ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА»

Иванов М.Н.

Технологические элементы электроэнергетических систем

методические указания к выполнению курсового проекта по теме:

«Выбор и расчет релейной защиты электрооборудования ЭЭС»

для обучающихся по направлению подготовки

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Новосибирск

ВВЕДЕНИЕ

Курсовой проект способствует углублению и закреплению знаний, полученных студентами по основной и смежным дисциплинам, учит решать практические задачи в области релейной защиты и автоматики (РЗ и А) систем электроснабжения.

Устройства релейной защиты и автоматики являются органической частью комплекса электрооборудования элементов электрических станций и подстанций. Без устойчивого функционирования устройств релейной защиты и автоматики невозможно обеспечить надежное электроснабжения потребителей. Основа устойчивого функционирования устройств РЗ и А закладывается при расчете и выборе уставок.

Требования, предъявляемые к РЗ и А, могут быть реализованы только при тщательном анализе взаимодействия проектируемых устройств, учете особенностей технологии производства и распределении энергии, схем электрических соединений объектов, специфики работы потребителей, физических процессов, происходящих в нормальных, аварийных и послеаварийных режимах в первичных и вторичных цепях измерительных трансформаторов тока и напряжения.

При выполнении курсового проекта необходимо освоить выбор принципов и расчет уставок защит элементов основного оборудования подстанции (линий, трансформаторов и электродвигателей). Перед расчетом уставок релейной защиты предварительно определяют виды основных и резервных защит, подлежащих расчету, затем выбирают уставки и определяют чувствительность защит. Найденные значения коэффициентов чувствительности должны отвечать требованиям правил устройств электроустановок (ПУЭ).

1. ЗАДАНИЕ И ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ

1.1. Рекомендации по выполнению работы

В настоящем пособии рассмотрены методические материалы, необходимые для выполнения типовых расчетов по релейной защите и автоматике в схемах электроснабжения. Основное внимание сконцентрировано на вопросах, решения которых связано с выполнением конкретных схем релейной защиты и автоматики главных понизительных подстанций. Для выполнения разделов даются указания на особенности выполнения устройств автоматики и релейной защиты.

В пособии изложены: методика выбора принципов релейной защиты, автоматики и расчета параметров соответствующих устройств, методика проверки допустимости их использования, а также примеры выполнения электрических схем защиты и автоматики.

Выбор в распределительной сети и на подстанции включает в себя последовательное решение следующих задач:

1. Выбор принципов релейной защиты и автоматики для данных элементов (участка линий, трансформатора, электроустановок).
2. Расчет токов короткого замыкания (КЗ) в объеме, необходимом для расчета параметров срабатывая и проверки коэффициентов чувствительности ($К_ч$) защит.
3. Выбор трансформаторов тока (ТА), трансформаторов напряжения (TV) и их коэффициентов трансформации.
4. Расчет уставок релейной защиты и автоматики (параметров срабатывания измерительных и пусковых органов), проверка значения $К_ч$, определения необходимости выполнения блокировок защит , расчет выдержек времени.
5. Разработка разнесенных схем цепей тока, напряжения, цепей оперативного тока релейной защиты и автоматики, цепей управления включателями.

1.2 Исходные данные

Студенты в работе три задания. Первое – расчет токов короткого замыкания. Второе – расчет защиты питающей линии электропередачи. Третье – расчет защиты электродвигателей.

Исходные данные к заданием, приведенные в таблице 1.1, даются в вариантах по последней и предпоследней цифрам шифра студента (номера зачетной книжки).

Принципиальная схема электроснабжения подстанции изображена на рис. 1.1. В нормальном режиме обе линии W1, W2 и оба трансформатора Т1, Т2 находятся под нагрузкой. Нагрузка каждой секции подстанции Б (рис. 1.1) равна семидесяти процентам номинальной мощности трансформатора. Секционный выключатель Q3 отключен.

В заданиях предусмотрен выбор и расчет защит от междуфазных повреждений. Для защит линий электродвигателей с выключением реле на разность фазных токов и для защит трансформаторов расчет $К_ч$ целесообразно производить по вторичным токам. Выбор источника питания оперативных цепей производится разработчиком. При выполнении заданий следует руководствоваться указаниями Правил устройства электроустановок (шестое издание), раздел 3. При построении схем релейной защиты и автоматики условные графические и буквенные обозначения должны отвечать требованиям ГОСТ 2.755-87, ГОСТ 2.756-76 и ГОСТ 2.710-81.

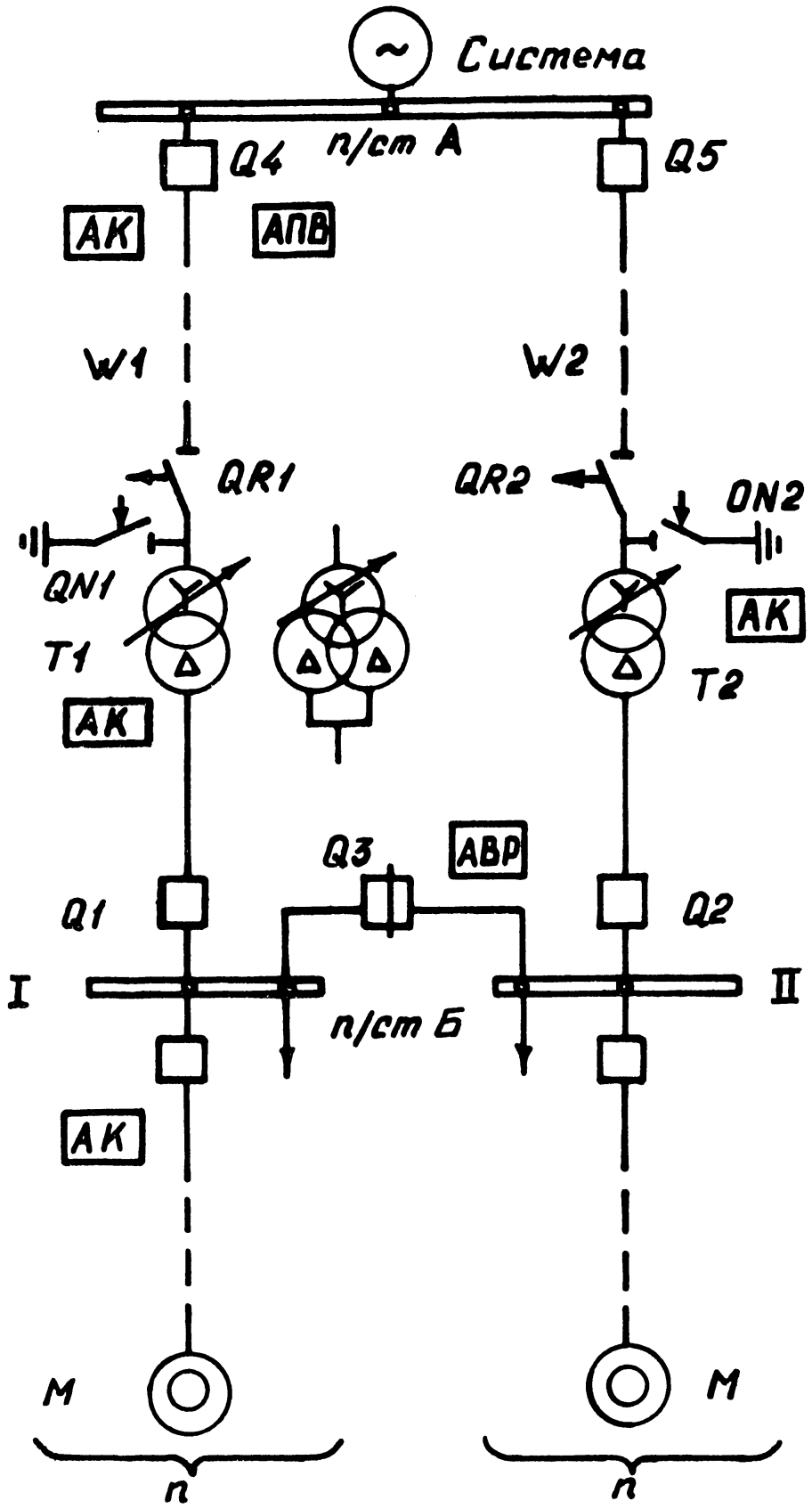

Рисунок 1.1. Принципиальная схема электроснабжения

Таблица 1.1

Последняя цифра	$U_{вн}$, кВ	$U_{нн}$, кВ	$P_{дв}$, кВт	Тип трансформатора	$U_{к.мин.}$, %	$U_{к.макс.}$, %
1	115	6,6	160	ТДН-10000/110	8,70	12,36
2	115	6,6	700	ТДН-16000/110	9,80	11,71
3	115	10,5	1000	ТРДН-25000/110	9,84	11,72
4	115	10,5	800	ТРДН-40000/110	9,59	11,46
5	158	10,5	630	ТДН-16000/150	11,50	11,80
6	158	10,5	500	ТРДН-32000/150	10,86	10,14
7	158	10,5	400	ТРДН-63000/150	10,66	10,00
8	230	10,5	320	ТРДН-32000/220	11,60	12,70
9	230	10,5	250	ТРДН-63000/220	11,60	12,70
0	115	10,5	200	ТРДН-32000/110	9,77	11,58

Продолжение таблицы 1.1

Предпоследняя цифра	$S_{кз.макс}$, МВ·А	$S_{кз.мин}$, МВ·А	Длина питающей линии, км	Кратность пускового тока эл. двигателя, $К_п$	Количество эл.двигателей на секции, n	Уставка по времени защит. присоединений на шинах п/ст, $t_{сз.прис.}$, с	Время перерыва питания $t_{п.п}$, с	Коэффициент самозапуска $К_{сзп}$	Длина кабельной линии, $L_{каб}$, км
1	2200	2000	20	5.2	5	0.5	1.0	2.0	0.1
2	3000	2600	30	5.5	4	0.6	1.5	2.1	0.2
3	3500	3100	40	6.0	3	0.7	2.0	2.2	0.3
4	4000	3600	50	6.2	2	0.8	2.5	2.3	0.4
5	5500	5100	60	5.7	4	0.9	3.0	2.4	0.5
6	6000	5600	70	5.8	5	1.0	3.5	2.5	0.6
7	2500	2100	80	5.7	4	1.1	4.0	2.6	0.7
8	4500	4100	90	5.2	3	1.2	4.5	2.7	0.8
9	5300	4900	100	5.1	6	1.3	5.0	2.8	0.9
0	5000	4600	110	4.7	2	1.4	5.5	2.9	1.0

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ УСТАНОВОК ЗАЩИТЫ

2.1. Защита питающей линий электропередачи

ПУЭ [1] предусматривают на одиночных линиях с односторонним питанием от многофазных замыканий установку ступенчатых токовых защит. В этом задании достаточно предусмотреть установку двухступенчатой токовой защиты. Первая ступень – токовая отсечка мгновенного действия, а вторая – максимальная токовая защита МТЗ, согласованная по селективности с МТЗ трансформатора (Т1 для линии W1).

Рекомендуется для максимального и минимального режимов работы системы произвести расчет токов КЗ для трех точек на линии (в начале, середине и конце), за трансформатором, и по результатам расчета построить график изменения тока в зависимости от длины защищаемого участка (рис.2.1, б).

Токовая отсечка не защищает всю длину линии и не может использоваться как основная защита. Однако, в частном случае, когда защищаемая линия питает тупиковую подстанцию, отсечка может выполнятся чувствительной при КЗ в любой точке линии. Для этого ток срабатывания отсечки отстраивается от тока КЗ за трансформатором Т1 приемной подстанции [2,3].

Ток срабатывание токовой отсечки выбирается по следующему условию [2, 4]:

$$I_{с,о} = K_{отс} \cdot I_{к,макс},$$

где $K_{отс}$ = 1,2…1,3 – коэффициент отстройки:

$I_{к,макс}$= $I_{к4,макс}$ – максимальное значение тока КЗ за трансформатором, и проверяет по условию отстройки от броска намагничивающего тока силового трансформатора Т1:

$$I_{с,о} = (3…4)I_{ном.тр}.$$

Чувствительность отсечки характеризуется коэффициентом чувствительность при КЗ в конце линии (точка КЗ). Он считается приемлемым, если превышает 1,5 [3]. Наряду с этим определяется зона действия отсечки (рис. 2.1,б) в максимальном и минимальном режимах. Время срабатывание отсечки ($t_{отс}$) определяется типом используемых тока реле и промежуточных реле и не превышает 0,1 с [3].

В случае недостаточной чувствительности отсечки при КЗ в конце линии (точка КЗ на рис. 2.1, а), ее необходимо дополнить пусковым минимальным органом напряжения (2). Ток срабатывания отсечки при этом можно уменьшить, обес-

печив допустимую чувствительность ($К_ч$=1,3) при двухфазном КЗ в конце линии в минимальном режиме. Ток срабатывания выбирается следующим образом:

$$I_{с.з} = I^{(2)}_{к.мин} / 1{,}3$$

Для предотвращения ложного срабатывания защиты при КЗ за трансформа ром применяется запрет (блокировка) с помощью минимальных реле напряжения. Напряжение срабатывания защиты отстраивается от остаточного напряжения в месте установки при КЗ за трансформатором при прохождении по линии тока, равного току срабатывания отсечки:

$$U_{с.з} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{с.з}(Z_Л + Z_Т)}{К_{отс}},$$

где $К_{отс}$ – коэффициент отстройки принимается равный 1,2;
$Z_Л$, $Z_Т$ – сопротивления линии и трансформатора.

Вторым условиям выбора $U_{с.з}$ является отстройка от минимального рабочего напряжения линии:

$$U_{с.з} = U_{раб.мин} / К_{отс}.$$

За напряжение срабатывания защиты принимается меньшее из двух рассчитанных знании $U_{с.з}$. При этом напряжение срабатывания минимальных реле напряжение.

$$U_{с.р} = U_{с.з} / К_u,$$

где $К_u$ – коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

Защита имеет два измерительных органа (ток и напряжения), по этому ее чувствительность должна быть обеспечена как по току, так и по напряжению. Коэффициент чувствительности по напряжению определяется из выражения:

$$К_ч = U_{с.р} / U_{2макс},$$

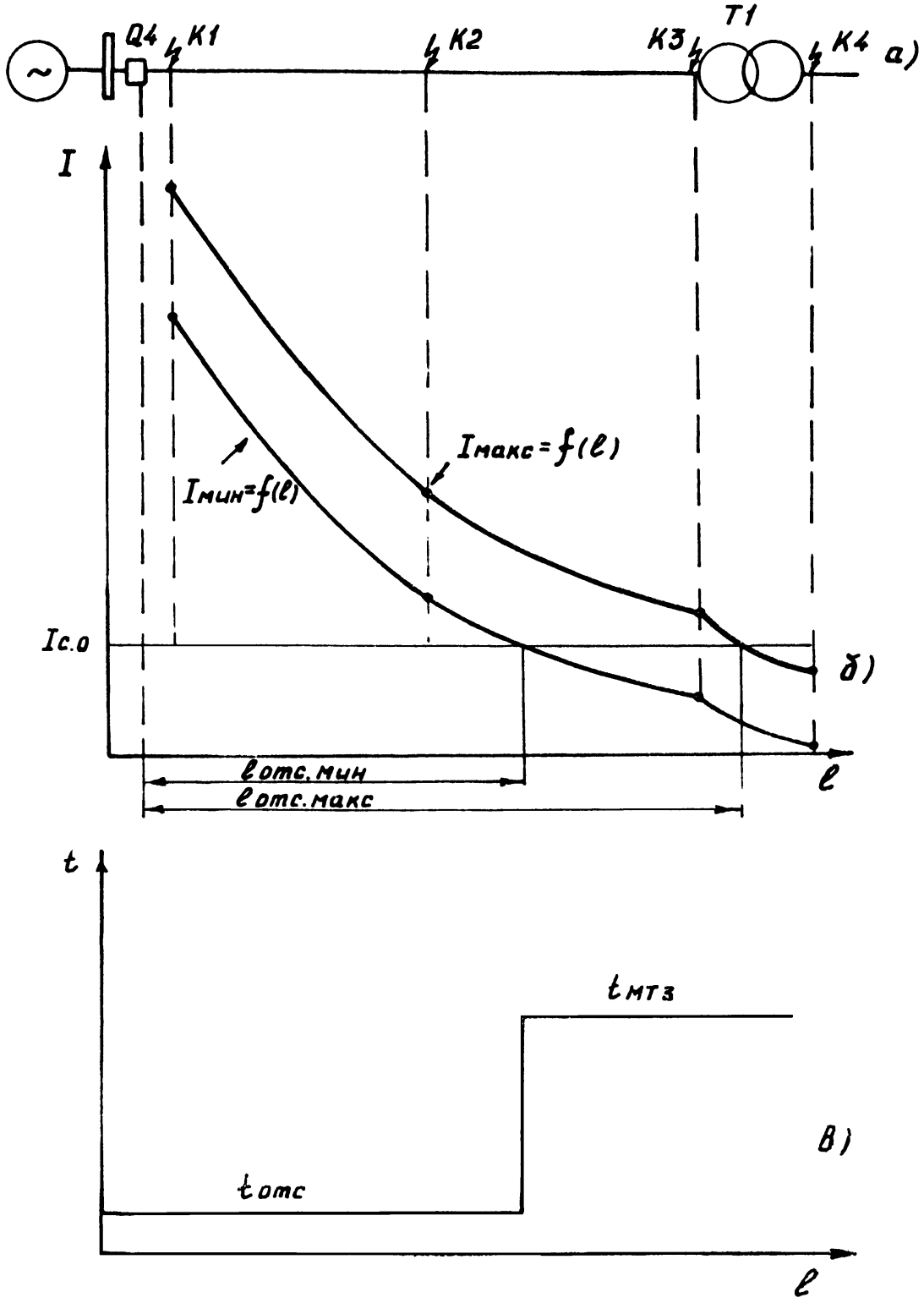

Рисунок 2.1. Схема питающей линии (а), график изменения тока (б) и карта селективности (в)

где $U_{2макс}$ – наибольшее вторичное напряжения трансформатора напряжения при трех фазном КЗ в конце защищаемой линии в максимальной режиме. Приемлемым является $К_ч$ =1,2 [3].

Ток срабатывания МТЗ линии отстраивается от максимального тока нагрузки линии с учетом работы АВР выключателя Q3. Рекомендуется выбрать его по выражению (для линии W1):

$$I_{с.з} = К_{отс} \cdot (I_{раб.макс.w1} + К_{сзп} \cdot I_{раб.макс.w2}) / К_{воз},$$

где $К_{отс}$ = 1,1…1,2 – коэффициент отстройки;
$К_{воз}$ = 0,85 – коэффициент возврата реле;
$К_{сзп}$ – определяется по табл.1.1;

$$I_{раб.макс.w1} = \frac{S_{секции}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}};$$

$$I_{раб.макс.w2} = I_{раб.макс.w1}.$$

Селективность действия МТЗ будет обеспечена по следующему условию:

$$t_{с.з,w1} = t_{с.з,тр} + \Delta t,$$

где $t_{с.з,тр}$ – время срабатывания МТЗ трансформатора (получается из расчета защит трансформатора);
Δt = 0,3…0,6 с [2, 4] – ступень селективности.

После выбора у ставок МТЗ построить карту селективности (см. рис.2.1, в) и проверить чувствительность МТЗ при КЗ в конце основного (точка КЗ) и резервного (точка К4) участков.

Согласно требования [1] $К_ч = I^{(2)}_{к.мин} / I_{с.з} = 1{,}5$ – для основного участка и $К_ч$ = 1,2 – для резервного.

2.2. Защита электродвигателей

В этом задании необходимо произвести расчет уставок защиты от многофазных замыканий и защиту от токов перегрузки. Для защиты электродвигателей мощностью менее 2МВт от многофазных замыканий должна предусматривается токовая однорелейная отсечка без выдержки времени, отстроенная от пусковых токов, с реле прямого или косвенного действия, включенным на разность токов двух фаз [1].

Наличие перегрузки электродвигателей по технологическим причинам обязывает предусмотреть защиту от перегрузки. Использование реле типа РТ-80 позволит на индукционной части выполнить защиту от перегрузки, а на электромагнитной – токовую отсечку [2].

Работу рекомендуется выполнить в следующем объеме.

1. Определить номинальный и пусковой токи электродвигателя и выбрать коэффициент трансформации трансформаторов тока.

2. Рассчитать уставку индукционной части реле защиты о перегрузки:

$$I_{с.з} = K_{отс} \cdot I_{ном.дв} / K_{воз},$$

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

$K_{воз}$ = 0,85 – коэффициент возврата реле:

$I_{ном.дв}$ – номинальный ток асинхронного электродвигателя;

$I_{с.з}$ – первичный ток срабатывания релейной защиты.

Ток срабатывания реле определяем с учетом схемы соединения трансформаторов тока:

$$I_{с.р} = K_{сх} \cdot I_{с.з} / K_{т},$$

где $K_{сх} = \sqrt{3}$ для схемы соединения на разность токов в нормальном режиме и при трехфазном КЗ ($K_{сх}$ = 1 при двухфазном КЗ: А–В и В–С – обратите внимание и учтите при оценке чувствительности защиты).

$K_т$ – коэффициент трансформации трансформаторов тока.

По полученной величине тока срабатывания реле выбирается исполнение реле и уставка тока срабатывания ($I_{уст}$) [7].

3. Определяется ток срабатывания защиты от многофазных замыканий:

$$I_{с.з} = (1{,}8\ldots2{,}0) \cdot I_{пуск.дв} \text{ – для первичной цепи}$$

и $I_{с.з,отс}$ – для вторичной.

Уставка отсечки для реле РТ-80 определяется как кратность тока срабатывания отсечки к току уставки:

$$К = I_{с.р,отс} / I_{уст}$$

4. Чувствительность отсечки определяют при КЗ на выводах электродвигателя. Ток КЗ следует рассчитывать для минимального режима работы сети с учетом сопротивления кабельной линии, к которой подключен электродвигатель. По требованию [1] $К_ч = 2$.

В случае недостаточной чувствительности отсечки схему ее следует выполнить двухрелейной и повторить расчеты, начиная с пункта 2.

6. Построить принципиальную схему защиты электродвигателя с учетом рекомендаций [2].

2.3. Расчет самозапуска асинхронных электродвигателей

Расчет необходимо проводить для времени перерыва питания $t_{пп}$ (исходные данные), с кратностью пускового тока находим пусковое сопротивление $X_п$:

$$X_п = U_н / (\sqrt{3} \cdot К_п \cdot I_н \cdot n),$$

где $U_н$ и $I_н$ - номинальное напряжение и номинальный ток электродвигателей;

$К_п$ – кратность пускового тока (исходные данные);

n – количество электродвигателей на одну секцию шин (исходные данные).

Ток самозапуска асинхронных электродвигателей определяется из выражения :

$$I_{ссз.} = U_н / К,$$

где К – уставка срабатывания токовой отсечки для реле.

Остаточное напряжение при самозапуске асинхронных электрических двигателей определяется по формуле:

$$U_{ооc} = \sqrt{3} \cdot I_{ссз.} \cdot X_{п.}$$

Значение минимального при самозапуске напряжения $U_{мин}$, находим как отношение остаточного напряжения при самозапуске, к номинальному напряжению электродвигателей:

$$U_{мин} = U_{ооc} / U_н.$$

Самозапуск электродвигателей считается успешным если минимальное напряжение находится в пределах, не ниже $(0,55 – 0,7)U_{ном}$, т.е. 55% - 70%.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫБОРУ И ПОСТРОЕНИЮ СХЕМ ЗАЩИТ

Комплекты защит должны устанавливаться на каждом участке вблизи выключателя.

Разработка схем производится для определенного элемента (участка линии, трансформатора, электродвигателя) в соответствии с произведенными расчетами релейной защиты и автоматики. Разборке подлежат: разнесенные схемы цепей тока, напряжения (если такие имеются), оперативные цепи релейной защиты и автоматики, цепи управления выключателем (цепь включения и отключения), цепи сигнализации.

В зависимости от конкретных условий должна быть применена одна из следующих схем питания оперативных цепей защиты: с дешунтированием электромагнитов отключения выключателей, с использованием блоков питания, с использованием зарядных устройств с конденсаторами [1].

Схемы защит с дешунтированием катушек отключения выключателей получили широкое распространение в сетях напряжением до 35 кВ при использовании выключателей с пружинными приводами [3].

Схемы включение блоков питания для индивидуального питания защиты и цепей управления представлены в [10].

3.1. Схема защиты линии

Принципиальные схемы релейной защиты при использовании в качестве источника оперативного тока блоков питания практически не отличается от схем при использовании оперативного тока аккумуляторной батареи [3]. На рис. 3.1 приведена разнесенная схема трехступенчатой токовой защиты линии.

Защита имеет три измерительных токовых органа, каждый из которых состоит из трех реле типа РТ-40. Реле тока КА1, КА2, и КА3 составляют измерительный орган первой ступени защиты (токовая отсечка без выдержки времени), реле КА4...КА6 – измерительный орган второй ступени защиты (отсечка с выдержкой времени), а реле КА7...КА9 – измерительный орган третьей ступени защиты (максимальная токовая защита). Реле тока измерительных органов всех ступеней защит включены на полные фазные токи (вторичные) защищаемой линии.

В состав каждой ступени защиты входят также логические реле. К первой ступени защиты относятся промежуточное реле KL1, имеющее замыкающий контакт с небольшой выдержкой времени на замыкание, и указательное реле КН1. Задержка на замыкание контактов KL1 (0,08...0,1 с) необходима для отстройки первой ступени защиты от пробоя трубчатых разрядников, защищающих линию от перенапряжений, так как пробой трубчатых разрядников равнозначен КЗ на линии, которое исчезает с гашением дуги в разрядниках.

Ко второй и третьей ступеням защиты относятся реле времени и указательное реле соответственно КТ1 и КН2, КТ2 и КН3.

Реле KL1 и KL2 замыкают своими контактами цепь электромагнита отключения YAT выключателя линии. Вспомогательный контакт выключателя SQ в цепи YAT размыкает эту цепь при отключении выключателя, предотвращая тем самым обгорание контактов реле исполнительных органов защиты, обусловленного разрывом тока в цепи большой индуктивности электромагнита отключения выключателя.

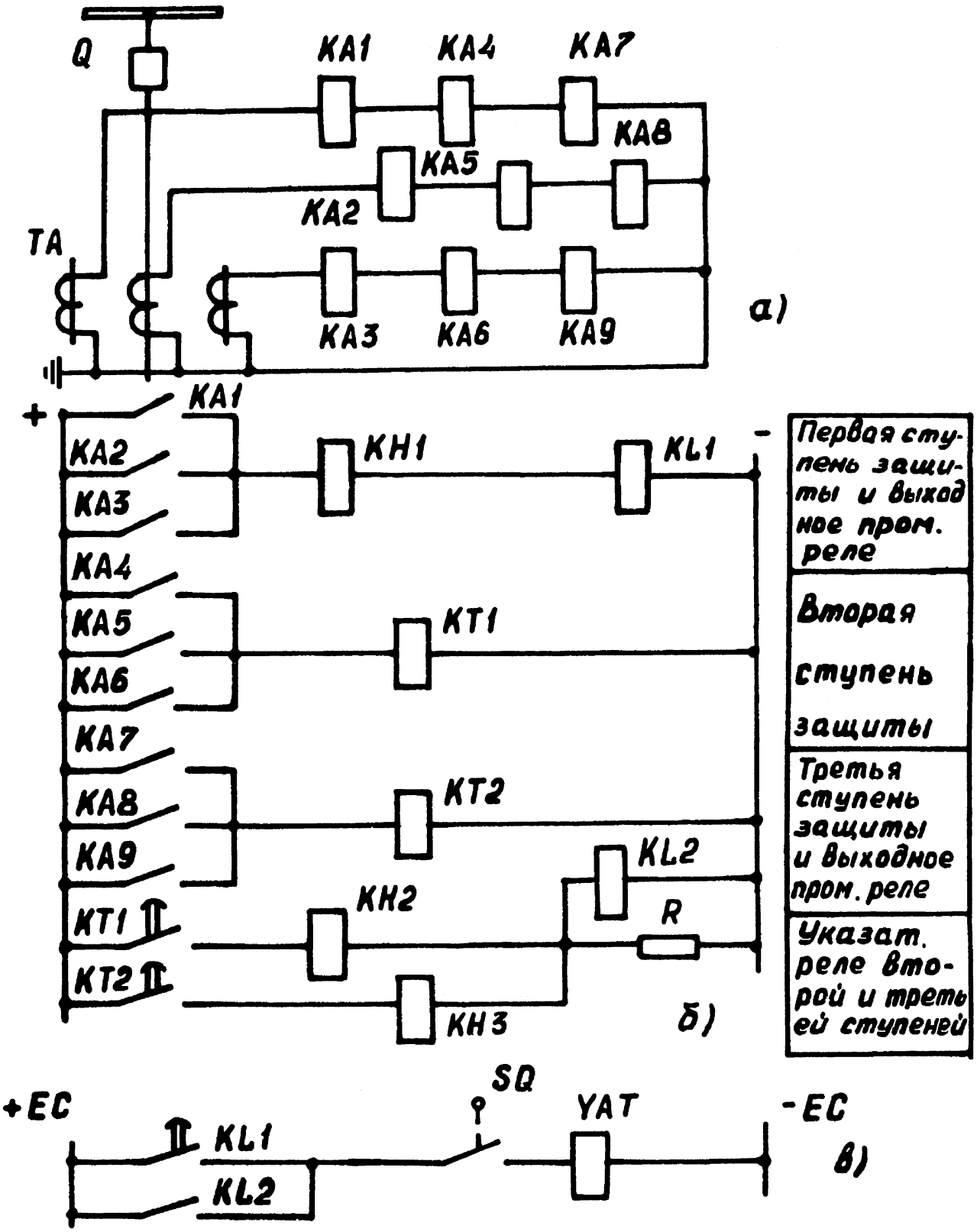

Рисунок 3.1. Принципиальная схема трехступенчатой токовой защиты: а – цепи переменного тока, б – цепи оперативного постоянного тока, в – цепи управления приводом выключателя

3.2. Схема защиты электродвигателя

Для защиты от многофазных КЗ электродвигателей мощностью до 5000 кВт обычно используется максимальная токовая отсечка. Наиболее полную токовую отсечку можно выполнить с реле прямого действия, встроенными в привод выключателями. С реле косвенного действия применяется одна из схем соединения трансформаторов тока и реле, приведенных в [10, с.314, 315]. Использование токовых реле с зависимой характеристикой [10, с.315] позволяет обеспечить с помощью одних и тех же реле защиту от КЗ и перегрузки.

Если по условию обеспечения самозапуска необходима защита минимального напряжения, то схему такой защиты можно разработать на основе [10, с.316].

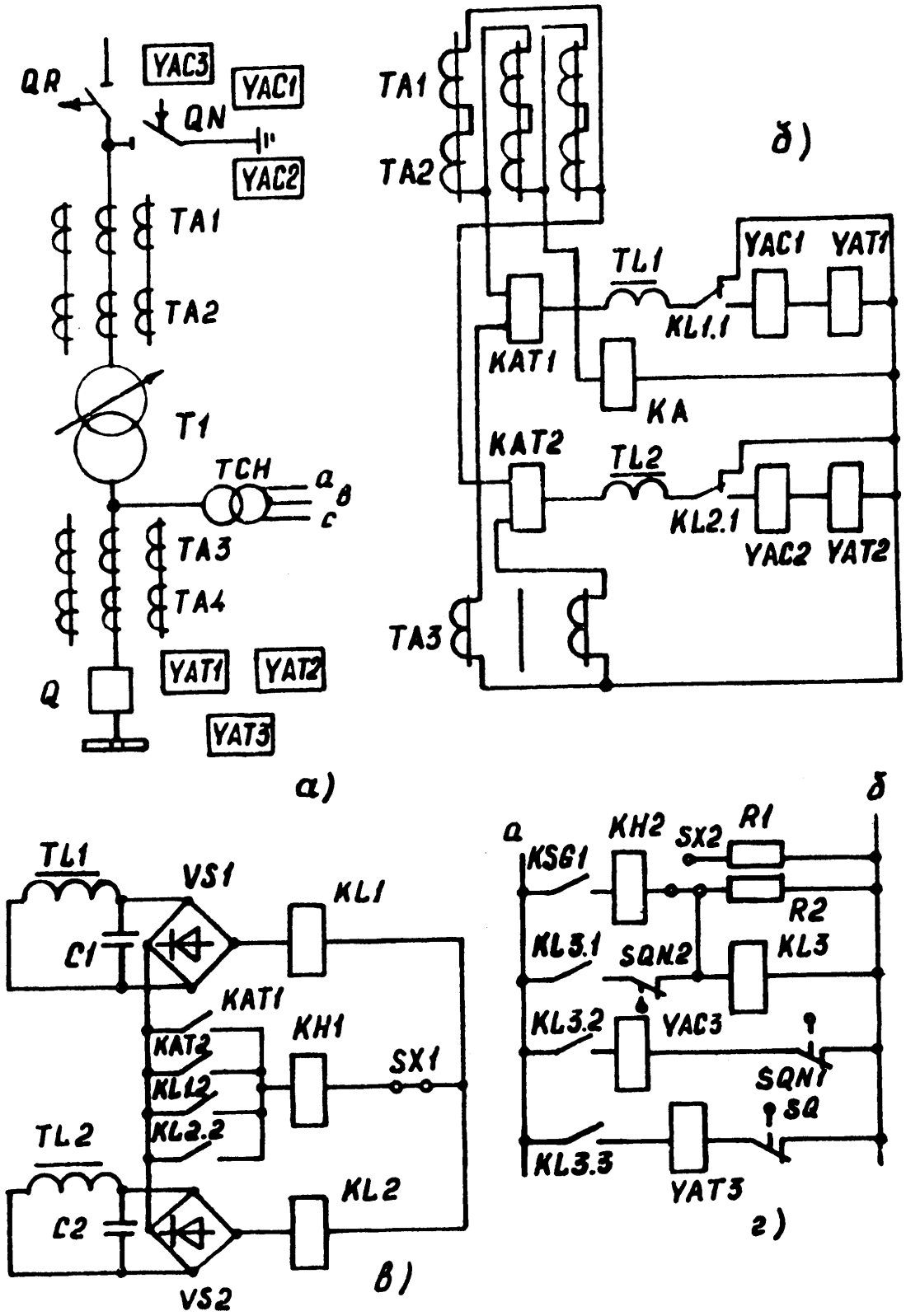

Рисунок 3.2. Схема защиты трансформатора, имеющего встроенные трансформаторы тока

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Тонышев, В.Ф. Основы релейной защиты [Электронный ресурс] : учебное пособие для студ. электромеханич. фак., обуч. по курсу "Основы релейной защиты", для спец. и бакалавров / В.Ф. Тонышев, Е.П. Малышева, Г.Е. Солнцев ; М-во трансп. Рос. Федерации, Фед. агентство мор. и реч. транспорта, ФБОУ ВПО "НГАВТ". - Новосибирск : НГАВТ, 2012. - 168 с. : Прил. - Сетевой ресурс. Открывается с использованием Adobereader версии 9.0 и новее.
2. Основы электроэнергетики: учебник / В.Ф. Тонышев, Е.П. Малышева, К.С. Мочалин. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. водн. тр-та, 2012. – 129 с.
3. Справочник по проектированию электроснабжения, линий электропередачи и сетей. [Текст] / П.И. Анастасиев [и др.]; под ред. Я.М. Большама, В.И. Круповича, М.Л. Самовера. – 2-е изд. – М.: Энергия, 1974. – 650 с.
4. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации: Обязательны для всех Потребителей электоэнергии независимо от их ведомств.принадлежности и форм собственности [Электронный ресурс] : Утв. приказом Минэнерго России N229 от.19.06.03 : Ввод.с 1 окт.2003 г. / М-во энергетики РФ. - СПб. : Изд-во ДЕАН, 2003. – 336 с. – Электронные текстовые данные. – доступ из СПС Консультант Плюс.
5. ПУЭ [Электронный ресурс] : правила устройства электроустановок / 6-е и 7-е. изд. - Электронные текстовые данные. - доступ из СПС Консультант Плюс.
6. Андреев В.А. Релейная защита, автоматика и телемеханика в системах электроснабжения: Учебник для студентов вузов спец. "Электроснабжение промышленных предприятий городов и сельского хозяйства".-2-е изд., перераб. и доп.- М.: Высш. шк., 1985. - 391 с.
7. Кривенков В.В., Новелла В.Н. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Учебн. пособие для вузов.-М.: Энергоиздат. 1981.-328 с.
8. Шабад М.А. Расчеты рлейной защиты и автоматики распределительных сетей. -3-е изд., перераб. и доп. -Л.: Энергоиздат Ленинград.отд-ние, 1985. - 296 с.
9. Руководящие указания по релейной защите. Вып.13Б. Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110-500 кВ: Расчеты.- М.: Энергоатомиздат, 1985. - 96 с.
10. Шабад М.А. Защита трансформаторов распределительных сетей. Л.: Энергоиздат Ленинград.отд-ние, 1981.-136с.
11. Реле защиты / Алексеев В.С. и др. - М.: Энергия, 1976.-464 с.
12. Сыромяткинов И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей/ Под ред. Л.Г. Мамиконянца. - 4-е изд., перераб.и доп.-М.: Энергоатомиздат, 1984. - 240 с.
1.