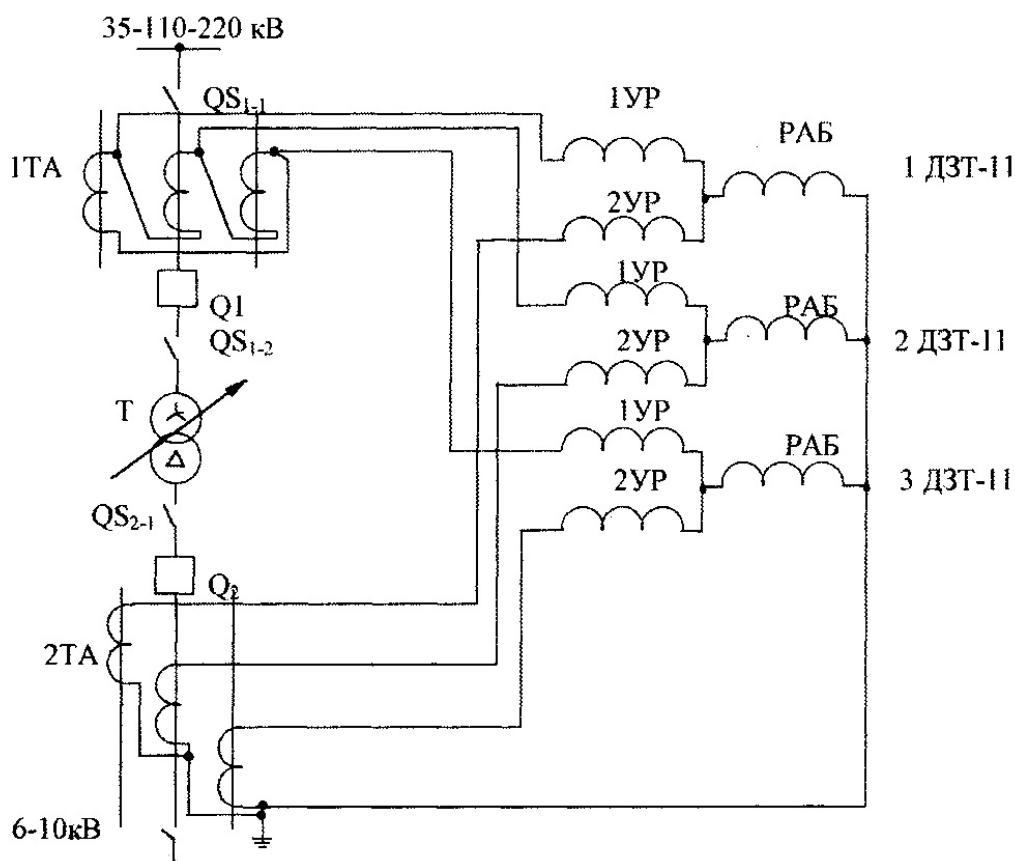


Рисунок 15 - Схема токовых цепей дифференциальной защиты трансформатора

4.3 Максимальная токовая защита трансформатора

Защита устанавливается со стороны питания с тем, чтобы включить в ее зону действия сам трансформатор. Для расширения зоны действия МТЗ ТТ устанавливаются на вводных выключателях со стороны шин [4]. Защита выполняется по трехфазной схеме. Схема с одним реле, включенным на разность токов двух фаз, не рекомендуется, т.к. защита не работает при некоторых двухфазных замыканиях [4].

Ток срабатывания защиты выбирается исходя из условия, что МТЗ не должна работать при перегрузках. Максимальный ток нагрузки, от которого необходимо отстроить МТЗ, определяется исходя из условия максимально допустимых перегрузок трансформатора [4; 10]:

$$I_{с.з.} = \frac{K_n \cdot K_z \cdot I_{раб.макс}}{K_v}, \quad (4.9)$$

где K_n - коэффициент надежности равен 1,2;

K_z - коэффициент, учитывающий увеличение тока при запуске или самозапуске электродвигателей;

K_v - коэффициент возврата токовых реле.

Коэффициент чувствительности МТЗ определяется, как отношение минимального тока КЗ в месте установки к току срабатывания защиты [4]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз.мин}}}{I_{\text{с.з.}}} \geq 1,5. \quad (4.10)$$

Выдержка времени срабатывания МТЗ выбирается из условия

$$t_{\text{МТЗ}} = t_{\text{ЛИН}} + \Delta t, \quad (4.11)$$

где $\Delta t = 0,5$ с.

При большом числе отходящих линий от шин ГПП, ток в конце наиболее удаленного участка может оказаться соизмерим с током нагрузки трансформатора. В этом случае рекомендуется выполнять защиту с пуском по минимальному напряжению. Защита с пуском по напряжению не действует при перегрузках, в связи с этим отпадает необходимость в отстройке токовых реле от аварийных перегрузок, что позволяет получить бóльшую, чем у простой МТЗ, чувствительность. Напряжение срабатывания защиты с пуском по минимальному напряжению принимается $0,7U_{\text{ном}}$ [1]. Напряжение срабатывания реле выбирается из условия, чтобы они не действовали при минимальном рабочем напряжении, срабатывали при внешних КЗ и размыкали контакты после отключения повреждения. Напряжение возврата реле определяется из выражения [4]:

$$U_{\text{воз}} = \frac{U_{\text{раб.мин}}}{n_{\text{ТТ}} \cdot K_{\text{н}}}, \quad (4.12)$$

где $K_{\text{н}}$ - коэффициент надежности, равный 1,1 - 1,2;

$n_{\text{ТТ}}$ - коэффициент трансформации трансформаторов напряжения.

Коэффициент возврата реле равен

$$K_{\text{с}} = \frac{U_{\text{с}}}{U_{\text{с.р.}}} \approx 1,15. \quad (4.13)$$

Тогда:

$$U_{\text{ср}} = \frac{U_{\text{раб.мин}}}{K_{\text{с}} \cdot K_{\text{н}} \cdot n_{\text{ТТ}}}. \quad (4.14)$$

При $K_{\text{н}}=1,2$ и $K_{\text{с}}=1,15$.

$$U_{\text{ср}} = \frac{0,72 \cdot U_{\text{раб.мин.}}}{n_{\text{ТТ}}} \quad (4.15)$$

Чувствительность защиты проверяется по максимальному значению напряжения при КЗ в конце зоны защиты [4]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{сз}}}{U_{\text{кз.макс}}} \geq 1,5. \quad (4.16)$$

4.4 Защита от перегрузки трансформатора

В соответствии с [1, п. 3.2.69] защита от перегрузки действует на сигнал на подстанциях с дежурным персоналом и на разгрузку трансформатора на подстанции без дежурного персонала. Во всех случаях защита от перегрузки действует на включение системы охлаждения трансформатора.

$$I_{cp} = \frac{K_n}{K_g} \cdot I_{ном} , \quad (4.17)$$

где $K_n=1,2$; $K_g = 0,85$ [10].

4.5 Защита от однофазных замыканий на землю на стороне обмотки с глухо заземленной нейтралью

Данная защита выполняется только для трехобмоточных трансформаторов с двухсторонним питанием [9]. Трансформаторы тока устанавливаются в нейтрали трансформатора, если предусмотрен ЗОН, или реле включаются на трехтрансформаторный фильтр токов нулевой последовательности. Схема токовых цепей защиты от замыкания на землю показана на рисунке 16. У двухобмоточных трансформаторов защита от замыканий на землю выполняется как вторая ступень МТЗ и реагирует на $3I_o$ с пуском по $3U_o$:

$$I_{с.з.} = \frac{1}{3} \cdot (I_A + I_B + I_C) \quad (4.18)$$

Для расчетов по релейной защите ток срабатывания замыкания на землю, в соответствии с [11, табл. 1-17], может быть принят 0,33 тока трехфазного замыкания. Время срабатывания защиты устанавливается на Δt больше, чем предыдущая ступень токовой защиты.

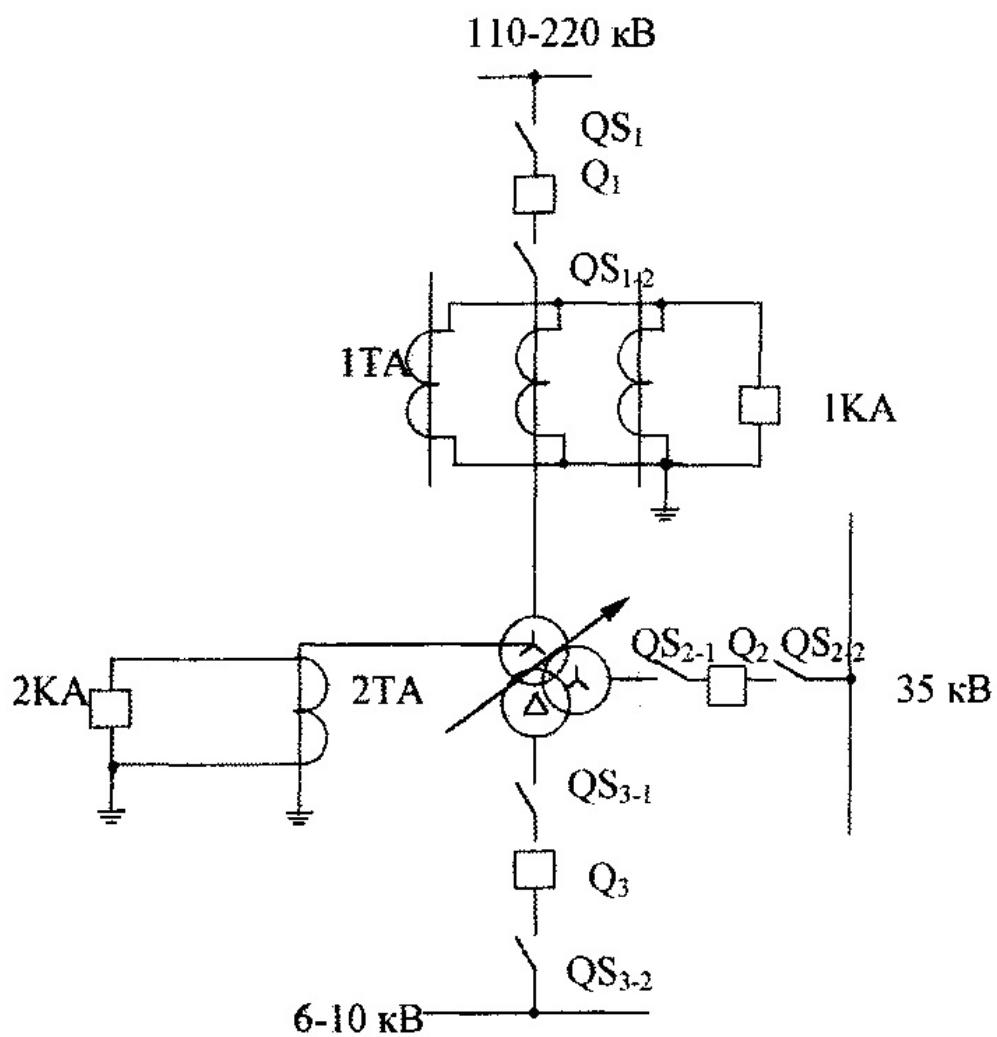


Рисунок 16 - Схема токовых цепей защиты от замыканий на землю

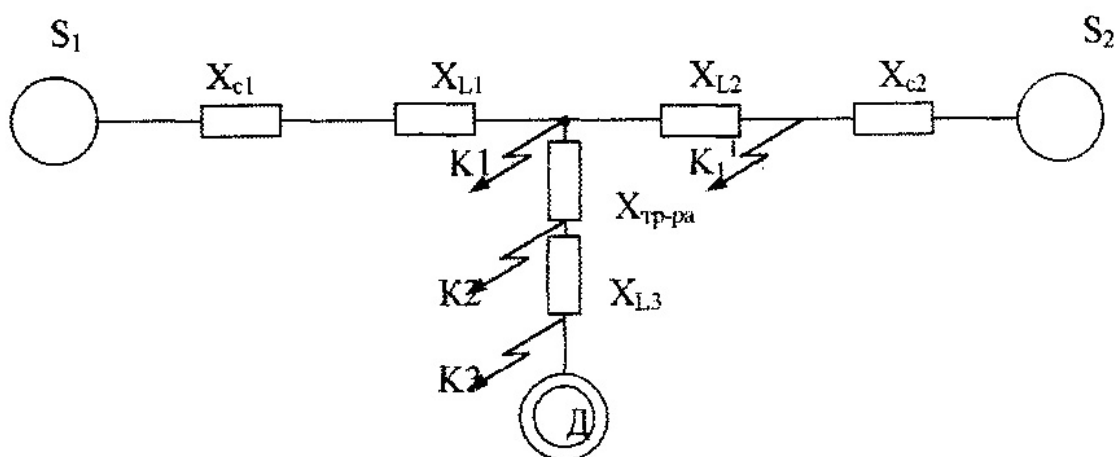


Рисунок 17 - Схема для расчета уставок защиты трансформатора

4.6 Газовая защита трансформатора

Газовая защита выполняется на всех трансформаторах мощностью 1000 кВА и выше и на трансформаторах, отдельно установленных в помещениях мощностью 630 кВА. Данная защита реагирует на внутренние повреждения трансформатора, связанные с интенсивным газообразованием в его баке. Газовое реле может работать как струйное реле при скорости потока масла из бака в расширитель 1-1,5 м/с [4]. Защита выполняется на газовом реле типа РГЧ-66. Верхний контакт реле действует на сигнал, а нижний - на отключение трансформатора без выдержки времени на все выключатели.

4.7 Пример расчета защит силового трансформатора на ГПП

Расчетная схема приведена на рисунке 17. Исходные данные для расчета:

- трансформатор типа ТДН-16000 - 110/6,3 кВ;
- номинальный ток на стороне 110 кВ - 80,4 А;
- номинальный ток на стороне 6,3 кВ - 1470 А;
- трехфазный ТКЗ в точке K_1 от системы S_1 - 4100 А;
- трехфазный ТКЗ в точке K_1 от системы S_2 - 6620 А;
- результирующий трехфазный ТКЗ в точке K_1 - 10720 А;
- минимальный двухфазный ТКЗ в точке K_1 - $6620 \cdot 0,866 = 5700$ А;
- максимальный двухфазный ТКЗ в точке K_1 - $10720 \cdot 0,866 = 9300$ А;
- минимальный однофазный ТКЗ в точке K_1 - $6620/3 = 2200$ А;
- максимальный однофазный ТКЗ в точке K_1 - $10720/3 = 3570$ А;
- X_{K1} от системы S_1 = 16,21 Ом;
- X_{K1} от системы S_2 = 10 Ом;
- результирующее сопротивление в точке K_1 = 6,2 Ом;
- сопротивление трансформатора $X_{тр}$ = 86,6 Ом;
- $\Delta U = \pm 15\%$;
- сопротивление в точке K_2 , приведенное к стороне 110 кВ = 92,8 Ом;
- сопротивление в точке K_2 , приведенное к стороне 6 кВ = 0,28 Ом;
- трехфазный ТКЗ в точке K_2 = 13000 А;
- двухфазный ТКЗ в точке K_2 = 11200 А;
- однофазный ТКЗ в точке K_2 , приведенный к стороне 110 кВ = 310 А;
- двухфазный ТКЗ в точке K_2 , приведенный к стороне 110 кВ = 620 А;
- трехфазный ТКЗ в точке K_2 , приведенный к стороне 110 кВ = 716 А;
- ток качания $I_{кач}$ - 5000 А.

Среднее число отходящих линий от шин ГПП - 30. Средняя длина отходящих линий - 1,7 км.

Однофазный ток КЗ в точке K_2

$$I^{(1)}_{K2} = \frac{U \cdot n \cdot L}{10} = \frac{6 \cdot 30 \cdot 1,7}{10} = 30 \text{ А}.$$

4.7.1 Токовая отсечка

Ток срабатывания отсечки отстраивается от $I_{K2}^{(3)}$ за трансформатором [4] $I_{с.з.} = K_H \cdot I_{K2}^{(3)} = 1,3 \cdot 7816 = 931$ А. Трансформаторы тока, встроенные в силовой трансформатор типа ТВУ -110- 50У1, $n_{ТТ} = 300/5 = 60$. $I_{с.р.} = 931/60 = 15,51$ А. Реле тока типа РТ-40/20. Время срабатывания защиты $t_{с.з.} = 0$. Токовая отсечка должна быть отстроена от броска тока намагничивания $I_{с.з.} > 5 I_{НОМ} = 5 \cdot 80,4 = 402 < 931$ А [4].

Схема отсечки принята в трехрелейном исполнении.

4.7.2 Максимальная токовая защита трансформатора

Защита выполняется со стороны питания на ТТ, установленных на вводных выключателях 110 кВ, с тем, чтобы включить в зону ее действия сам трансформатор, ошиновку и вывода трансформатора. Защита действует на два выключателя (110 кВ и 6 кВ). Защита выполняется по трехфазной трехрелейной схеме [9].

$$I_{с.з.} = \frac{K_H \cdot K_3 \cdot I_{РАБ.МАКС}}{K_B}.$$

Максимальный рабочий ток трансформатора определяется с учетом возможной послеаварийной перегрузки $I_{РАБ.МАКС} = K_{ПЕР} \cdot I_{НОМ} = 1,4 \cdot 80,4 = 112,6$ А.

$$I_{с.з.} = \frac{1,2 \cdot 2,5 \cdot 112,6}{0,85} = 400 \text{ А}.$$

Ток срабатывания реле $I_{с.р.} = \frac{K_{сх} \cdot I_{с.з.}}{n_{ТТ}} = \frac{1 \cdot 400}{60} = 1,55 > 1,5$. Токовое реле типа РТ-40/10. Время срабатывания МТЗ - $t_{МТЗ} = t_{ЛИН} + \Delta t = 1 \text{ с} + 0,5 \text{ с} = 1,5 \text{ с}$. Реле времени типа ЭВ-215 с пределом регулирования времени 0,1 - 3 с [5]. Коэффициент чувствительности:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{K2}^{(2)}}{I_{с.з.}} = \frac{620}{400} = 1,55 > 1,5.$$

4.7.3 Максимальная токовая защита с пуском по минимальному напряжению на стороне 6 кВ

Ток срабатывания МТЗ определяется по вышеприведенным формулам:

$$I_{ср.мтз} = \frac{K_H \cdot K_3 \cdot I_{раб.макс}}{K_{\epsilon}} = \frac{1,3 \cdot 2,5 \cdot 1470}{0,85} = 5600 \text{ А}.$$

ТТ устанавливаются в ячейках вводных выключателей со стороны шин. Тип ТТ ТПШЛ-10-У1, $n_{ТТ} = 2000/5 = 400$ [7].

$$I_{c.p.} = \frac{I_{c.з.} \cdot K_{cx}}{n_{TT}} = \frac{5600 \cdot 1}{400} = 14 A;$$

$$K_{\chi} = \frac{I_{K2}^{(2)}}{I_{c.з.}} = \frac{11200}{5600} = 2 > 1,5.$$

Минимальное рабочее напряжение с учетом пределов регулирования (РПН) и $U_{\min} = 5100$ В. Напряжение срабатывания реле:

$$U_{c.p.} = \frac{0,72 \cdot U_{\text{раб. мин}}}{n_{TH}} = \frac{0,72 \cdot 5100}{60} = 61 В.$$

Максимальное напряжение в точке K_2 при КЗ:

$$U_{K2, \max} = \frac{X_{K2} \cdot I_{\max}^{(3)}}{n_{TT}} = 2113 В.$$

Напряжение защиты при срабатывании реле 61В будет 3660 В.

Коэффициент чувствительности $K_{\chi} = U_{c.з.} / U_{K2, \max} = 3660 / 2113 = 1,7 > 1,5$.

Время срабатывания защиты $t_{c.з.} = t_{\text{лэп. мтз}} + \Delta t = 0,5 + 0,5 = 1$ с.

Реле тока выбирается типа РТ-40/20, реле времени ЭВ-215, реле напряжения типа РН-54/160 [5]. Защита выполняется по двухфазной схеме. ТТ собраны в неполную звезду. Коэффициент схемы равен 1.

4.7.4. Защита от замыканий на землю на стороне 110 кВ в сети с глухо заземленной нейтралью

Ток срабатывания защиты равен $I_{c.з.} = 0,33 (I_A + I_B + I_C)$ или, учитывая данные [11, табл. 1-17], ток однофазного КЗ равен $716/3 = 240$ А, тогда ток срабатывания защиты равен (16-86) [4].

$$I_{c.з.} = K_H K_T I_{K1}^{(1)} = 1,3 \cdot 0,25 \cdot 240 = 78 \text{ А},$$

где $K_H = 1,3$;

K_T - коэффициент распределения тока нулевой последовательности, для данной схемы равен $K_T = 0,25$ [4].

Ток срабатывания реле равен $I_{c.з.} / n_{TT} = 78/60 = 1,3$ А.

Коэффициент чувствительности:

$$K_{\chi} = \frac{K_{cx} \cdot I_{K1}^{(1)}}{I_{c.з.}} = \frac{1 \cdot 240}{78} = 3 > 1,5.$$

Реле тока типа РТ-40/2, реле времени ЭВ-215, $t_{c.з.} = t_{\text{ст}} + \Delta t = 1,5 + 0,5 = 2$ с.

4.7.5 Защита от перегрузки

На подстанциях с постоянным дежурным персоналом защита от перегрузки работает на сигнал и на включение системы охлаждения трансформатора.

$$I_{с.з.} = \frac{K_n}{K_\phi} \cdot I_{ном} = \frac{1,2}{0,85} \cdot 80,4 = 113 A.$$

Время срабатывания защиты $t_{с.з.} = t_{2ст} + \Delta t = 2 + 0,5 = 2,5$ с.

Ток срабатывания реле:

$$I_{с.р.} = \frac{K_{сх} \cdot I_{с.з.}}{n_{ТТ}} = \frac{1 \cdot 113}{60} = 1,9 A.$$

Выбирается токовое реле типа РТ-40/2, реле времени ЭВ-215 [5].

4.7.6 Дифференциальная защита трансформатора

В соответствии с требованиями [10] все расчеты дифференциальной защиты сводятся в таблицу.

Таблица 4.1

Наименование величины	Обозначение и метод определения	Числовое значение	
1	2	3	
Обмотки трансформатора		110 кВ	6кВ
Первичный ток на сторонах защищаемого трансформатора, соответств. его ном. мощности	$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$	$\frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 80,4 A$	$\frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 1470 A$
Схема соединения ТТ		Δ	Y
Коэфф. тр-ции ТТ	$n_{ТТ}$	200/5=40	2000/5=400
Вторичный ток в плечах защиты, соответствующий ном. мощности трансформатора	$I_{ном2} = \frac{I_{ном} \cdot K_{сх}}{n_{ТТ}}$	$\frac{80,4 \cdot \sqrt{3}}{40} = 3,47 A$	$\frac{1470}{400} = 3,67 A$
Ток срабатывания защиты, отстроенный от намагничивающего тока	$I_{с.з.} = K_n \cdot I_{ном}$	$1,3 \cdot 80,4 = 109,5 A$	
Ток сраб. защиты отстраивается от тока небаланса без учета I'''	$(f_i + \Delta U) \cdot I^{(3)}_{к2}$	$(0,1 + 0,16) \cdot 716 = 186 A$	
Принятый ток срабатывания		186 А	
Принятое к исполнению реле	ДЗТ-11	100АВ	

Таблица 4.2

Наименование величины	Обозначение и метод определения	Числовое значение
1	2	3
Ток срабатывания на основной стороне, А	$I_{CP.осн.} = \frac{I_{C.3.} \cdot K_{CX}}{n_{TT}}$	$\frac{186 \cdot \sqrt{3}}{40} = 8,04 A$
Число витков НТТ обмотки реле для основной стороны расчетное предварительно принятое	$W_{расч} = \frac{F_{CP}}{I_{CP.осн.}}$ $W_{OCH} = W_{1УР}$	$100/8,04 = 12,4$ витка 12 витков
Число витков НТТ обмотки реле для неосновной стороны расчетное предварительно принятое	$W_{1рас} = W_{OCH} \frac{I_{осн.в}}{I_{1B}}$ $W_{1рас} = W_{2УР}$	$12 \cdot \frac{3,47}{3,5} = 11,89$ витка 12 витков
Составляющая первичного тока небаланса, обусловленная округлением числа витков	$I_{III_{НБ}} = \frac{W_{1рас} - W_{2УР}}{W_{1рас}} \cdot I_{K2}^{(3)}$	$\frac{0,11}{11,89} = 6,62 A$
Первичный ток небаланса с учетом I^I	$I_{НБ.расч} = I^I + I^{II} + I^{III}$	$186 + 6,62 = 192,62 A$
Ток срабатывания защиты на основной стороне	$I_{CP.3} = \frac{F_{cp} \cdot n_{TT}}{W_{осн} \cdot \sqrt{3}}$	$\frac{100 \cdot 40}{12 \cdot \sqrt{3}} = 192,68 A$
Окончательно принятое число витков	$W_{1УР}$ $W_{2УР}$	12 12

Коэффициент чувствительности защиты определяется по формуле [10]

$$K_{\chi} = \frac{I_{к2.мин}^{(2)}}{I_{cp.з.}} = \frac{620}{192,68} = 3,2 > 2.$$

4.7.7 Защита трансформатора от замыканий на землю на стороне 6 кВ

В силу того, что трансформатор питает сильно разветвленную кабельную сеть с некомпенсированными емкостными токами замыканий на землю, в сети 6 кВ устанавливается резервная защита от однофазных замыканий. В настоящее время ячейки КРУ поставляются с тремя ТТ на вводном и секционном выключателях, это позволяет выполнить защиту на трехтрансформаторном фильтре токов нулевой последовательности. Защита

реагирует на сумму фазных токов $3I_0$. Защита работает на сигнал с выдержкой времени 9 с [4].

$$I_{с.з.} = \frac{U_{сети} \cdot n_{ЛЭП}}{10} = \frac{6 \cdot 32}{10} = 19,2 A.$$

Выбираем реле тока типа РТ-40/20; реле времени ЭВ-245 [5].

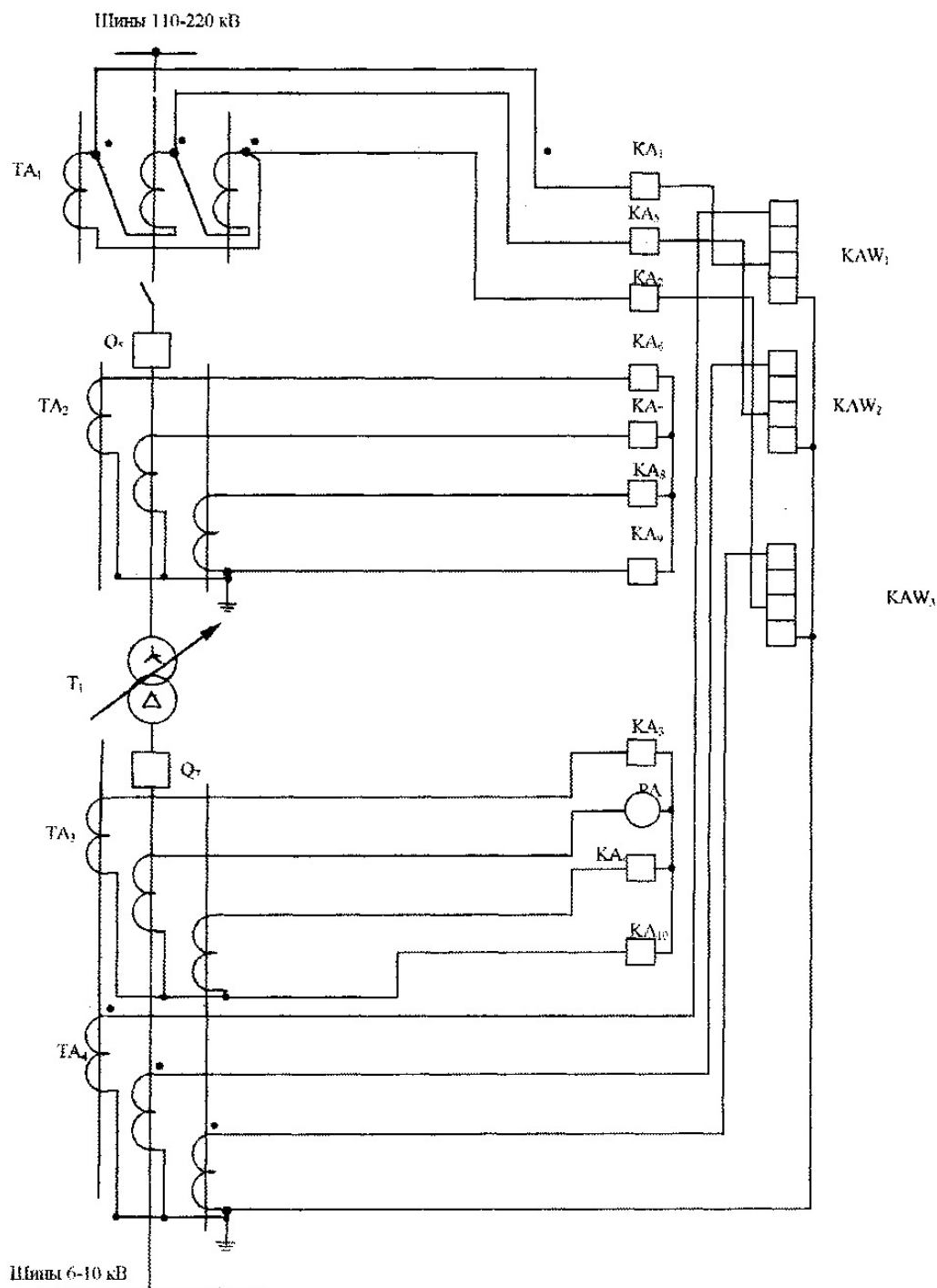


Рисунок 18 - Токowe цепи защиты трансформатора

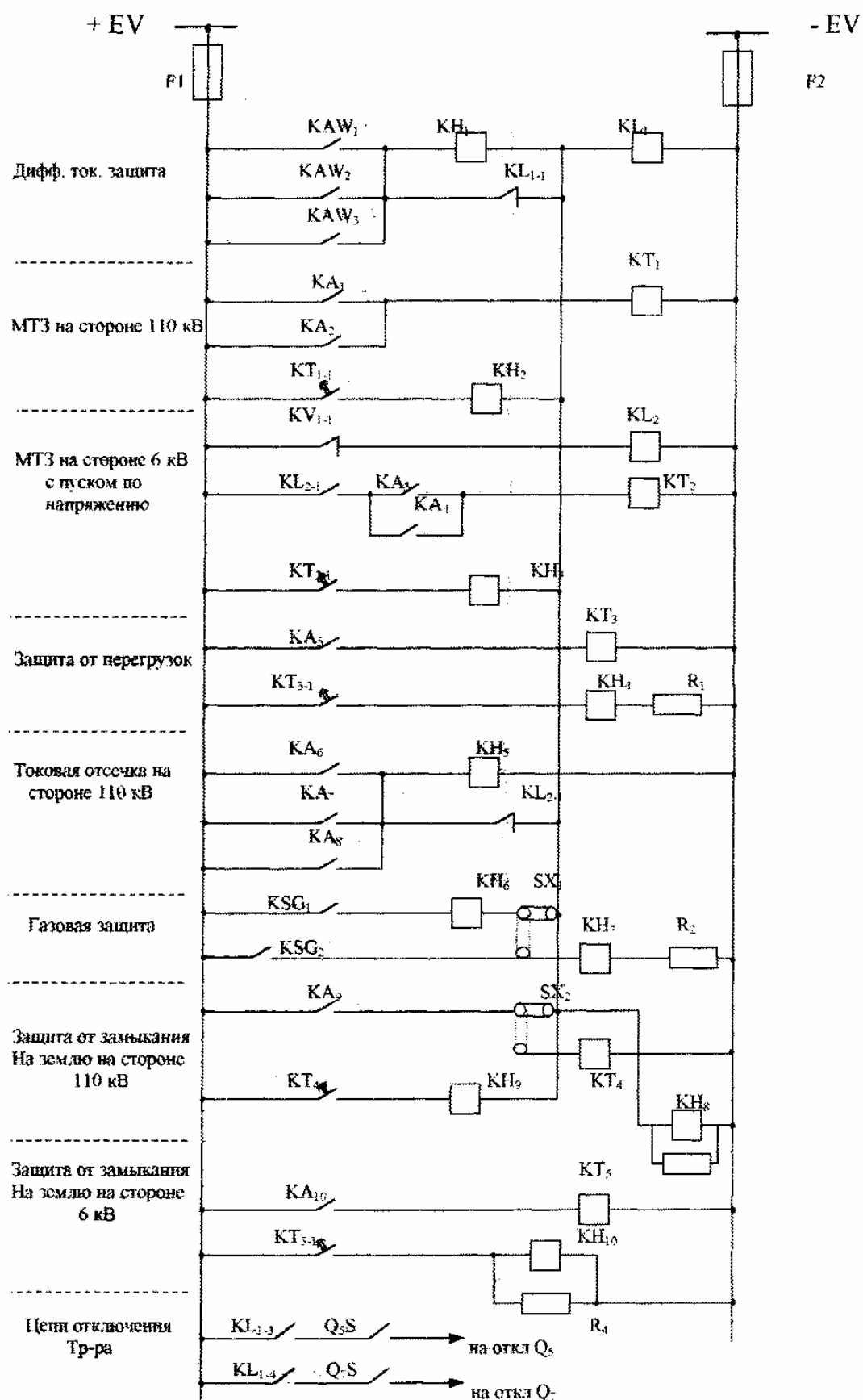


Рисунок 19 - Схема оперативных цепей защиты трансформатора

От трансформатора напряжения 6-10 кВ

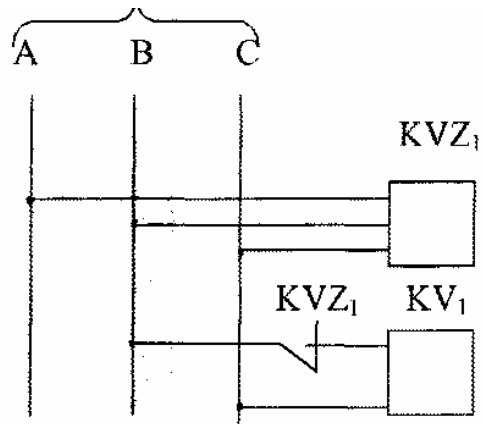


Рисунок 20 - Схема цепей напряжения защиты трансформатора

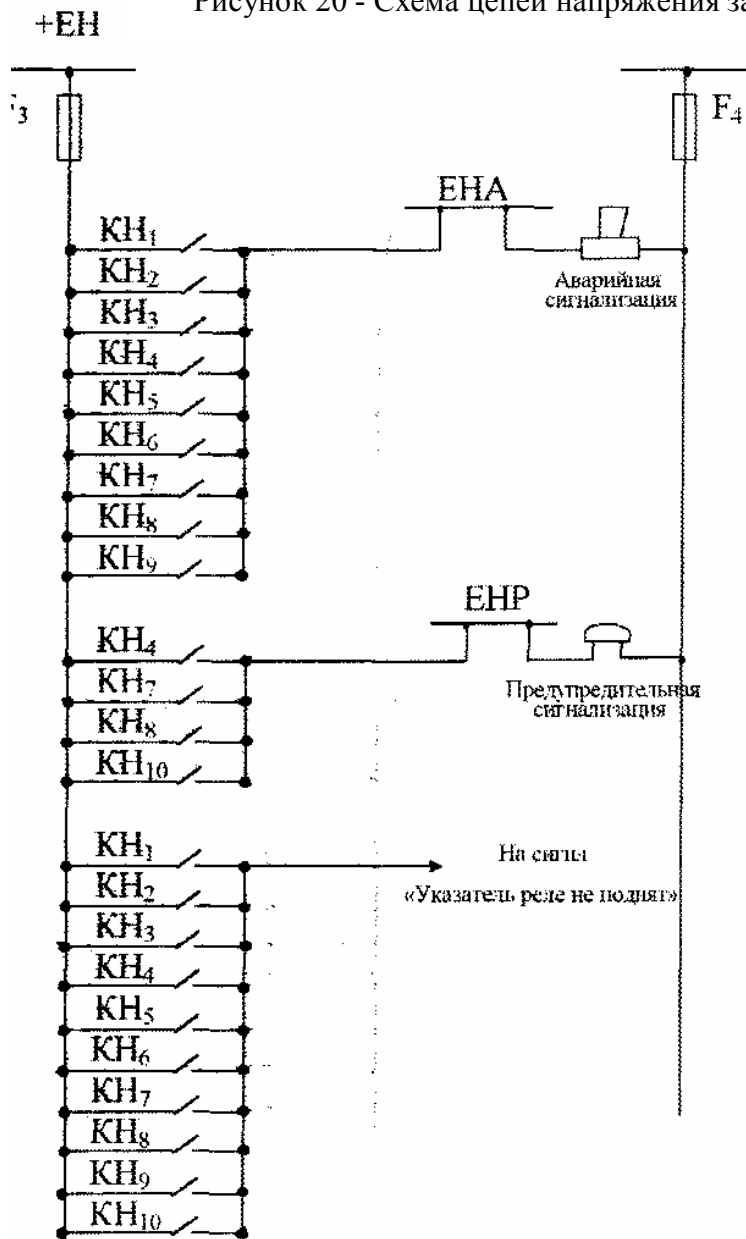


Рисунок 21 - Схема цепей сигнализации защит трансформатора

Защита собирается на реле типа РГЧ-66. Верхний контакт работает на сигнал, а нижний на отключение трансформатора без выдержки времени. В схеме должно предусматриваться переключающее устройство, позволяющее выводить нижний контакт на сигнал.

5. Защита ЛЭП 110-220 кВ по схеме (рисунок 1)

Схема внешнего электроснабжения состоит из двухцепной ЛЭП 110 кВ связи между двумя источниками питания. От этой ЛЭП выполнена отпаечная подстанция 110/6 кВ ГПП. ГПП имеет вводные трансформаторные выключатели Q_5 и Q_6 и секционный выключатель Q_{B1} .

На ЛЭП 110 кВ с глухо заземленной нейтралью, для приведенной схемы должны быть выполнены следующие защиты [1, пп. 3.2.106 - 3.2.118]:

- токовая защита от междуфазных КЗ без выдержки времени (токовая отсечка);
- направленная МТЗ от междуфазных КЗ (1-я ступень с выдержкой времени);
- направленная МТЗ от замыканий на землю (2-я ступень с выдержкой времени);
- резервная направленная МТЗ от замыканий в трансформаторе ГПП (3-я ступень с выдержкой времени).

5.1 Отсечка на линиях с двухсторонним питанием

Мгновенная защита на ЛЭП не должна действовать за пределами защищаемого участка. Зона действия отсечки определяется местом подключения ГПП. Поясняющая схема выбора $I_{с.з.}$ показана на рисунке 22.

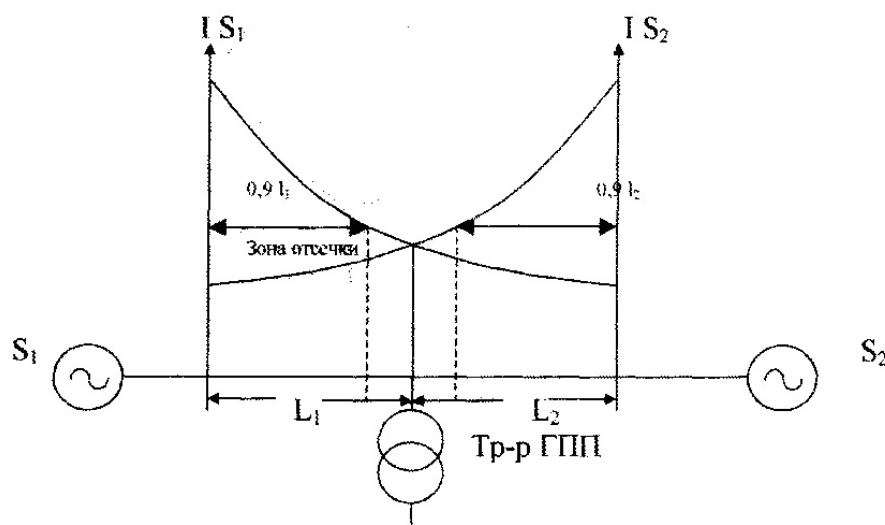


Рисунок 22 - Схема выбора зоны срабатывания отсечки

Ток срабатывания защиты определяется по формуле:

$$I_{с.з.} = K_n I_{KI}^{(3)}. \quad (5.1)$$

Токовая отсечка должна быть отстроена от токов качания.

$$I_{ср.отс} > I_{кач}; \quad I_{кач.макс} = \frac{2E}{\sqrt{3} \cdot (X_{K1S1} + X_{K1S2})}. \quad (5.2)$$

Кроме того, отсечка должна быть отстроена от апериодической составляющей ТКЗ и тока срабатывания разрядников. Эта отстройка выполняется временем срабатывания промежуточных реле ($t_{ср} = 0,06$ с). Аперидическая составляющая ТКЗ затухает за время 0,02 - 0,03 с. Достоинствами отсечек являются быстрота действия, простота в исполнении и эксплуатации, высокая надежность. Недостатки отсечек – неполный охват зоной действия всей длины линии, непостоянства зоны защиты из-за изменяющихся режимов работы системы. Однако в сочетании с МТЗ она позволяет получить многоступенчатую защиту, которая во многих случаях заменяет более сложные защиты.

5.2 Направленная МТЗ от междуфазных замыканий

Для предотвращения неправильной работы МТЗ ток срабатывания необходимо отстроить от токов нагрузки в послеаварийном режиме при отключении внешнего КЗ и от токов, возникающих в неповрежденной фазе при КЗ на землю [4].

Ток срабатывания направленной МТЗ, отстроенной от токов нагрузки,

$$I_{с.з.} = \frac{K_n \cdot K_z \cdot I_{раб.макс}}{K_\phi}. \quad (5.3)$$

Ток срабатывания МТЗ, отстроенный от тока в неповрежденной фазе,

$$I_{с.з.} = K_n \cdot I_{H\Phi}. \quad (5.4)$$

где $I_{H\Phi}$ - ток неповрежденной фазы, определяется из формулы

$$I_{H\Phi} = I_{нагр} + I_{кз}^{(1)}, \quad (5.5)$$

где K_n можно принять 1,2 - 1,3.

К исполнению принимается большая величина тока рассчитанного по формулам (5.2 и 5.4).

Реле направления мощности включается на фазный ток и фазное или междуфазное напряжение. В современных направленных МТЗ применяются схемы включения реле мощности по 90°-ной, в редких случаях по 30°-ной схемам. Векторные диаграммы включения реле мощности показаны на рисунке 23 а,б. Различные схемы включения обмоток напряжения реле мощности предназначены для компенсации угла линии, который определяется по формуле:

$$\varphi_{\text{Л}} = \arctg \frac{X_{\text{Л}}}{R_{\text{Л}}}. \quad (5.6)$$

С точки зрения величины U_p , при междуфазных КЗ, схема включения должна обеспечивать возможную наибольшую мощность на зажимах реле [4].

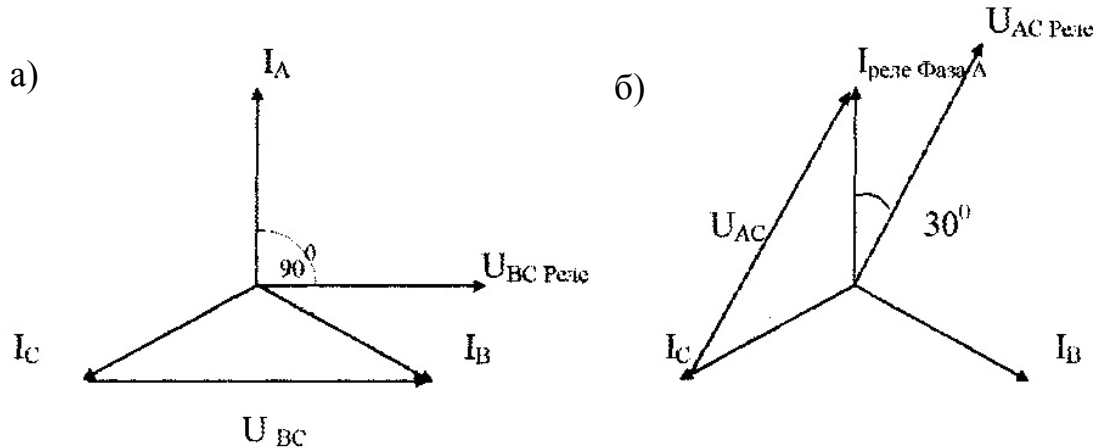


Рисунок 23 - Векторные диаграммы включения реле мощности:
а) 90°-ная схема; б) 30°-ная схема

5.3 Защита нулевой последовательности от замыканий на землю ЛЭП 11.0-220 кВ

Защиту от замыканий на землю, как правило, следует выполнять трехступенчатой [13]. В схемах все защиты могут быть приняты направленными. Для последней ступени защита органов направления мощности может быть исключена, если по условию селективности необходимость в ней отсутствует или она не может быть использована по условию чувствительности.

В качестве реле направления мощности устанавливаются реле типа РБМ-1, реагирующие на мощность:

$$S_p = U_p \cdot I_p \cdot \sin(\varphi_p + 20^\circ), \quad (5.7)$$

где U_p - напряжение $3U_0$;

I_p - ток нулевой последовательности равный $3I_0$;

φ_p - угол максимальной чувствительности ($\varphi_p \approx 62 \div 65^\circ$).

Схема включения реле направления мощности показана на рисунке 24.

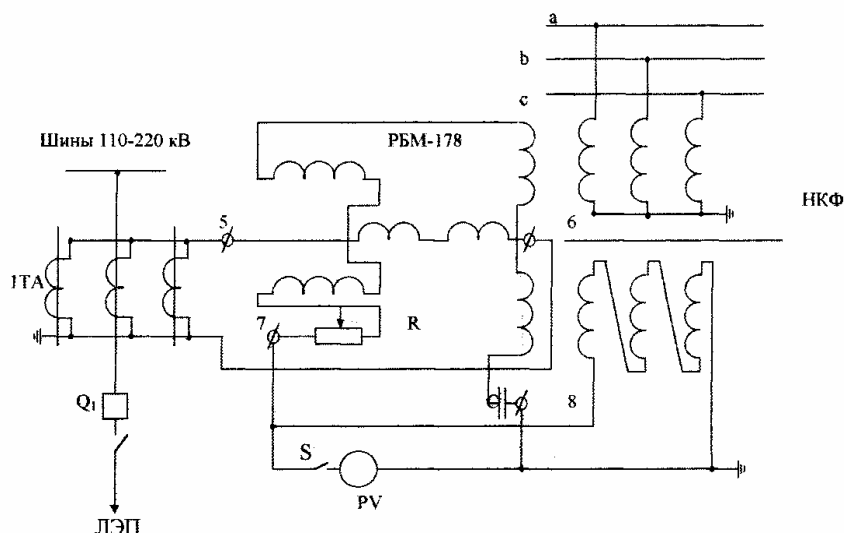


Рисунок 24 - Схема включения реле направления мощности

Предотвращение неправильного действия ступеней защит без выдержки времени и при каскадном действии разрядников наличием времени срабатывания у выходных промежуточных реле ($t_{CP} \approx 0,05 \div 0,06c$).

В схемах защит нулевой последовательности все ступени отстроены от тока замыкания на землю в фиксированных точках, которые определяются исходя из конфигурации с 110 – 220 кВ.

Для схемы рисунка 1 первая ступень отстраивается от ТКЗ в месте подключения Г (конец L_1). Вторая ступень отстраивается от ТКЗ в конце ЛЭП ($L_1 + L_2$) точка K_1^1 выключателя Q_1 .

Третья ступень отстраивается от ТКЗ за сопротивлением силового трансформатора T_1 (точка K_3).

5.4 Пример расчета ступенчатой токовой защиты 2-х параллельных линий ответвлением на двухтрансформаторную подстанцию (ГПП)

Расчет защиты выполнен в соответствии с требованиями ПУЭ и «Руководящими указаниями по релейной защите линий 110 - 220 кВ».

Исходные расчетные данные для расчета релейной защиты ЛЭП L_1 берем по схеме рисунка 1:

U - 110 кВ; $S_1=1900$ МВА; $S_2=1700$ МВА; $L_1=25$ км; $L_2=20$ км; $S_{TP}=16000$ кВ;
 $X_{S1}=U^2/S_1=7$ (Ом); $X_{S2}=U^2/S_2=7,8$ (Ом); $X_{L1}=10$ (Ом); $X_{L2}=8$ (Ом);
 $X_{K1S1}=17$ (Ом); $X_{K2S2}=15,8$ (Ом); $I_{K1S1}^{(3)}=U/1,73 \cdot X_{K1S1}=4$ кА;
 $I_{K1S2}^{(3)}=U/1,73 \cdot X_{K1S2}=4,2$ кА; $I_{K1}^{(3)}=I_{K1S1}^{(3)}+I_{K2S2}^{(3)}=8,2$ кА; $X_{K1}=U/1,73 I_{K1}^{(3)}=8,1$ (Ом);

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot (X_{S1} + X_{L1} + X_{L2})} = \frac{115000}{1,73 \cdot (7 + 10 + 8)} = 2,7 \text{ кА};$$

$$I_{кач} = \frac{2E}{X_{\Sigma} \cdot \sqrt{3}} = \frac{115000}{\sqrt{3} \cdot (X_{S1} + X_{L2} + X_{L1} + X_{S2})} = 4,05 \text{ кА};$$

$$I^{(3)}_{K2} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot (X_{K1} + X_{TP})} = \frac{115000}{1,73 \cdot (8,1 + 80,6)} = 702 \text{ A};$$

X_{L0} - с грозозащитным тросом для двухцепных параллельных линий в расчете релейной защиты можно принять $X_{L0}=3X_L$ [11, с. 18]. Тогда для $L_1 - X_{L0}=30$ (Ом); для $L_2 - X_{L0}=24$ (Ом). Из [11, табл. 1.17] и формулы (1.5) ток двухфазного КЗ определяется:

$$I^{(2)}_{K3} = \frac{\sqrt{3} \cdot I^{(3)}_{K3}}{2} = I^{(3)}_{K3} \cdot 0,865;$$

$I^{(2)}_{K1L1}=3,46$ кА; $I^{(2)}_{K1L2}=3,63$ кА; $I^{(2)}_{K1}=7,1$ кА; $I^{(2)}_{K2}=607$ А; $X_{0K1}=24$ (Ом);
 $I^{(1)}_{K1L1}=1300$ А; $I^{(1)}_{K1L2}=1400$ А; $I^{(1)}_{K1}=2,7$ кА; $I^{(1)}_{K2}=234$ А; $I^{(1)}_{K1}=886$ А;
 $r_{L1}=5,625$ (Ом);

$$\varphi_{L1} = \text{tg} \frac{X_{L1}}{r_{L1}} = \text{tg} \frac{17}{5,625} = 72^\circ.$$

5.4.1 Токовая отсечка для линии L_1 , устанавливаемая на выключателе Q_1

Ток срабатывания отсечки отстраивается от ТКЗ в конце линии

$$I_{сз.отс}=K_n I^{(3)}_{K1S1}=1,3 \cdot 4=5,2 \text{ кА}.$$

Ток отсечки отстраивается от максимального тока качания

$$I_{кач}=4,05 \text{ кА} < 5,2 \text{ кА}.$$

Трансформаторы тока выбираются типа ТВУ-110-50ХЛ2 с коэффициентом трансформации $n_{TT}=600/5=120$.

$$I_{с.р.} = I_{с.з.}/n_{TT}=5200/120=43 \text{ А}.$$

Выбирается реле тока типа РТ-40/50. Время срабатывания защиты $t_{с.з.} = 0$. Защита выполняется по трехфазной трехрелейной схеме, ТТ соединяются в звезду. Коэффициент схемы $K_{сх} = 1$.

5.4.2 Направленная МТЗ от междуфазных замыканий

Ток срабатывания защиты отстраивается от максимального тока нагрузки

$$I_{р.макс.}=2I_{ном.тр.}=170 \text{ А}; \quad I_{с.з.} = \frac{K_n \cdot K_z \cdot I_{р.макс}}{K_\theta} = \frac{1,3 \cdot 4 \cdot 170}{0,85} = 1040 \text{ А}.$$

Ток защиты отстраивается от тока в неповрежденной фазе.

$$I_{нф} = I_{р.макс.} + K_n I^{(1)}_{K2} = 170 + 1,3 \cdot 243 = 632 \text{ А} < 1040 \text{ А};$$

$$I_{ср} = I_{с.з.}/n_{TT} = 1040/120 = 8,7 \text{ А}.$$

Выбирается реле типа РТ-40/10 [5]. Время срабатывания защиты $t_{с.з.} = t_{TP} + \Delta t = 0,5 + 0,5 = 1$ с. Реле времени выбирается типа ЭВ-124 с пределом регулирования 0,25-3 с [5]. Так как $\varphi_{L1}=72^\circ$, выбирается реле типа РБМ-178 [5] с внутренним углом 63° . Реле включается по 90° -ной схеме (рисунок 23, а). Указательные реле выбираются типа РУ-21/0,15 [5].

$$K_{\varphi} = \frac{I^{(2)}_{K1}}{I_{c.з.}} = \frac{3460}{1040} = 3,32 > 1,5.$$

5.4.3 Трехступенчатая направленная защита нулевой последовательности от замыканий на землю ЛЭП L_1

В соответствии с [1, п. 3.2.108] первая ступень защиты работает без выдержки времени, если остаточное напряжение при КЗ в зоне меньше $0,7U_{ном.}$

$$\Delta U_{кз} = X_{0K1} I^{(1)}_{K1L2} = 24 \cdot 1400 = 34 \text{ кВ, что составляет } 0,3U_{ном.};$$

$$I_{C.3.1ст} = K_H I^{(1)}_{K1L1} = 1,2 \cdot 1300 = 1560 \text{ А; } I_{C.P.} = 1560/120 = 13 \text{ А.}$$

Реле тока типа РТ-40/20; $t_{c.з.} = 0$.

Ток срабатывания 2-й ступени отстраивается от тока КЗ в точке K^1_1 .
 $I_{C.3.2ст} = K_H I^{(1)}_{K^1_1} = 1,2 \cdot 886 = 1063 \text{ А; } I_{C.P.} = 1063/120 = 8,9 \text{ А.}$

Реле тока РТ-40/10.

В соответствии с разделом «Принцип выполнения защит» и [13, п. 6] время срабатывания второй ступени должно быть 0,5 с. Реле времени типа ЭВ-114 с пределом регулирования 0,1-1,3 с.

Ток срабатывания третьей ступени должен быть отстроен от тока однофазного КЗ за трансформатором.

$$I_{C.P.3ст} = K_H I^{(1)}_{K2} = 1,2 \cdot 234 = 280 \text{ А; } I_{C.P.} = 234/120 = 2,34 \text{ А.}$$

Реле тока типа РТ-40/6. Время срабатывания третьей ступени должно отстраиваться от времени срабатывания основной защиты трансформатора по току нулевой последовательности, $t_{c.з.} = t_{3тр} + \Delta t = 1,5 + 0,5 = 2 \text{ с.}$

Реле направления мощности включается на $3U_0$ и $3I_0$ одно для всех ступеней защиты. Реле направления мощности работает на промежуточное реле для увеличения числа контактов. Ускорение 2-й ступени защиты после неуспешного АПВ не требуется, т.к. время срабатывания 0,5 с. Ускорение требуется только для третьей ступени [13].

Коэффициенты чувствительности для ступенчатой защиты:

$$K_{\varphi 1ст} = \frac{I_{K^1_1}}{I_{CP1CT}} = \frac{2700}{1560} = 1,7 > 1,5;$$

$$K_{\varphi 2ст} = 2,5 > 1,5;$$

$$K_{\varphi 3ст} = \frac{I^{(1)}_{K1L1}}{I_{c.з.3ст}} = \frac{1300}{280} = 4,6 > 1,5.$$

Схема цепей тока, напряжения и оперативных цепей защиты ЛЭП-110 кВ показана на рисунках 25-27.

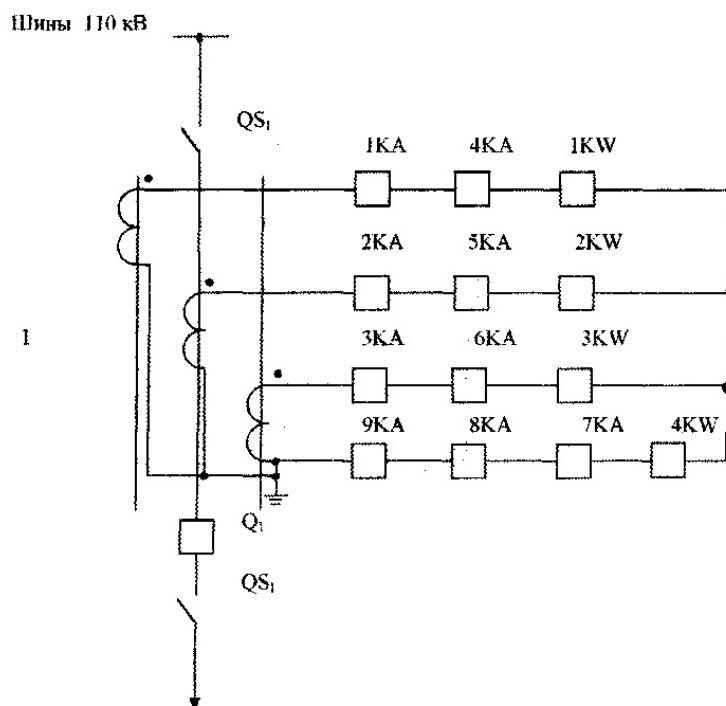


Рисунок 25 – Схема токовых цепей защиты линии

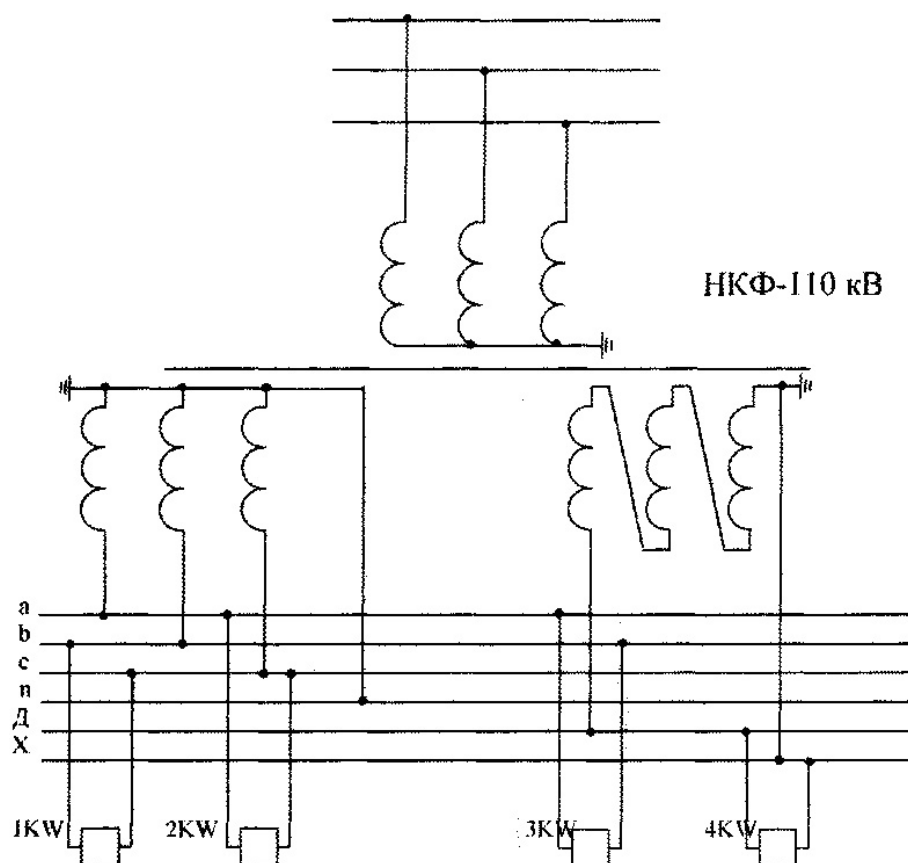


Рисунок 26 – Схема цепей напряжения

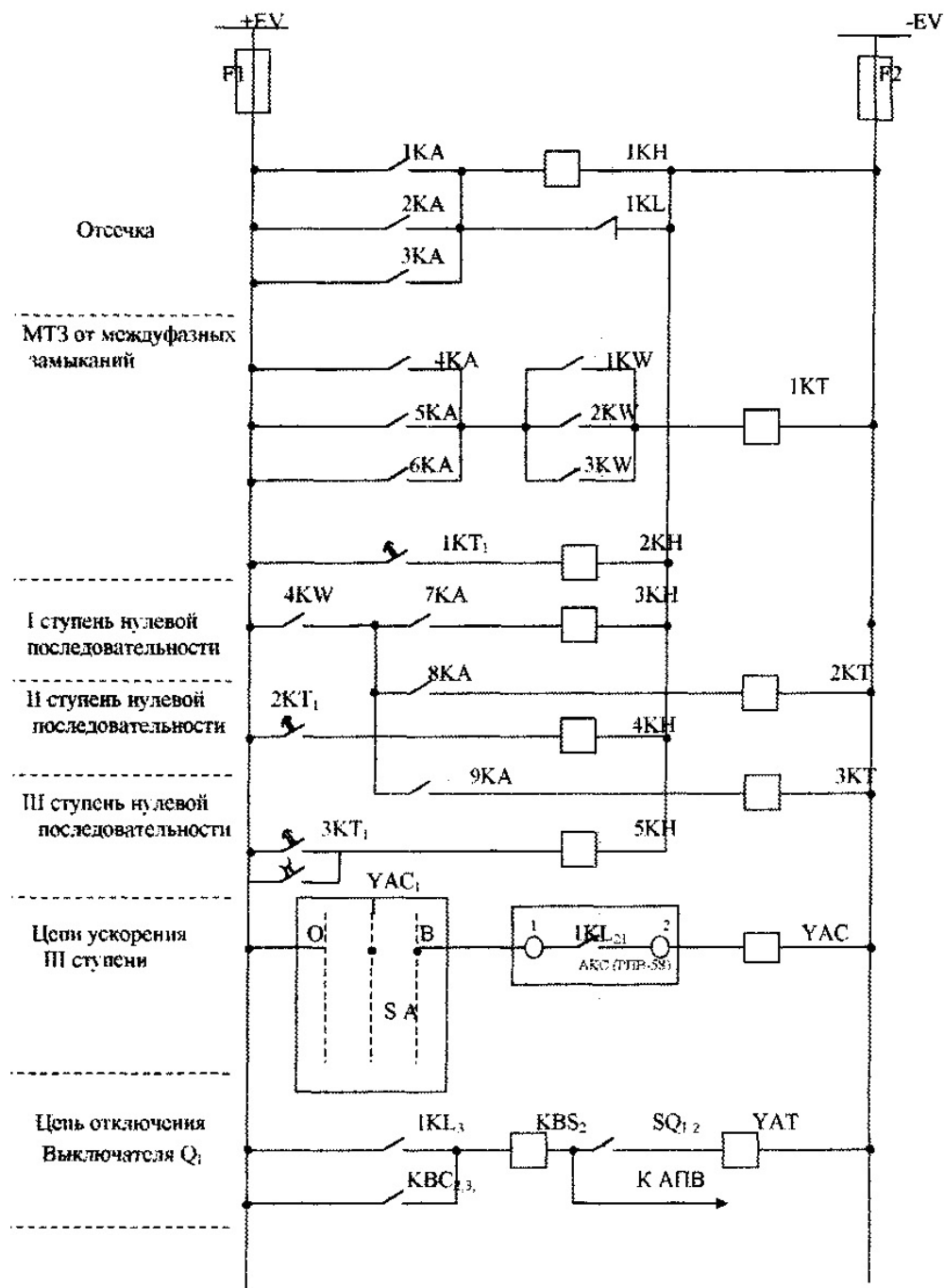


Рисунок 27 – Схема оперативных цепей защиты ЛЭП 110 кВ на выключатели Q_1

5.5 Защита ЛЭП 35 кВ

Токовые защиты линий 35 кВ от междофазных замыканий выполняются и рассчитываются аналогично защитам линий 110-220 кВ. В соответствии с [1, пп. 3.2.100-3.2.103 и 3.2.108] защита от однофазных замыканий на землю выполняется, как правило, с действием на сигнал [1, п. 3.2.99]. Для защиты от замыканий на землю допускается использовать устройства контроля изоляции, собранные на трансформаторах напряжения ЗНОМ, ЗНОЛ или НАМИ, которые устанавливаются во всех сетях с малыми токами замыкания на землю [6].

В качестве фильтра токов нулевой последовательности $3I_0$ на кабельных линиях или линиях с кабельными вставками могут использоваться ТТ нулевой последовательности, магнитопровод которых охватывает все три провода, являющиеся одновитковой первичной обмоткой (ТНП-2, ТНПШ-1, ТЗЛМ-УЗ, ТЗР-1УЗ). Для ЛЭП 35 кВ, не имеющих кабельных вставок, применяются трехтрансформаторные фильтры токов нулевой последовательности.

6. Автоматическое повторное включение (АПВ) ЛЭП 35-220 кВ

В соответствии с [1, п. 3.3.2] на всех линиях выше 1 кВ должны предусматриваться устройства АПВ. Отказ от применения АПВ должен быть в каждом отдельном случае обоснован. Устройства АПВ должны выполняться так, чтобы они не действовали при:

- отключении выключателя персоналом или по телеуправлению;
- автоматическом отключении от РЗ непосредственно после включения персоналом или по телеуправлению;
- отключении выключателя защитами от внутренних повреждений или автоматики АЧР, когда АПВ недопустимо в соответствии с [1, п. 3.3.3].

При применении АПВ должно предусматриваться ускорение действия защит на случай неуспешного АПВ. Выдержка времени устройств АПВ на линиях с двухсторонним питанием должна выбираться с учетом неодновременного отключения КЗ с разных концов линии [1, п. 3.3.4]. Действие АПВ должно фиксироваться указательным реле.

6.1 Схема АПВ, выполненная на реле типа РПВ-58

Разнообразные схемы АПВ для выключателей с различными приводами приведены в [14]. Большинство линий 35-110-220 кВ оборудованы выключателями с электромагнитным приводом. Для таких выключателей промышленностью выпускается комплектное реле типа РПВ-58.

В каждом конкретном случае, в соответствии с заданием, необходимо

выполнить АПВ на любом выключателе головных участков, питающих ЛЭП.

Для примера на рисунке 28 приведена схема АПВ для выключателя Q_1 , установленного со стороны системы большей мощности, которая работает без контроля наличия напряжения и контроля синхронизма.

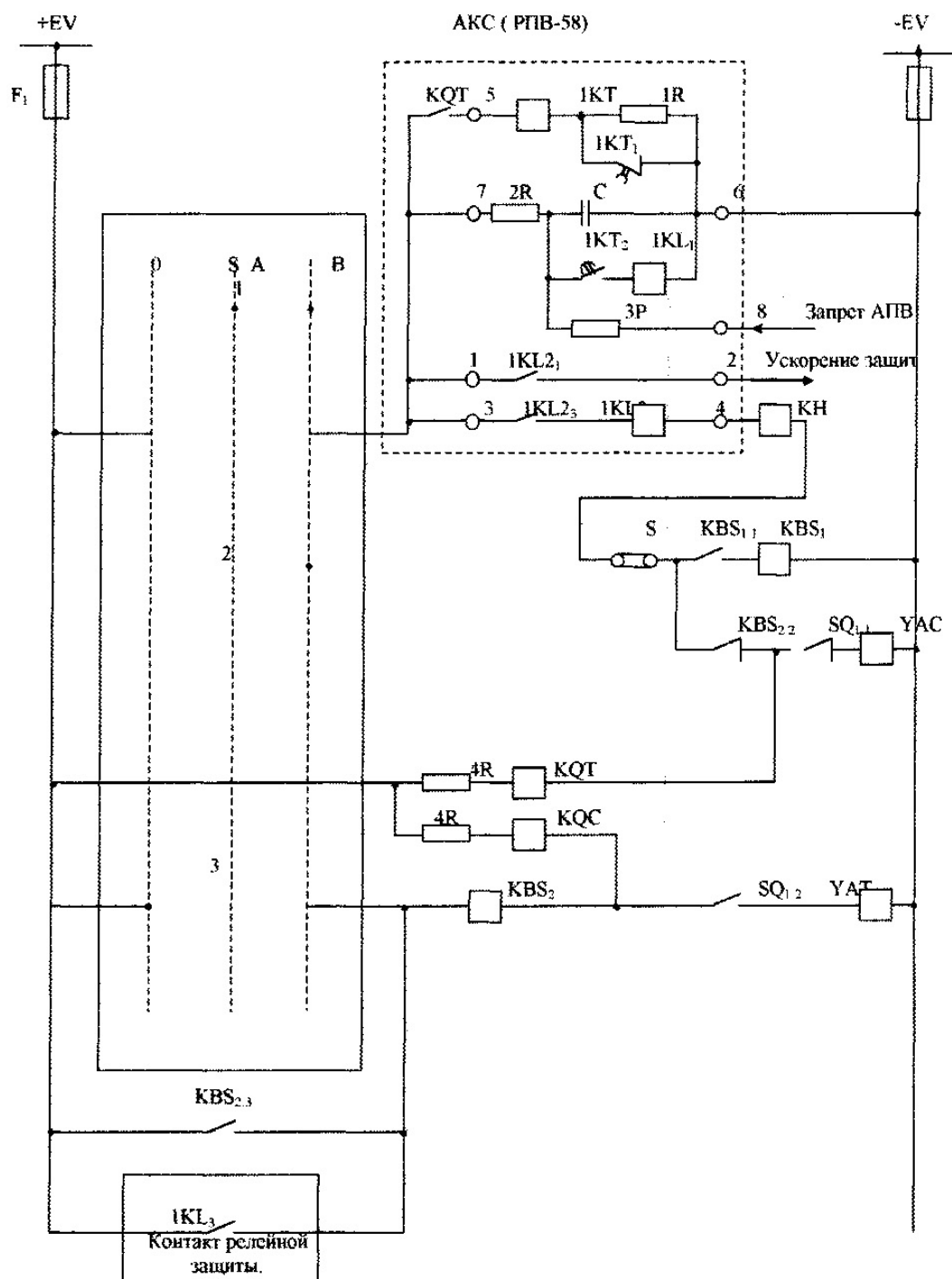


Рисунок 28 – Схема устройства АПВ с реле РПВ-58 для ЛЭП 110кВ

Буквенные обозначения элементов электрических схем в отношении требований ЕСКД приведены в [15, табл. 8.3].

Рассматриваемая схема применяется при использовании ключа управления SA с фиксацией. При установке SA в положение «Включено», его контакт 1 остается замкнутым до следующей оперативной команды. Если при этом выключатель Q_1 включен, то имеется соответствие между ключом SA и Q_1 .

При включенном выключателе Q_1 реле KQT обесточено, т.к. разомкнут контакт $SQ_{1.2}$. Резистор R_5 установлен для термической стойкости обмотки KQC. При отключении Q_1 контактом релейной защиты SA остается в положении «Включено». Обесточивается реле QKC, и срабатывает реле QKT. Появляется несоответствие между SA и Q_1 . Происходит пуск АПВ по цепи (+EV, SA_1 , QKT_1 , 5, 1KT, $1KT_1$, 6, -EV). Добавочный резистор 1R при срабатывании 1KT вводится в цепь катушки 1KT для обеспечения термической стойкости.

При включении Q_1 конденсатор C заряжается по цепи (+EV, SA_1 , 7, 2R, C, 6, -EV). Пока конденсатор C не зарядится, не сможет сработать выходное реле $1KL_1$ устройства АПВ. Время заряда конденсатора достаточно велико (15-20 с). По окончании заряда конденсатора устройство АПВ готово к действию.

По истечении установленной выдержки времени $1KT_2$ включает кодовое реле $1KL_1$ в цепь разряда конденсатора C. Кодовое реле двухобмоточное, при срабатывании оно удерживается в сработавшем состоянии своей токовой обмоткой $1KL_2$ и замыкает цепь включения Q_1 по цепи (+EV, SA, 3, $1KL_{2.2}$, $1KL_2$, 4, KH, S, KBS_2 , $SQ_{1.1}$, YAC, -EV).

При успешном АПВ размыкается контакт $SQ_{1.1}$, отпадает реле QKT, возвращаются реле 1KT и $1KL_1$ и начинает заряжаться конденсатор C. Когда конденсатор зарядится, АПВ готово к новому циклу.

При неуспешном АПВ KQT снова пускает АПВ, но конденсатор не заряжен, и АПВ не происходит. Замкнутый контакт $1KT_2$ препятствует заряду конденсатора, и схема остается в таком состоянии, пока SA не переведут в положение «Отключено». Если выключатель отключается ключом SA, то цепь пуска рвется на нем, конденсатор разряжается по цепи (C, 2R, 7, QKT_1 , 5, 1KT, $1KT_1$, 6). Реле KBS является блокировкой от многократных включений выключателя на короткое замыкание при неисправности цепи включения. Реле имеет две обмотки: шунтовую KBS_1 и последовательную KBS_2 .

Блокировка работает следующим образом. В цепи отключения находится последовательная рабочая обмотка реле типа РП-232. При протекании тока по цепи отключения реле KBS_2 срабатывает и контактом $KBS_{2.2}$

разрывает цепь контактора включения УАС, а контактом $KBS_{2.3}$ включает свою удерживающую обмотку KBS_2 и шунтирует контакт релейной защиты. Цепь отключения разрывается контактом выключателя $SQ_{1.2}$. При отключении выключателя контактом релейной защиты KBS_2 срабатывает и становится на самоудерживание через контакт $KBS_{1.1}$ и катушку KBS_1 . Контакт $KBS_{2.2}$ вновь размыкает цепь включения УАС.

Запрет АПВ осуществляется подачей -EV на конденсатор по цепи (-EV, 8, 3R, C, 6), и он разряжается.

Контактом $1KL_{2.1}$ подается +EV на схему ускорения защит при неуспешном АПВ.

7. Автоматическая частотная разгрузка (АЧР) и включение питания отключенных потребителей при восстановлении частоты (ЧАПВ)

В соответствии с [1, пп. 3.3.72-3.3.81] в системах электроснабжения должны быть предусмотрены устройства АЧР и ЧАПВ для автоматического ограничения снижения частоты с таким расчетом, чтобы при любом возможном дефиците мощности в энергосистеме снижение частоты ниже уровня 45 Гц была исключена полностью. Одним из мероприятий, обеспечивающих это условие, является отключение части нагрузки потребителей, легко переносящих кратковременные перерывы электроснабжения. Устройства АЧР, как правило, устанавливают на крупных ГПП, с шин которых питаются потребители разных категорий надежности [16, 17].

При восстановлении частоты в системе, для уменьшения перерывов питания отключенных потребителей должны устанавливаться устройства ЧАПВ. Действия АЧР и ЧАПВ должны быть согласованы с работой устройств АПВ, АВР, САОН, УРОВ и АРЧМ.

7.1 Устройства АЧР и ЧАПВ

В различных энергосистемах и различными организациями разрабатывались и применялись разнообразные устройства АЧР и ЧАПВ.

Ниже рассматривается лишь одна из наиболее часто применяемых схем в комплектных подстанциях. На рисунке 29 приведена схема АЧР и ЧАПВ, применяемая в ячейках серии КРУ (КМ-1Ф, КРУ-10-20, К-ХП, К-ХV, К-XXVI, К-44, К-47, К-49, КРУН-6(10)Л). На рисунке 30 показана схема включения реле частоты.

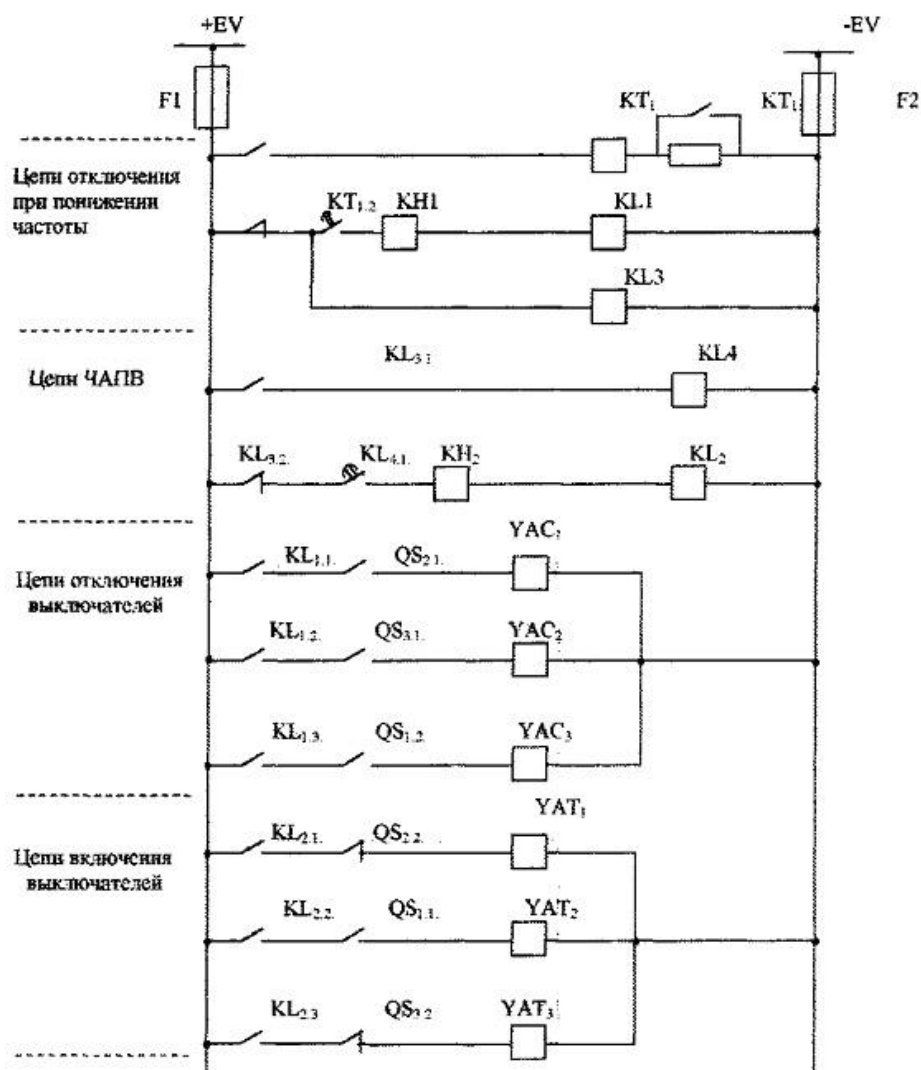


Рисунок 29 - Схема АЧР и ЧАПВ

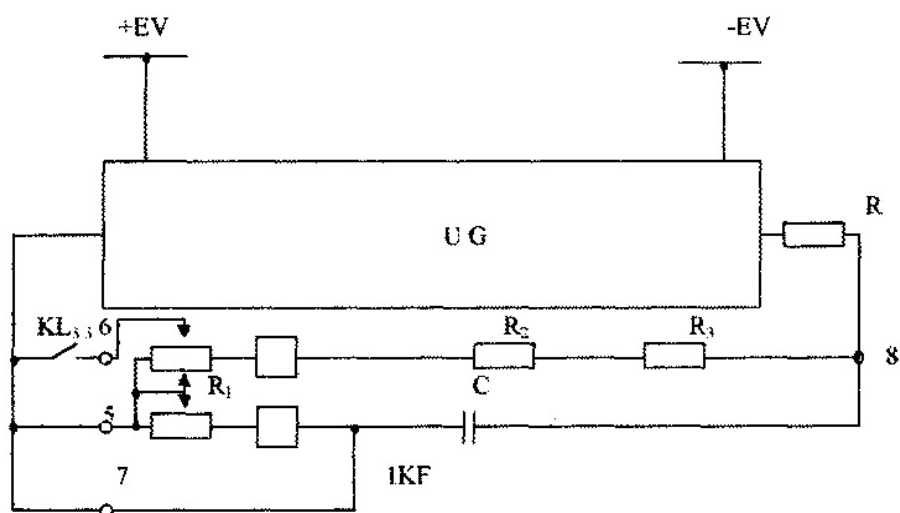


Рисунок 30 – Схема включения реле частоты

При действии реле частоты КF включается реле времени КТ₁ и своим контактом КТ_{1.2} включает промежуточное реле КL₁ и КL₃. Реле КL₁ своими контактами КL_{1.1}, КL_{1.2}, КL_{1.3} отключает выключатели потребителей. Реле КL₃ своим контактом КL_{3.3} производит перестройку уставки реле частоты. Контакт КL_{3.1} включает цепь реле КL₄, имеющее замедление на возврат при отпадании якоря реле. При восстановлении частоты реле КF размыкает контакты КF_{1.1}, размыкаются контакты реле времени КТ_{1.2}, снимается напряжение с реле КL₃, замыкается его контакт КL_{3.2}, и через замкнутый контакт реле КL_{4.1} кратковременно срабатывает реле КL₂ и производит включение отключенных выключателей.

Питание реле частоты осуществляется через стабилизирующий блок питания UG.

8. Автоматический ввод резерва (АВР) секционного выключателя 6-10 кВ

Назначение АВР - быстрое восстановление электроснабжения потребителей при отключении рабочего источника питания путем автоматического включения резервного источника. Эффективность АВР определяется резким снижением перерывов в электроснабжении, а также возможностью осуществлять секционирование, что значительно уменьшает ТКЗ и упрощает устройства релейной защиты.

В соответствии с [1, пп. 3.3.30-3.3.42] к АВР предъявляются следующие требования:

- максимальное быстродействие;
- действие только при отключении рабочего источника питания;
- однократность действия и необходимая длительность включающего импульса;
- действие АВР должно быть согласованно с работой АПВ и АЧР;
- контроль наличия напряжения на резервном источнике питания;
- пусковые органы АВР не должны срабатывать при отключении трансформаторов напряжения устройствами защиты;
- АВР должно действовать в любом случае при исчезновении напряжения, даже если оно вызвано действиями обслуживающего персонала;
- в момент включения резервного выключателя действия устройств его защиты должны ускоряться;
- на подстанциях с синхронными двигателями должны приниматься меры, предотвращающие неправильную работу АЧР при действии АВР.

8.1 Схема АВР секционного выключателя на ГПП

Рассматриваются два основных режима работы силовых трансформаторов:

- трансформаторы работают на первую и вторую секции отдельно, секционный выключатель отключен, при отключении по любой причине одного из трансформаторов АВР включает секционный выключатель;
- в работе находится один трансформатор, другой в резерве, секционный выключатель включен, при отключении рабочего трансформатора АВР включает резервный трансформатор.

Во избежание последующего повторного АВР поврежденного трансформатора переключатели S_1-S_9 в цепях включения должны находиться в таком положении, чтобы обеспечить только те операции включения и отключения, которые предусмотрены в данном режиме подстанции.

Схема АВР секционного выключателя приведена на рисунке 31.

9. Выбор источников оперативного тока

Питание оперативных цепей управления, защиты, автоматики и сигнализации, а также включающих и отключающих устройств коммутационных аппаратов главных цепей осуществляется от специальных источников оперативного тока. Совокупность источников питания, кабельных линий, шин питания, переключающих устройств и других элементов оперативных цепей составляют систему оперативного тока данной электроустановки. К системам оперативного тока предъявляют требования высокой надежности, а также безотказности действия при КЗ и других ненормальных режимах в цепях главного тока.

Применяются следующие системы оперативного тока на подстанциях:

- постоянный оперативный ток, система питания оперативных цепей осуществляется от аккумуляторных батарей;
- переменный оперативный ток, система питания оперативных цепей, при которой в качестве основных источников питания используются измерительные трансформаторы тока защищаемых присоединений, измерительные трансформаторы напряжения, трансформаторы собственных нужд. В качестве дополнительных источников питания импульсного действия используются предварительно заряженные конденсаторы;
- выпрямленный оперативный ток, система питания оперативных цепей, в которой переменный ток преобразуется в постоянный (выпрямленный) с помощью блоков питания и выпрямительных силовых устройств;
- смешанная система оперативного тока, система при которой используются различные источники оперативного тока;
- зависимое питание, когда работа системы питания оперативных цепей зависит от режима работы данной подстанции.

Область применения различных систем оперативного тока приведена в таблице 9.1.

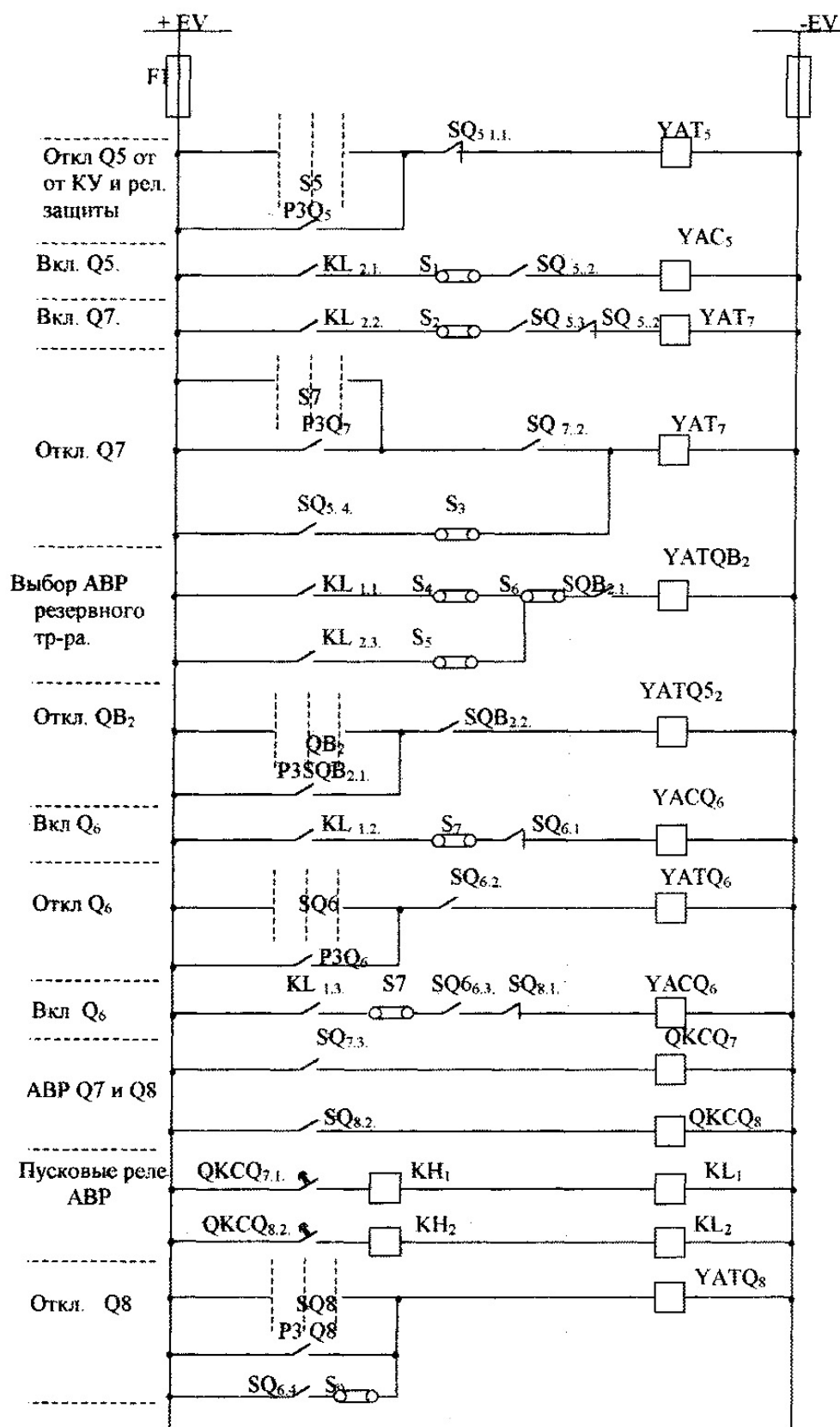


Рисунок 31 – Схема АВР

Таблица 9.1

Сторона высшего напряжения		Сторона среднего напряжения		Сторона низшего напряжения 6-10 кВ.		Вид оперативного тока	Примечание
Напряжение кВ и сх. эл. соединений	Выключат. и приводы	Напряжение кВ и сх. эл. соединений	Выключат. и приводы	Схема эл. соединений	Выключат. и приводы		
110-220. сборные шины	Масляные или воздушные	35-110, сборные шины	Масляные или воздушные	Любая	Масляные с электро-магнитным приводом	Постоянный	
35-220, любая схема	Воздушные	35-110, любая схема	То же	То же	То же	То же	Установлены выключат., для которых не подтверж. возможность зависимо-го питания от выпрям. устройств
35-220, любая схема	Масляные	35-110, любая схема	Масляные с эл. магн. приводом	Любая схема	Масляные с эл. магн. приводом	Постоянный	
110-220, с малым числом выключателей	Масляные с пофаз. эл. магн. приводом	110, сборные шины	Масляные	То же	То же	Постоянный либо смешанный	Смешан. система для выключат. ВН и СН, допускающих питание вкл. эл. магн. от выпрям. устройств
110, с малым числом выкл.	Масляные с трехфаз. эл. магн. приводом	35, сборные шины	Масляные с эл. магн. приводом	Любая	Масляные с эл. магн. приводом	Выпрямлен-ный	Выкл. допус. включение от выпрям. устройств при зависимом питании
35, любая схема с выключателями	Масляные с пружин. приводом	—	—	Любая	Масляные с пружин. приводом	Переменный	—
То же	Масляные с эл. магн. приводом	—	—	Любая	Масляные с эл. магн. приводом на вводах и с пружин. на остальн. подсоединен.	Смешанный	Выключатели с эл. магн. приводом допускают включение от выпрям. устройств при завис. питании
То же	Масляные с эл. магн. приводом	—	—	То же	Масляные с эл. магн. приводом	Выпрямлен-ный	То же
35-220, без выключателей	—	35, сборные шины	Масляные с пружин. приводом	Любая	Масляные с пружинным приводом	Переменный	—
			Масляные на вводах с эл. магн. приводом и с пружин. на остальн. подсоедин.	То же	Масляные на вводах с эл. магн. при-вод. и с пруж. на остальн. подсоедин.	Смешанный	—
			Масляные с эл. магн. приводом	То же	Масляные с эл. магн. приводом	Выпрямлен-ный	То же

В качестве источников оперативного тока применяются аккумуляторные батареи типа СК или СН, шкафы управления оперативным током типа ШОУТ, блоки питания типа БПТ и БПН, силовые выпрямительные устройства типа УКП, блоки питания для зарядных устройств типа БПЗ [19].

10. Проверка нагрузочной способности трансформаторов тока и напряжения

Для проверки нагрузочной способности измерительных трансформаторов тока и напряжения ниже приведена таблица сопротивления и потребления измерительных приборов и реле [20, с. 113].

Таблица 10.1

Наименование приборов и реле	Сопротивление обмоток, Ом	Потребление обмоток, ВА	Потребление обмоток напряжения, ВА
1	2	3	4
Амперметры	0,2-0,4	-	-
Вольтметры	-	-	10
Ваттметры и варметры	0,2-0,4	-	10-20
Счетчики активной и реактивной энергии	0,06		4,5-6
Реле тока РТ-40/0,2	-	0,2	-
РТ-40/6	-	0,5	-
РТ-40/50	-	0,8	
РТ-40/100	-	1,8	-
РТ-40/200	-	8,0	-
Фильтр-реле РТФ-1М	-	5,5 на фазу	-
Реле напряжения обратной последовательности РНН-57	-	-	20
ДЗТ-11: 1-я рабочая обмотка	2,5	0-100	-
2-я рабочая обмотка	1,5	0-120	-
3-я рабочая обмотка	0,25	0-220	-
Реле токовые РТ-81-РТ-85		10	
Реле токовые РТ-91-РТ-95		25	

Продолжение таблицы 10.1

1	2	3	4
Реле напряжения РН-58	-	-	1,5-4 в зависимости от уставки
Реле частоты тип ИВЧ	-	-	10-35
Реле мощности типа РБМ-171 -РБМ-177, РБМ-271-РБМ-277	-	10	35 - 90
Промежуточное реле типа РП-252			7
Промежуточное реле типа РП-23			6
Реле разности частот ИРЧ-01А	0,15		35
Реле блокировки неисправности цепей напряжения КРБ-12	-	-	30
Реле времени переменного тока типа ЭВ-215-ЭВ-245	-	-	20
Реле напряжения трехфазное РНБ-231			5 (на фазу)
Фильтр-реле напряжения обратной последовательности	-	-	15 (на фазу)

Сопротивление соединительных проводов от трансформаторов тока до потребителей определяются по формуле (Ом):

$$R_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot L}{S_{\text{мм}^2}},$$

где ρ - удельное сопротивление материала провода;

L - длина провода, м;

S - сечение провода, мм².

Литература

1. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 2001.- 646 с.
2. Банкин С.А., Упит А.Р. Методические указания и задания для выполнения курсовых проектов по дисциплинам «Электрическая часть станций и подстанций», «Релейная защита и автоматика систем электро-снабжения». - Барнаул: АлтПИ, 1992. - 19 с.
3. Упит А.Р., Татьянченко Л.Н. Учебное пособие для выполнения курсового проекта по электрической части станций и подстанций. - Барнаул: АлтГТУ, 1997. – 64 с.
4. Чернобровов КВ. Релейная защита. - М.: Энергия, 1971. - 664 с.
5. Справочник реле защиты и автоматики / Под редакцией Л.И. Какуевицкого. - М.: Энергия, 1972. - 344 с.
6. Гельфанд Я.С. Релейная защита распределительных сетей. - М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.
7. Справочник по электроустановкам высокого напряжения / Под общей редакцией И.А. Баумштейна, С.А. Бажанова. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 768 с.
8. Байтер И.И. Защита и АВР электродвигателей. - М.: Энергия, 1972. - 94 с.
9. Руководящие указания по релейной защите. Выпуск 13 А: Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110-500 кВ. Схемы. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 112 с.
10. Руководящие указания по релейной защите. Выпуск 13 Б: Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110-500 кВ. Расчеты. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 96 с.
11. Справочник по релейной защите / Под общей редакцией М.А. Берковича. - М.: Госэнергоиздат, 1963. - 512 с.
12. Засыпкин А.С. Релейная защита трансформаторов. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 240 с.
13. Руководящие указания по релейной защите. Выпуск 2: Ступенчатые токовые защиты нулевой последовательности в сети 110-220 кВ. - М.: Госэнергоиздат, 1981. - 64 с.
14. Голубев М.Л. Автоматическое повторное включение в распределительных сетях. - М.: Энергоатомиздат, 1982. - 196 с.
15. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть станций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. – М.: Энергоатомиздат, 1989. - 608 с.
16. Барзам А.Б. Системная автоматика. - М.: Энергоатомиздат, 1989.- 368 с.

17. Беркович М.А., Комаров А.Н., Семенов В.А. Основы автоматики энергосистем. - М.: Энергоатомиздат, 1981. - 448 с.
18. Федосеев А.М. Основы релейной защиты. - М., 1961. - 311 с.
19. Рыбак Х.А. Обслуживание релейной защиты, электроавтоматики и вторичных цепей. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 104 с.
20. Лезнев С.И., Фаерман А.Л. Устройство и обслуживание вторичных цепей электроустановок. - М: Энергия, 1979. - 134 с.
21. Васильев А.А. Электрическая часть станций и подстанций. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 562 с.

**Арвид Рудольфович Упит,
Станислав Андреевич Банкин**

Релейная защита и автоматика в системах ЭПП

*Методические указания для студентов всех форм
обучения для специальности 10.04 «Электроснабжение»*

Редактор Е. Федяева

Подписано в печать 07.06.04. Формат 60x84 1/16.
Печать-ризография. Усл.п.л. 3,02. Уч.-изд.л. 2,95.
Тираж 100 экз. Заказ 2004 -

Издательство Алтайского государственного технического
университета им. И.И. Ползунова,
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46
Лицензия на издательскую деятельность
ЛР№ 020822 от 21.09.98 г.

Отпечатано в типографии АлтГТУ
Лицензия на полиграфическую деятельность
ПЛД № 28-35 от 15.07.97 г.