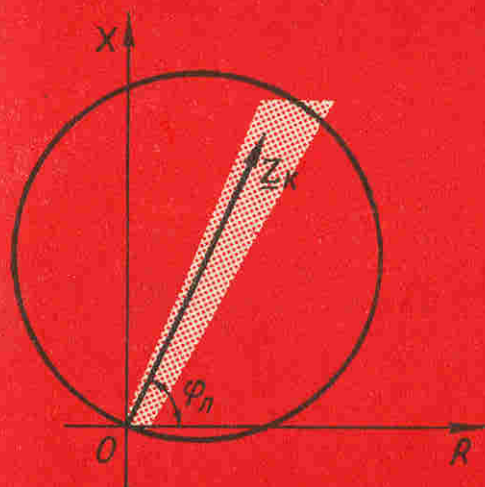




БИБЛИОТЕКА  
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА



А. П. УДРИС

# РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ 110-220 кВ ТИПА ЭПЗ-1636



Выпуск 602

*Основана в 1959 году*

А. П. УДРИС

**РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА  
ВОЗДУШНЫХ  
ЛИНИЙ 110—220 кВ  
ТИПА ЭПЗ-1636**



МОСКВА ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ 1988

ББК 31.27-05

У 31

УДК 621.316.925:621.315.1.027.8

Рецензент В. В. Овчинников

Редакционная коллегия серии:

В. Н. Андриевский, С. А. Бажанов, Л. Б. Годгельф,  
В. Х. Ишкин, Д. Т. Комаров, В. П. Ларионов, Э. С. Муса-  
элян, С. П. Розанов, В. А. Семенов, А. Д. Смирнов, А. Н. Три-  
фонов, А. А. Филатов

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В связи с бурным развитием электрических сетей потребовалось большое количество устройств релейной защиты и прежде всего защиты воздушных линий электропередачи (ВЛ). Удобство эксплуатации и экономические соображения потребовали выпуска таких устройств защиты, которые отличались бы компактностью и универсальностью при высоких технических характеристиках. Именно благодаря таким свойствам комбинированные панели защиты типов ЭПЗ-1636-67/1 и ЭПЗ-1636-67/2 получили широкое распространение, и хотя в настоящее время начато внедрение более совершенных устройств на новой элементной базе, указанные панели еще долгое время будут оставаться наиболее распространенным типом защиты ВЛ 110—220 кВ.

Вместе с тем в литературе нет материалов, кроме заводских, подробно описывающих эти панели, особенности их эксплуатации, поэтому настоящая книга, в которой учтены основные нормативные и заводские материалы по данному вопросу, а также практический опыт эксплуатации панели отдельными энергосистемами, окажется полезной.

В книгу не включен ряд вопросов, которые дали бы возможность персоналу получить исчерпывающие сведения о всех элементах панели и о всех вариантах ее использования. Поэтому следует иметь в виду, что книга рассчитана на читателя, уже имеющего некоторый опыт в эксплуатации устройств релейной защиты. Вместе с тем для восполнения имеющихся пробелов приведен значи-

Удрис А. П.

У 31 Релейная защита воздушных линий 110—220 кВ  
типа ЭПЗ-1636. — М.: Энергоатомиздат, 1988. —  
141 с.: ил. — (Б-ка электромонтера; Вып. 602).

ISBN 5-283-01069-4

Рассмотрены принципы действия, устройство и методика наладки защиты типа ЭПЗ-1636. Отмечены особенности выполнения панелей, разделенных на два комплекса, с полупроводниковыми нуль-индикаторами. Даны рекомендации по наладке и профилактическому восстановлению с учетом нормативных материалов и практического опыта некоторых энергосистем.

Для электромонтеров и мастеров служб релейной защиты и работников наладочных организаций.

У 2302040000-0853  
051(01)-88 188-87

ББК 31 27-05

ISBN 5-283-01069-4

© Энергоатомиздат, 1988

тельный список литературы, ознакомление с которой позволит новым работникам быстрее освоить рассматриваемые устройства.

В книге использованы новые, еще не совсем привычные обозначения позиционных элементов в электрических схемах. Для облегчения пользования ими в прилож. 4 приведено сопоставление новых и традиционных обозначений. В книге дано значительное количество сокращений, алфавитный перечень которых приведен в прилож. 3.

Автор выражает глубокую благодарность инж. И. Р. Таубесу, а также редактору Т. Н. Дородновой и рецензенту В. В. Овчинникову за ряд ценных замечаний и большую помощь при подготовке рукописи.

Пожелания и замечания просьба направлять по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, Энергоатомиздат.

*Автор*

## ПРИНЦИПЫ ДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ

### 1. НАЗНАЧЕНИЕ И СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ ЗАЩИТЫ

Комбинированные панели защиты типов ЭПЗ-1636-67/1 и ЭПЗ-1636-67/2 предназначены для использования в качестве основной и резервной или только резервной защиты одиночных и параллельных ВЛ 110—220 кВ с двусторонним и односторонним питанием, с отпайками и без отпайек. В первом случае, когда панель является единственной защитой ВЛ, она должна надежно защищать ВЛ от всех видов коротких замыканий (КЗ), а также осуществлять функцию дальнего резервирования, т. е. срабатывать при КЗ на смежном участке сети в случае отказа защиты или выключателя этого участка. Во втором случае, когда панель устанавливается в дополнение к основной быстродействующей защите ВЛ, она должна выполнять функции дальнего, а также ближнего резервирования, т. е. срабатывать при КЗ на защищаемой ВЛ при отказе или ремонте основной защиты. Если в особых случаях, например на коротких параллельных ВЛ, устанавливаются две быстродействующие защиты, ЭПЗ-1636 должна обеспечивать только функции дальнего резервирования.

Из года в год панели ЭПЗ-1636 подвергались модернизации, последняя из которых, выполненная заводом по разработке института «Энергосетьпроект» в конце 70-х годов, существенно изменила схему и ряд узлов панели. Наиболее правильным было бы подробно рассмотреть схемы панели до и после этой модернизации, однако ограниченный объем работы не позволяет этого сделать. Поэтому далее будут кратко описаны общие принципы панелей ЭПЗ-1636, отмечены основные отличия модернизированного варианта (далее ЭПЗ-1636м) от первоначального (далее ЭПЗ-1636п), а все принципиальные схемы и подробное описание узлов будут даны только для ЭПЗ-1636м, поскольку эта защита наименее освещена в литературе.

Панели защиты обеих модификаций включают в себя:

- 1) для защиты от междупазных КЗ — трехступенчатую

дистанционную защиту (ДЗ), две ступени размещены в комплекте типа ДЗ-2, третья — в комплекте типа КРС-1, с блокировкой при качаниях (комплект типа КРБ-125 или КРБ-126) и двухрелейную токовую отсечку (комплект типа КЗ-9);

2) для защиты от КЗ на землю — четырехступенчатую токовую защиту нулевой последовательности (ТЗНП), в панели ЭПЗ-1636п все ступени размещены в комплекте типа КЗ-10, в панели ЭПЗ-1636м в этом комплекте размещены только три ступени, а четвертая — вне комплектов;

3) для контроля наличия тока по ВЛ в схеме устройства резервирования отказа выключателей (УРОВ) — два реле тока типа РТ-40/Р.

Внедрение в эксплуатацию панелей ЭПЗ-1636 дало существенный экономический эффект. Если раньше ДЗ и ТЗНП размещались на полутора панелях, то в ЭПЗ-1636 они стали размещаться на одной, что дало соответствующую экономию металла, а также места на щите управления и, следовательно, уменьшение расходов на строительную часть щита. Универсальность исполнения схемы панели позволила почти всегда применять панель без дополнительных реконструкций, что дало экономию затрат на проектирование и монтаж устройств релейной защиты. Разделение в панелях ЭПЗ-1636м единой защиты на два независимых комплекса обеспечило их взаимное резервирование, что дало заметное уменьшение ущерба, возникающего в случае отказа одного из этих комплексов, когда панель ЭПЗ-1636м является единственной защитой ВЛ.

## 2. ДИСТАНЦИОННАЯ ЗАЩИТА

В сетях сложной конфигурации для защиты ВЛ от междуфазных КЗ используется защита, которая измеряет полное сопротивление ВЛ от места подключения измерительных трансформаторов напряжения (ТН) до места КЗ. Поскольку это сопротивление пропорционально расстоянию (дистанции) до места КЗ, защита названа дистанционной. Хотя она сложнее простых токовых защит, но обладает важными преимуществами: во-первых, зона действия защиты не изменяется при изменении в широких пределах уровня токов КЗ, т. е. при изменении режима работы сети, во-вторых, защита обладает направленностью действия. Для обеспечения селективности действия ДЗ смежных ВЛ время их действия выполняют зависимым

от расстояния до места КЗ: чем дальше КЗ, тем больше время срабатывания. Выполнить такую зависимость линейной затруднительно, поэтому ее выполняют ступенчатой: все КЗ в пределах I зоны, ближайшей к месту установки защиты, отключаются с минимальным временем, все КЗ в пределах следующей, II зоны отключаются с большим временем, КЗ в пределах последней, III зоны, отключаются с наибольшим временем.

Прототипом ДЗ панели ЭПЗ-1636 является ДЗ, выполненная на панелях типа ПЗ-2/1 и ПЗ-2/2, принципы действия и объем технического обслуживания которых изложены в [1, 2]. В данном параграфе будут рассмотрены измерительные органы ДЗ. Логическую часть удобнее рассмотреть при описании логической части всей панели (см. § 7, 9, 10).

**Реле сопротивления.** Воздушные линии 110—220 кВ имеют сопротивление активно-индуктивного характера (емкость ВЛ обычно учитывают при напряжении 330 кВ и выше), поэтому сопротивление от места установки защиты до места КЗ, обозначаемое  $\underline{Z}_k$ , представляется в комплексной плоскости (рис. 1) вектором, расположенным под углом  $\varphi_L$  (угол линии) к оси вещественных чисел (активных сопротивлений). Для измерения  $\underline{Z}_k$  используются реле сопротивления (РС), к которым подводится напряжение  $\underline{U}_{p,v}$  от ТН в месте подключения ВЛ к шинам подстанции (ПС) и ток  $\underline{I}_{p,v}$  от трансформаторов тока (ТТ), включенных в защищаемую ВЛ. Соотношение между первичными и вторичными величинами определяется формулами

$$\underline{U}_{p,v} = \underline{U}_{p,n} / K_U \quad \text{и} \quad \underline{I}_{p,v} = \underline{I}_{p,n} / K_I,$$

где  $\underline{U}_{p,v}$ ,  $\underline{I}_{p,v}$  — вторичные напряжение и ток;  $\underline{U}_{p,n}$ ,  $\underline{I}_{p,n}$  — первичные напряжение и ток;  $K_U$  и  $K_I$  — коэффициенты трансформации ТН и ТТ.

В последующем описании для упрощения записей можно принять  $K_U$  и  $K_I$  равными единице, тогда  $\underline{U}_{p,v} = \underline{U}_{p,n} = \underline{U}_p$  и  $\underline{I}_{p,v} = \underline{I}_{p,n} = \underline{I}_p$ , а отношение  $\underline{U}_p / \underline{I}_p = \underline{Z}_p$ , называемое сопротивлением на зажимах РС, равно  $\underline{Z}_k$ .

Сопротивление  $\underline{Z}_p$  на грани срабатывания обозначается  $\underline{Z}_{c,p}$ . Чтобы РС надежно чувствовало КЗ на защищаемой ВЛ, но не реагировало на КЗ «за спиной», область

полных сопротивлений, в которых срабатывает РС, должна с определенным запасом на погрешности при расчете параметров ВЛ, токов КЗ, на влияние дуги и т. д. охватывать наибольший вектор  $\underline{Z}_k$  в пределах защищаемой зоны (заштриховано на рис. 1). Граница областей срабатывания и несрабатывания называется характеристикой срабатывания РС

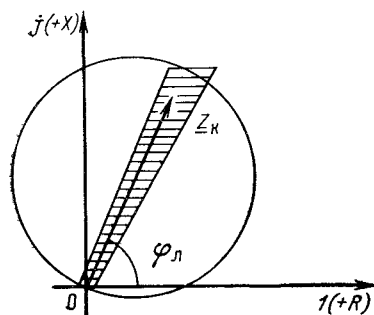
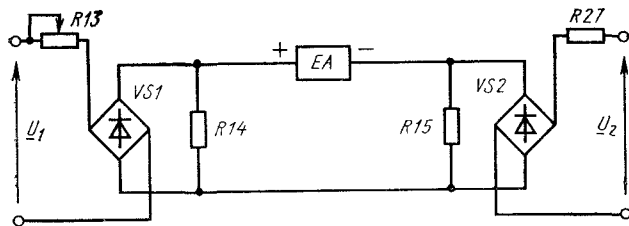


Рис. 1. Сопротивление ВЛ до места КЗ и характеристики срабатывания РС в комплексной плоскости

Рис. 2. Схема сравнения модулей электрических величин



Особо следует остановиться на влиянии дуги, возникающей при КЗ. Известно, что сопротивление дуги носит активный характер, поэтому вектор сопротивления дуги  $\underline{R}_d$ , определяемый как частное от деления напряжения на дуге на ток в месте КЗ, совпадает по направлению с этим током. Если ток в месте КЗ совпадает по направлению с током, протекающим через защиту (что характерно для тупиковых и слабо нагруженных ВЛ), вектор  $\underline{R}_d$  направлен параллельно оси абсцисс комплексной плоскости, в которой представлена характеристика рассматриваемой защиты (см. рис. 1), если не совпадает, то направлен под некоторым углом к этой оси. В любом случае конец вектора результирующего сопротивления на зажимах РС может оказаться за пределами области срабатывания РС, если ее выбирать без надлежащих запасов. Оценить влия-

ние дуги при расчетах можно исходя из приближенного определения падения напряжения на дуге порядка 1 кВ на каждый метр дуги. Если принять, что при КЗ дуга может раздуться до величины, в 2—3 раза превышающей расстояние между фазами ВЛ, можно для каждого конкретного случая рассчитать сопротивление дуги. Анализ показывает, что при малых  $\underline{Z}_k$  и относительно малых уровнях токов КЗ влияние переходного сопротивления дуги может быть значительным и требует учета при расчете уставок.

Схема РС получается достаточно простой, если характеристику срабатывания выполнить в виде окружности (см. рис. 1), используя для этого принцип сравнения абсолютных значений двух электрических величин [3]. Схема сравнения в рассматриваемом РС (комплекта ДЗ-2) приведена на рис. 2. Для удобства анализа заводских схем все условные обозначения этого и последующего рисунков даны, как в принципиальных заводских схемах. Между положительными полюсами выпрямительных мостов VS1, VS2 включен нуль-индикатор (НИ), срабатывающий при превышении напряжения на R14 над напряжением на R15. Пренебрегая падением напряжения на резисторах R13 и R27 и полагая чувствительность НИ весьма высокой, получаем условие срабатывания НИ, а следовательно, и РС в виде

$$|\underline{U}_1| \geq |\underline{U}_2|, \quad (1)$$

где  $\underline{U}_1$  — напряжение, действующее в сторону срабатывания;  $\underline{U}_2$  — напряжение, действующее в сторону торможения.

Для схемы направленного РС векторы  $\underline{U}_1$  и  $\underline{U}_2$  формируются из подводимых к РС векторов напряжения  $\underline{U}_p$  и тока  $\underline{I}_p$  в соответствии с формулами

$$\underline{U}_1 = \underline{n}_I \underline{I}_p; \quad (2)$$

$$\underline{U}_2 = \underline{n}_U \underline{U}_p - \underline{n}_I \underline{I}_p, \quad (3)$$

откуда условие срабатывания НИ выразится в виде

$$|\underline{n}_I \underline{I}_p| \geq |\underline{n}_U \underline{U}_p - \underline{n}_I \underline{I}_p|, \quad (4)$$

причем в формулах (2)—(4)  $\underline{n}_U$  — комплексный коэффициент пропорциональности между напряжением  $\underline{U}_p$  и напряжением  $\underline{U}_2$  при токе  $\underline{I}_p = 0$ ;  $\underline{n}_I$  — комплексный коэф-

фициент пропорциональности между током  $\underline{I}_p$  и напряжениями  $\underline{U}_1$  и  $\underline{U}_2$  при напряжении  $\underline{U}_p=0$ .

Выражение (4) можно представить геометрически. Поскольку нас интересует взаимное расположение векторов, один из них можно расположить произвольно. Располагая вектор  $\underline{I}_p$  вдоль оси абсцисс комплексной плоскости, т. е.  $\underline{I}_p = I_p e^{j0^\circ}$ , мы получаем удобную возможность одними и теми же векторами, только в разных масштабах, ото-

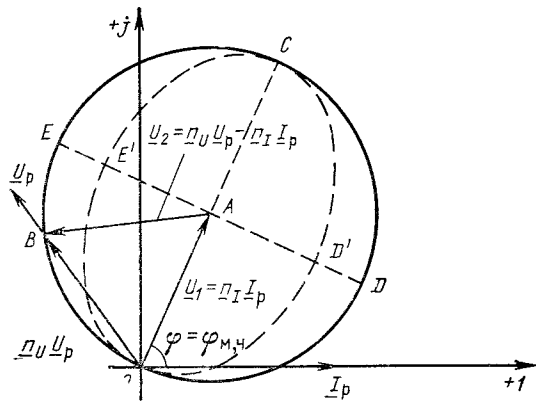


Рис. 3 Характеристика срабатывания направленного РС

бражать как векторы напряжений, так и векторы сопротивлений. Для получения требуемой характеристики срабатывания следует задаться комплексным коэффициентом  $\underline{n}_I$  вида  $\underline{n}_I e^{j\varphi}$ , где  $\varphi = \varphi_{\text{пл}}$ . Тогда получим вектор  $\underline{OA} = \underline{U}_1 = \underline{n}_I \underline{I}_p$  (рис. 3). Очевидно, геометрическим местом точек плоскости, в котором выполняется равенство  $|\underline{U}_1| = |\underline{U}_2|$ , является окружность с центром в точке А. Поскольку радиус  $\underline{U}_2$ , проведенный в любую точку окружности, например В, должен в соответствии с (3) быть равен разности  $\underline{n}_U \underline{U}_p - \underline{n}_I \underline{I}_p$ , вектор  $\underline{OB}$  равен  $\underline{n}_U \underline{U}_p$  ( $\underline{AB} = \underline{OB} - \underline{OA}$ ). Следует задать комплексный коэффициент  $\underline{n}_U$  в виде  $\underline{n}_U = \underline{n}_U e^{j\varphi}$ , тогда направления векторов  $\underline{OB}$  и  $\underline{U}_p$  совпадают. Если величины  $\underline{U}_1$ ,  $\underline{U}_2$ ,  $\underline{n}_U \underline{U}_p$  разделить на ток  $\underline{I}_p$ , получаем те же соотношения, но уже в виде

сопротивлений, а именно:  $\underline{OA} = \underline{n}_I$  (размерность сопротивления),  $\underline{OB} = \underline{n}_U \underline{Z}_p$ ,  $\underline{AB} = \underline{n}_U \underline{Z}_p - \underline{n}_I$ , и окружность с радиусом  $\underline{AB}$  является характеристикой срабатывания РС, зависящей не от абсолютных значений  $\underline{U}_p$  и  $\underline{I}_p$ , но только от их соотношения. Тогда выражение (4) принимает вид

$$|\underline{n}_I| \geq |\underline{n}_U \underline{Z}_p - \underline{n}_I|, \quad (4a)$$

а на грани срабатывания

$$|\underline{n}_I| = |\underline{n}_U \underline{Z}_{c,p} - \underline{n}_I|. \quad (4b)$$

Заметим, что при расположении векторов  $\underline{OA}$  и  $\underline{AB}$  на одной прямой и при совпадении их направлений получаем максимальное значение  $\underline{OC}$  вектора  $\underline{n}_U \underline{U}_p$ , поэтому угол  $\varphi$  называется углом максимальной чувствительности  $\varphi_{\text{м,ч}}$  и коэффициент  $\underline{n}_I$  выбирается по углу близким к  $\varphi_{\text{пл}}$ .

Исходя из этого наиболее важна длина защищаемой зоны, т. е. уставка РС  $\underline{Z}_{c,p}$ , определяемая при угле  $\varphi_{\text{м,ч}}$ . Так как при  $\varphi_{\text{м,ч}}$   $|\underline{OC}| = 2|\underline{OA}|$ , т. е.  $\underline{n}_U \underline{Z}_{c,p} = 2\underline{n}_I$ , то

$$\underline{Z}_{c,p} = 2\underline{n}_I / \underline{n}_U. \quad (5)$$

Заданное расчетом значение  $\underline{Z}_{c,p}$  выполняется при наладке подбором модулей коэффициентов  $\underline{n}_I$  и  $\underline{n}_U$ .

Независимость  $\underline{Z}_{c,p}$  от вида КЗ обеспечивается включением РС на междуфазное напряжение (т. е.  $\underline{U}_p = \underline{U}_{AB}$ , или  $\underline{U}_{BC}$ , или  $\underline{U}_{CA}$ ) и разность токов соответствующих фаз ( $\underline{I}_p = \underline{I}_A - \underline{I}_B$ , или  $\underline{I}_B - \underline{I}_C$ , или  $\underline{I}_C - \underline{I}_A$ ) [4, с. 330].

Действительно, при трехфазных КЗ

$$\underline{Z}_p = \frac{\underline{U}_p}{\underline{I}_p} = \frac{|\underline{U}_{AB}|}{|\underline{I}_A - \underline{I}_B|} = \frac{\sqrt{3} U_A}{\sqrt{3} I_A} = \frac{\sqrt{3} I_A Z_K}{\sqrt{3} I_A} = Z_K, \quad (6)$$

где  $Z_K$  — модуль сопротивления фазы до места КЗ;  $U_A$ ,  $I_A$  — фазные напряжение и ток.

При двухфазных КЗ напряжение, подводимое к РС, включенному на те фазы, между которыми произошло КЗ, например  $\underline{U}_{AB}$ , пропорционально падению напряжения в петле КЗ, поэтому с учетом того, что  $\underline{I}_B = -\underline{I}_A$ ,

$$\underline{Z}_p = \frac{\underline{U}_p}{\underline{I}_p} = \frac{|\underline{U}_{AB}|}{|\underline{I}_A - \underline{I}_B|} = \frac{I_A \cdot 2Z_K}{2I_A} = Z_K, \quad (7)$$

где все обозначения идентичны обозначениям (6).

Можно показать, что при двухфазных КЗ на землю

указанное свойство при принятом способе включения РС сохраняется.

Для обеспечения независимости длины защищаемой зоны при КЗ между любыми из трех фаз, естественно, в каждой ступени ДЗ используется по три РС.

Очевидно, минимальное значение вектора  $\underline{OB}$  и  $Z_p$  (см. рис. 3) равно нулю при условии  $\underline{AB} = -\underline{OA}$ , т. е. теоретическая характеристика срабатывания РС проходит через начало координат, что и нужно для обеспечения направленности реле.

В выражении (1), записанном для схемы сравнения рис. 2, в целях упрощения допущена неточность: фактически НИ сравнивает не величины  $\underline{U}_1$  и  $\underline{U}_2$ , а падения напряжения на резисторах  $R14$  и  $R15$ , которые отличаются от первых на падение напряжения на резисторах  $R13$  и  $R27$ , т. е. условие срабатывания (1) заменяется условием  $|\underline{U}_{R14}| \geq |\underline{U}_{R15}|$ . Если сопротивления резисторов  $R13$  и  $R27$  одинаковы, оба условия срабатывания идентичны. Если сопротивление  $R13$  значительно больше, чем  $R27$ , то на грани срабатывания НИ  $|\underline{U}_1| > |\underline{U}_2|$ , т. е. характеристика срабатывания смещается в I квадрант; аналогично, если сопротивление  $R13$  меньше сопротивления  $R27$ , характеристика смещается в III квадрант, как это предусмотрено в III ступени ДЗ. Хотя теоретическая характеристика срабатывания РС при равенстве этих сопротивлений проходит через начало координат, фактически вследствие некоторой нелинейности и нестабильности элементов схемы характеристика смещается либо в I, либо в III квадрант, между тем как для I и II ступеней ДЗ требуется иметь четкую направленность действия. В связи с этим при наладке защиты характеристика заведомо смещается в I квадрант, а для устранения мертвой зоны предусмотрено введение в рабочий и тормозной контуры небольшой дополнительной ЭДС подпитки  $\underline{E}_n$ , вектор которой совпадает по направлению с вектором  $\underline{n}_U \underline{U}_p$ , так что выражение (4) фактически принимает вид

$$|\underline{n}_I \underline{I}_p + \underline{E}_n| \geq |\underline{n}_U \underline{U}_p + \underline{E}_n - \underline{n}_I \underline{I}_p|. \quad (8)$$

В случаях, когда  $\underline{n}_U \underline{U}_p \gg \underline{E}_n$ , введение этой добавки практически не влияет на форму характеристики срабатывания, в случаях же, когда  $\underline{U}_p$  близко к нулю, выра-

жение (8) принимает вид

$$|\underline{E}_n + \underline{n}_I \underline{I}_p| \geq |\underline{E}_n - \underline{n}_I \underline{I}_p|. \quad (9)$$

Известно [3], что это выражение является характеристикой срабатывания реле мощности с ф<sub>м.ч.</sub>, определяемым коэффициентом  $\underline{n}_I$ .

Теперь следует подробно рассмотреть схемы РС и роль каждого элемента в них. Первая и вторая ступени ДЗ выполняются с помощью РС, которые называются дистанционными органами, имеют возможность переключения уставок с I на II ступень и расположены в комплекте АКЗ2 (рис. 4). Третья ступень ДЗ выполняется с помощью одноступенчатых РС, расположенных в комплекте АКЗ1 (рис. 5). Вначале целесообразно рассмотреть элементы, общие для всех РС, а затем отметить особенности РС III ступени. Рисунки 4, 5 даны для РС панели ЭПЗ-1636м.

Схема сравнения является основой РС. Она включает в себя выпрямительные мосты  $VS1$ ,  $VS2$ , балластные резисторы  $R14$ ,  $R15$  в РС комплекта АКЗ2,  $R15$ ,  $R16$  в комплекте АКЗ1 и нуль-индикатор  $EA$ . На вход моста  $VS1$  подается величина  $\underline{U}_1 = \underline{n}_I \underline{I}_p + \underline{E}_n$ , формируемая рабочим контуром. На вход моста  $VS2$  подается величина  $\underline{U}_2 = \underline{n}_U \underline{U}_p - \underline{n}_I \underline{I}_p + \underline{E}_n$ , формируемая тормозным контуром. Вектор  $\underline{n}_U \underline{U}_p$  формируется трансформатором напряжения  $TV1$ , вектор  $\underline{n}_I \underline{I}_p$  — трансреактором  $TAV1$  и нагружающими его резисторами  $R9—R12$ , вектор  $\underline{E}_n$  — трансреактором  $TAV2$  и контуром подпитки. Для защиты НИ от больших кратностей как тормозного, так и рабочего тока предусмотрены включенные параллельно входу НИ защитные кремниевые диоды  $VD6$ ,  $VD7$  типа Д102. Падение напряжения на открытом кремниевом диоде обычно не превышает 0,6—0,8 В, этим ограничивается ток через НИ. Для сглаживания пульсации выпрямленного тока после мостов предусмотрены фильтр-пробка  $L1-C4$ , настроенный на частоту 100 Гц, и конденсатор  $C5$ , включенный параллельно входу НИ.

В панелях ЭПЗ-1636п в качестве НИ использовано магнитоэлектрическое реле (МЭР) типа М237/054. Его основные параметры: ток срабатывания 6—10 мкА; ток термической стойкости 2 мА; сопротивление рамки 1,4—2 кОм; допустимое напряжение на контактах 60—120 В.

Для создания критического успокоения рамки МЭР



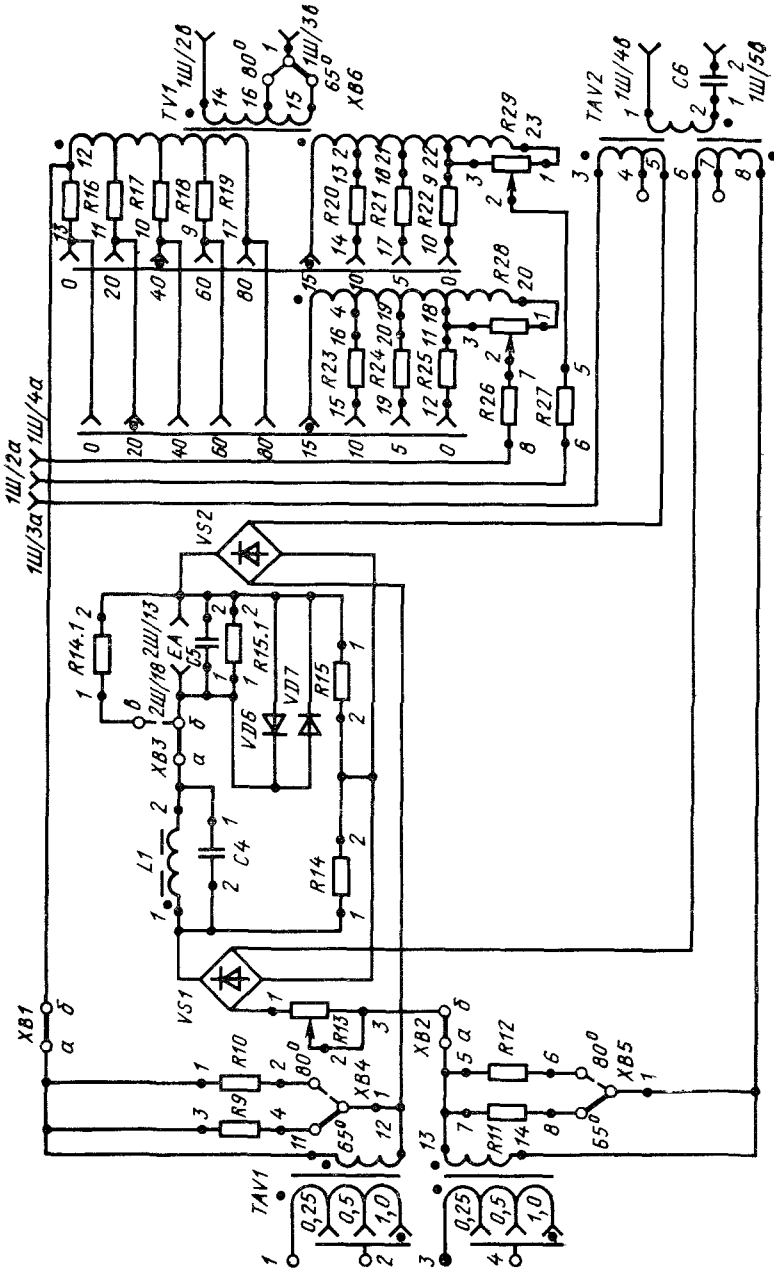


Рис. 4. Принципиальная схема РС в комплекте типа ДЗ-2

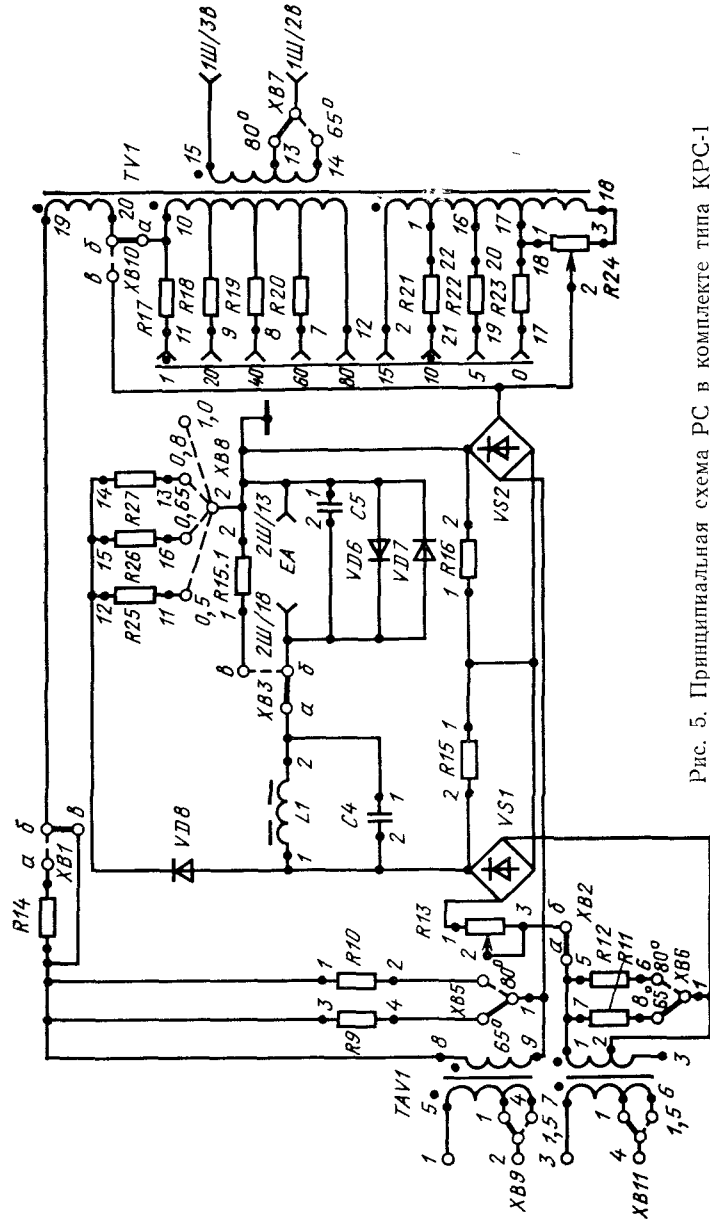


Рис. 5. Принципиальная схема РС в комплекте типа КРС-1

и плавного подхода подвижного контакта к неподвижному параллельно входу НИ подключается резистор. Для снижения напряжения на контактах МЭР в логической части схемы панели предусмотрен стабилизатор, поддерживающий напряжение на контактах МЭР на уровне 100 В.

Поскольку МЭР имеет низкий коэффициент возврата, его контакты могут остаться замкнутыми, если после отключения ВЛ не восстанавливается тормозное напряжение схемы сравнения, обычно возвращающее МЭР в исходное состояние. Такое явление может, например, иметь место, если ТН, к которому подключена ДЗ, расположен на линии. При этом ДЗ остается в сработавшем состоянии и не дает включить ВЛ. Чтобы устранить этот недостаток МЭР, предусмотрен трехфазный токовый орган (ТТО), контакты которого включены последовательно с контактами МЭР. При наличии тока КЗ или тока нагрузки через защиту ТТО находится в сработавшем состоянии и не препятствует срабатыванию ДЗ. При отсутствии тока ТТО возвращается, его контакты, размыкаясь, возвращают ДЗ несмотря на оставшееся в сработавшем состоянии МЭР. При включении ВЛ под напряжение ТТО срабатывает с задержкой 10—15 мс, в течение которых МЭР успевает вернуться от тормозного тока схемы сравнения, если ВЛ исправна. Описание принципов действия и наладки ТТО здесь не приводится. Требования к использованию ТТО изложены в [5, § 4.25], принципы действия и методика наладки — в [1, 2].

В панелях ЭПЗ-1636м использован полупроводниковый НИ, принцип действия которого рассмотрен в следующем параграфе.

Трансформатор напряжения  $TV1$ , формирующий для тормозного контура величину  $n_U \underline{U}_p$ , подключен первичной обмоткой к линейному напряжению  $U_p$ , соответствующему подведенной к трансреактору  $TAV1$  разности фазных токов. Вторичное напряжение совпадает по направлению с  $\underline{U}_p$  и регулируется изменением суммарного числа витков двух последовательно включенных вторичных обмоток в соответствии с формулой

$$U_2 = n_U U_p = U_p n'_U \frac{N\%}{100}, \quad (10)$$

где  $n'_U$  — максимальное значение  $n_U$  при 100 % включенных витков вторичной обмотки;  $N\%$  — процент включенных витков вторичной обмотки.

Регулировка числа витков осуществляется:

отводами вторичной обмотки, содержащей 80 % витков, ступенчато, через 20 % (0—20—40—60—80 %);

отводами вторичных обмоток, содержащих 23 % витков, ступенчато, через 5 % (0—5—10—15 %);

положением резисторов плавной регулировки уставки ( $R28$ ,  $R29$  в РС комплекта  $AKZ2$ ,  $R24$  в РС комплекта  $AKZ1$ ), подключенных к дополнительным виткам вторичных обмоток с меньшим числом витков (диапазон регулировки — 8 %).

Расчетный диапазон регулировки составляет от 5 до 100 % витков, что соответствует 20-кратному изменению  $n_U$  и  $Z_{с.р.}$ . При этом из (5) минимальное сопротивление срабатывания получается при 100 % включенных витков вторичной обмотки, обозначается  $Z_{уст, min}$  и зависит только от коэффициента  $n_l$ . Для выравнивания значений сопротивлений, вносимых в тормозной контур при регулировке уставок, предусмотрены резисторы  $R16—R27$  в РС комплекта  $AKZ2$  и  $R17—R23$  в РС комплекта  $AKZ1$ .

Поскольку РС комплекта  $AKZ2$  предназначены для реализации I и II ступеней ДЗ, регулировки числа вторичных витков для каждой ступени выполняются независимо, а переключение уставок осуществляется внешним промежуточным реле, подключающим в тормозной контур потенциал либо с резистора  $R28$ , либо с резистора  $R29$ .

Кроме перечисленных предусмотрен регулятор числа витков первичной обмотки для обеспечения постоянства минимального сопротивления срабатывания РС при разных значениях  $\varphi_{м.ч.}$ . Поскольку  $TAV1$  выдает при  $\varphi_{м.ч.} = 80^\circ$  большее напряжение на выходе, чем при  $\varphi_{м.ч.} = 65^\circ$ , трансформатор  $TV1$  тоже должен выдавать большее напряжение, поэтому число витков его первичной обмотки при переходе на  $\varphi_{м.ч.} = 80^\circ$  уменьшается, а коэффициент трансформации увеличивается. Таким образом, при  $\varphi_{м.ч.} = 65^\circ$   $n'_U = 2$ , а при  $\varphi_{м.ч.} = 80^\circ$   $n'_U = 2,5$ .

Трансреактор  $TAV1$ , формирующий для рабочего и тормозного контуров векторы  $\pm n_l I_p$ , имеет две первичные и две вторичные обмотки. Первичные обмотки включаются в токовые цепи таким образом, чтобы во вторичных обмотках наводилась ЭДС, пропорциональная геометрической разности подводимых фазных токов. Первичные обмотки выполняются в двух исполнениях: для защит с номинальным током 5 или 1 А, при этом магнитодвижущая сила первичных обмоток остается одинаковой для обоих исполнений.

Чтобы ввести величины  $n_I I_p$  в оба контура строго одинаковыми по модулю, нужно предусмотреть возможность независимой регулировки ЭДС вторичных обмоток  $TAVI$ . С этой целью трансреактор выполняется на сложном трехстержневом магнитопроводе (рис. 6). Первичные обмотки намотаны на среднем стержне, а вторичные — на крайних стержнях, имеющих регулируемые зазоры, изменением

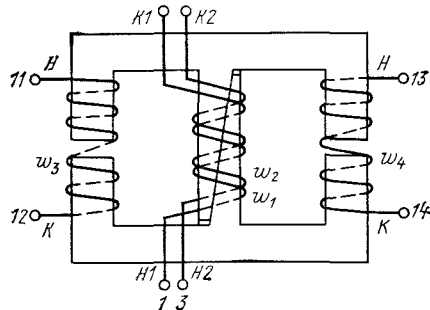


Рис. 6. Схема трансреактора  $TAVI$

которых можно выравнивать ЭДС вторичных обмоток. Благодаря наличию воздушных зазоров в стержнях ЭДС вторичных обмоток в широких пределах пропорциональны подаваемому току  $I_p$  и сдвинуты по углу на  $90^\circ$  в сторону опережения ( $\underline{n}_I = n_I e^{i 90^\circ}$ ). Регулировка  $\underline{n}_I$  по углу осуществляется изменением нагрузки вторичных обмоток. Если обмотки нагружаются резисторами  $R10, R12$  сопротивлением 13 кОм, угол между напряжением  $\underline{U}_2$  на выходе  $TAVI$  и током  $\underline{I}_p$  уменьшается до  $80^\circ$  ( $\underline{n} = n_I e^{i 80^\circ}$  для ВЛ 220 кВ). Если обмотки нагружаются резисторами  $R9, R11$  сопротивлением 3,6 кОм, указанный угол уменьшается до  $65^\circ$  ( $\underline{n}_I = n_I e^{i 65^\circ}$  для ВЛ 110 кВ). Естественно, при этом  $\underline{U}_2$  несколько снижается.

Регулировка  $n_I$  по модулю осуществляется ступенчато изменением числа витков первичных обмоток  $TAVI$ . Отводы этих обмоток маркируются величиной  $Z_{уст, min}$ . В РС комплекта  $AKZ2$  выполнены три отвода с  $Z_{уст, min}$ , равным 1,0; 0,5 и 0,25 Ом/фазу. В РС комплекта  $AKZ1$  панелей ЭПЗ-1636п первичные обмотки  $TAVI$  отводов не имеют, для тех же реле панелей ЭПЗ-1636м отводами первичных обмоток  $TAVI$  может быть выставлено  $Z_{уст, min}$ ,

равное 1,0 или 1,5 Ом/фазу (последнее для удлинения III ступеней и улучшения дальнего резервирования). Минимальные уставки РС в зависимости от числа использованных первичных витков  $TAVI$  приведены в табл. 1. Здесь же приведены для удобства и значения  $Z_{уст, max}$ , определяемые возможностью 20-кратного изменения  $n_U$ .

Таблица 1

Параметры	Значения для $I_{ном}=5A$				Значения для $I_{ном}=1A$			
Число витков	6	4	2	1	30	20	10	5
$Z_{уст, min}$ , Ом/фазу	1,5	1,0	0,5	0,25	7,5	5,0	2,5	1,25
$Z_{уст, max}$ , Ом/фазу	30	20	10	5	150	100	50	25

Из выражения (5) и табл. 1 можно вычислить  $n_I$ . Например, для панели с  $I_{ном}=5 A$  при  $\varphi_{м,ч}=65^\circ$  и  $Z_{уст, min}=1 \text{ Ом/фазу}$

$$n_I = \frac{Z_{уст, min} n'_U}{2} = \frac{1 \cdot 2}{2} = 1 \text{ Ом/фазу.}$$

Исходя из этого выражения можно вычислить напряжение на вторичных обмотках  $TAVI$ :

$$U_2 = n_I I_p = \frac{Z_{уст, min} n'_U}{2} I_p.$$

При настройке ток, подводимый к реле,  $I'_p$  пропускается через две последовательно включенные первичные обмотки  $TAVI$  (как в режиме двухфазного КЗ), т. е. фактически  $I_p$  по ранее принятым здесь обозначениям равен  $2I'_p$ . Отсюда вытекает формула, требующаяся при проверке  $TAVI$ .

$$U_2 = Z_{уст, min} n'_U I'_p, \quad (11)$$

где  $I'_p$  — ток через две последовательно включенные обмотки  $TAVI$ . Например, для панели с  $I_{ном}=1 A$  при  $\varphi_{м,ч}=80^\circ$ ,  $Z_{уст, min}=2,5 \text{ Ом/фазу}$  и токе 2 А  $U_2=2,5 \times \times 2,5 \cdot 2=12,5 \text{ В}$ .

Трансреактор подпитки  $TAV2$  и контур подпитки ( $TAV2$  и конденсатор  $C6$ ) предназначены для устранения мертвой зоны РС при близких КЗ, т. е. для превращения РС в орган направления мощности. При двухфазных КЗ (например, АВ) в качестве величины для формирования  $\underline{E}_n$ , очевидно, следует взять напряжение третьей, неповрежденной фазы  $\underline{U}_{с0}$ , а чтобы оно совпало с напряже-

нием  $\underline{U}_{AB}$ , повернуть его на  $90^\circ$  (рис. 7). Для этой цели служит контур подпитки, к которому приложено напряжение третьей фазы и который настраивается в резонанс на частоте 50 Гц. Тогда  $\underline{I}_{C0}$  совпадает с  $\underline{U}_{C0}$ , напряжение на конденсаторе  $\underline{U}_C$  отстает от этого тока на  $90^\circ$ , а на-

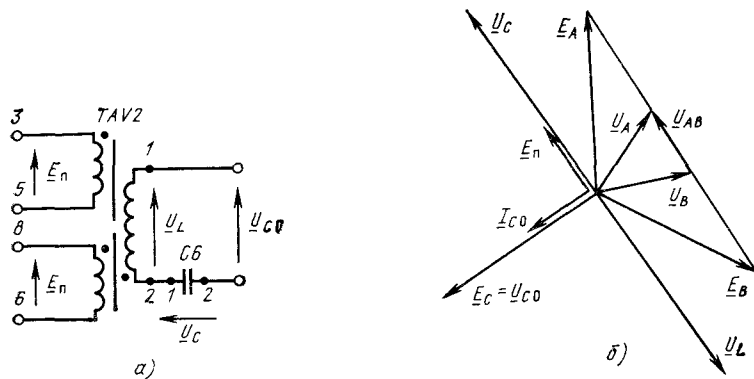


Рис. 7. Схема контура подпитки (а) и векторная диаграмма токов и напряжений контура подпитки (б)

пряжение на индуктивности  $\underline{U}_L$  опережает его на те же  $90^\circ$ . Трансформированное  $\underline{U}_L$  с обратным знаком превращается в  $\underline{E}_n$ , вводимое в рабочий и тормозной контуры и совпадающее с направлением  $\underline{U}_p(\underline{U}_{AB})$ . Контур подпитки устраняет также мертвую зону РС при близких трехфазных КЗ благодаря тому, что он настроен в резонанс на частоте 50 Гц. При глубоком снижении напряжения третьей фазы на входе контура в нем некоторое время продолжают сохраняться колебания («память»), а следовательно, и  $\underline{E}_n$  на выходе TAV2. Существование  $\underline{E}_n$  обеспечивает правильную работу РС при трехфазном КЗ в начале ВЛ, если I ступень не имеет выдержки времени на срабатывание. Контур настраивается в резонанс регулировкой воздушного зазора в TAV2.

*Особенности РС III ступени (см. рис. 5).*

1. Реле сопротивления выполнено одноступенчатым, поэтому трансформатор TV1 имеет только один комплект отводов от вторичных обмоток.

2. Введением резистора R14 в тормозной контур пре-

доставлена возможность ослаблять его и тем самым смещать характеристику срабатывания в III квадрант на 6—12 %. Этим обеспечивается надежное переключение уставок дистанционных органов при КЗ в начале ВЛ, что важно для случаев, когда при переходе КЗ из однофазного в междуфазное I ступень оказывается выведенной блокировкой при качаниях, и отключение может произойти только по цепям неблокируемой II ступени. Возникающая при этом некоторая потеря направленности, как правило, не опасна, так как при близких КЗ «за спиной» обязаны сработать защиты, более быстродействующие, чем рассматриваемая III ступень. При КЗ на шинах с отказом защиты шин действие РС III ступени даже благоприятно.

3. Благодаря возможности смещения характеристики срабатывания в III квадрант в целях упрощения из схемы РС исключен контур подпитки. В тех редких случаях, когда смещение характеристики срабатывания РС в III квадрант неприемлемо, приходится мириться с наличием у РС мертвой зоны, которая перекрывается токовой отсечкой и I ступенью ДЗ.

4. Третья ступень, очевидно, имеет самую длинную зону действия. Это иногда вызывает затруднения при отстройке круговой характеристики срабатывания от тока нагрузки по ВЛ. С целью облегчения такой отстройки предусмотрена возможность превращения характеристики срабатывания из круговой в эллиптическую. Такая характеристика получается использованием переменной составляющей напряжений на выходе диодных мостов схемы сравнения. Из рис. 3 видно, что точки C и 0 характеристики получаются, если векторы  $\underline{U}_1$  и  $\underline{U}_2$  либо совпадают по фазе, либо сдвинуты на  $180^\circ$ . В обоих случаях переменные составляющие на выходах обоих диодных мостов (см. рис. 2) совпадают по фазе и, следовательно, их разность, прикладываемая к сглаживающему фильтру и НИ, равна нулю. Если вектор  $\underline{U}_2$  сдвинут относительно вектора  $\underline{U}_1$  на  $90^\circ$  (точки D и E характеристики на рис. 3), соответственно сдвинуты и мгновенные значения напряжений на выходах диодных мостов. Переменная составляющая разности мгновенных значений этих напряжений, приложенная к сглаживающему фильтру и НИ, получается в этом случае максимальной. В РС комплекта КРС-1 панели ЭПЗ-1636м (см. рис. 5) положительные полуволны переменной составляющей срезаются шунтирующей це-

почкой  $VD8$ —( $R25$ — $R27$ ) и к НИ не прикладываются, что равносильно уменьшению тока в НИ в сторону срабатывания. Таким образом, напряжение  $\underline{U}_1$  уравнивается меньшим значением  $\underline{U}_2$ , т. е. характеристика срабатывания сжимается (точки  $D$  и  $E$  смещаются в положения  $D'$  и  $E'$ ). Можно показать, что при промежуточных значениях углов между  $\underline{U}_1$  и  $\underline{U}_2$  точки характеристики укладываются на эллипс с осями  $OC$  и  $D'E'$ . Регулировка эллипсности осуществляется выбором соответствующего резистора из  $R25$ — $R27$ . Для уменьшения возможной вибрации НИ при работе РС с эллиптической характеристикой параллельно входу НИ подключается конденсатор  $C5$ .

Из опыта эксплуатации известно [6], что в случае использования эллиптической характеристики с уставкой по эллипсности  $e=0,5$  при уменьшении тока в реле от  $2I_{ном}$  до двойного тока точной работы происходит увеличение соотношения осей эллипса более чем на 10 %, что приводит к ухудшению отстройки реле от токов нагрузки. Это объясняется нелинейным изменением прямого сопротивления кремниевых диодов  $VD8$  (типа Д223Б) в зависимости от протекающего по нему тока и соизмеримостью этого сопротивления со значением сопротивления резистора  $R25$ .

5. Для проверки РС под нагрузкой в  $TV1$  предусмотрена дополнительная вторичная обмотка, содержащая 1 % витков.

### 3. ОСОБЕННОСТИ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ НУЛЬ-ИНДИКАТОРАМИ

Одним из основных отличий ДЗ в панели ЭПЗ-1636м является использование в схеме сравнения вместо МЭР полупроводникового НИ, который подробно описан в [7]. Полупроводниковый НИ (рис. 8) выполнен двухкаскадным с использованием операционных усилителей<sup>1</sup> (микросхемы  $10У$ ,  $20У$ , цоколевка которых дана на том же рисунке) типа К553УД2. Питание усилителей осуществляется двумя напряжениями  $+15$  и  $-15$  В относительно

<sup>1</sup> Операционный усилитель — это усилитель постоянного тока с большим коэффициентом усиления; будучи охвачен специально подобранной обратной связью, может выполнять математические и логические функции [8].

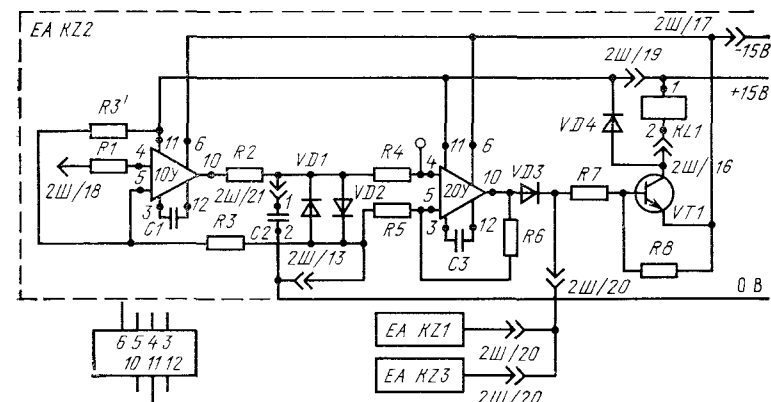


Рис. 8. Принципиальная схема полупроводникового НИ

нулевого уровня ( $2Ш/13$ ); напряжения подаются от описанных ниже блоков питания.

Входной каскад на усилителе  $10У$  выполняет функцию порогового элемента. Если напряжение на его входе  $2Ш/18$ — $2Ш/13$  превышает порог срабатывания  $U_{с,ни} \approx 60$  мВ, пороговый элемент срабатывает, т. е. сигнал положительной полярности относительно нулевого уровня на выходе  $10У$  (точка 10)  $+(11,5 \div 14,5)$  В сменяется сигналом отрицательной полярности  $-(11,5 \div 14,5)$  В. Таким образом, условие срабатывания НИ запишется в виде

$$|\underline{U}_1| - |\underline{U}_2| \geq U_{с,ни}. \quad (12)$$

Второй каскад представляет собой выполненный на операционном усилителе  $20У$  триггер Шмитта, т. е. триггер с эмиттерной связью, представляющий собой пороговое устройство, срабатывающее при определенном (здесь отрицательном) уровне входного (точка 4 микросхемы  $20У$ ) сигнала, называемого порогом чувствительности при срабатывании.

В исходном состоянии конденсатор  $C2$  через резистор  $R2$  (времязадающая цепочка) заряжен напряжением положительной полярности с выхода  $10У$  до значения  $+(0,2 \div 0,65)$  В, определяемого падением напряжения на открытом диоде  $VD2$ . На выходе триггера Шмитта (точка 10 микросхемы  $20У$ ) напряжение отрицательно:  $-(13 \div 15,5)$  В. При срабатывании входного каскада и появлении на его выходе отрицательного напряжения кон-

денсатор  $C2$  начинает перезаряжаться вплоть до значения  $(0,2 \div 0,65)$  В, определяемого падением напряжения на открытом диоде  $VD1$ . В процессе перезарядки напряжение на  $C2$  и, следовательно, на входе второго каскада достигает напряжения срабатывания этого каскада. На его выходе появляется положительное напряжение  $(10,5 \div 14)$  В.

Такой принцип выполнения схемы приводит к тому, что срабатывание триггера зависит только от длительности сработанного состояния первого каскада, точнее, от соотношения времен сработанного и несработанного состояний первого каскада. Поэтому пульсации сигнала на выходе схемы сравнения принципиально не влияют на качество работы НИ, не вызывают вибрации его выходного органа. Работоспособность схемы в целом мало зависит от разброса параметров составляющих ее элементов, и схема достаточно помехоустойчива. Минимальная длительность непрерывно сработанного состояния первого каскада, определяющая срабатывание НИ в целом, выбрана примерно 15 мс, т. е. более половины периода колебания напряжения промышленной частоты, для отстройки от переходных процессов в первичных и вторичных цепях.

Для трех НИ, используемых в одном комплекте ( $AKZ1$  или  $AKZ2$ ), предусмотрен один исполнительный орган, выполненный в виде транзисторного усилителя с реле  $KL1$  в коллекторной цепи. Выходы каждого НИ подключены к базе транзистора  $VT1$  через диодную схему «или» на диодах  $VD3$ . В исходном состоянии на выходе усилителей  $20Y$  (точка 10) всех НИ дежурит отрицательное напряжение. Достаточно сработать любому из НИ, как положительный потенциал с микросхемы поступит на базу транзистора  $VT1$ , последний откроется и к реле  $KL1$  приложится напряжение около 30 В. Реле  $KL1$  срабатывает, своими контактами производя необходимые операции в логической схеме. Для защиты транзистора  $VT1$  от перенапряжений, возникающих при подаче и снятии напряжения с обмотки  $KL1$ , предусмотрен диод  $VD4$ .

Конструктивно НИ выполнен на печатной плате, на которой смонтированы кроме собственно НИ выпрямительные мосты  $VS1$ ,  $VS2$  схемы сравнения, защитные диоды  $VD6$ ,  $VD7$ ; на печатной плате для РС  $KZ2$  комплектов  $AKZ1$ ,  $AKZ2$  смонтирован также транзисторный усилитель ( $VT1$ ,  $R7$ ,  $R8$  и  $VD4$ ) для управления реле  $KL1$ . На панелях выпуска 1980—1983 гг. защитные дио-

ды  $VD6$ ,  $VD7$  монтировались так, что при снятии платы НИ они отключались от входа  $10Y$ , в результате чего при наладочных работах и хранении микросхемы повреждались.

Полупроводниковый НИ имеет высокий коэффициент возврата как при больших, так и при малых кратностях напряжений на выходе схемы сравнения по отношению к напряжению срабатывания НИ. Поэтому ТТО принципиально не нужен и из схемы ЭПЗ-1636м исключен.

Полупроводниковые НИ обусловили появление блоков питания для них, по одному в каждом комплексе, преобразующих оперативное напряжение 220 или 110 В в напряжение  $\pm 15$  В, пригодное для работы микросхем НИ. Блок питания  $UG1$  для РС I и II ступеней размещен в комплекте  $AKZ2$ , блок  $UG2$  для РС III ступени — в комплекте  $AK2$ . Схема блока питания представлена на рис. 9. Без скобок даны обозначения для блока питания  $UG1$  в комплекте  $AKZ2$ , в скобках — для блока питания  $UG2$  в комплекте  $AK2$ . Без скобок даны также общие

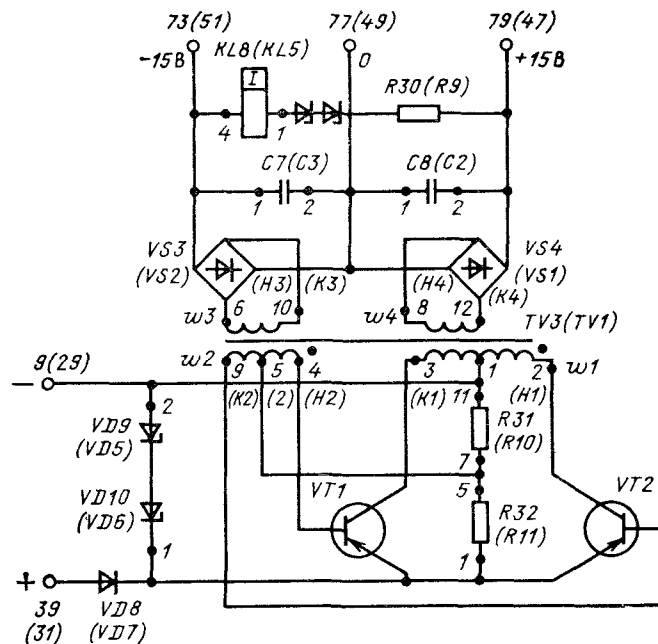


Рис. 9. Принципиальная схема блока питания полупроводниковых НИ

обозначения для обоих блоков. Оперативное напряжение, прикладываемое к зажимам  $39(31)=9(29)$  блока, оказывается приложенным к резисторам  $R32(R11)$ ,  $R31(R10)$ . Через полуобмотки  $\omega 2$  трансформатора  $TV3(TV1)$  напряжение с  $R32(R11)$  прикладывается между эмиттерами и базами транзисторов  $VT1$ ,  $VT2$  отрицательной полярностью к базам. Один из транзисторов, например  $VT1$ , открывается, этим к одной из полуобмоток  $\omega 1$  прикладывается полное входное напряжение, создавая на ней и в других обмотках ЭДС. При этом ЭДС обмотки  $\omega 2$  прикладывается положительной полярностью к базе  $VT2$ , а отрицательной полярностью — к базе  $VT1$ , так что процесс отпирания последнего идет лавинообразно. Когда магнитный поток в сердечнике трансформатора достигнет насыщения, скорость его изменения уменьшится, вместе с этим уменьшатся ЭДС и токи в обмотках. Уменьшение тока вызывает появление в обмотках ЭДС противоположной полярности, в результате напряжение на базах транзисторов меняет полярность,  $VT1$  запирается, а  $VT2$  отпирается. Теперь входное напряжение прикладывается к другой полуобмотке  $\omega 1$ , и в сердечнике  $TV3(TV1)$  начинает возрастать магнитный поток другой полярности.

На вторичных обмотках трансформатора получается напряжение прямоугольной формы, выпрямляемое диодными мостами  $VS3(VS2)$  и  $VS4(VS1)$ . Выпрямленное напряжение сглаживается конденсаторами  $C7(C3)$ ,  $C8(C2)$  и подается к НИ. Во избежание незапуска схемы при подаче оперативного напряжения на панель полуобмотки  $\omega 2$  выполнены с неравным числом витков. Для защиты транзисторов от случайной подачи обратного напряжения предусмотрен диод  $VD8(VD7)$ , а для обеспечения их нормальной работоспособности при колебаниях входного напряжения предусмотрена стабилизирующая цепочка  $VD9(VD5)$ ,  $VD10(VD6)$ .

Для контроля исправности блоков питания потребовалось иметь сигнализацию. Она выполняется с помощью поляризованных реле  $KL8(KL5)$ . Включенное на выходное напряжение 30 В от блока питания реле возвращается при исчезновении этого выходного напряжения как вследствие неисправности блока питания, так и вследствие исчезновения оперативного напряжения соответствующего комплекса; тем самым достигается контроль за состоянием оперативного напряжения на обоих комплексах. Однако поляризованные реле имеют низкий коэффициент возврата, вследствие чего контроль исправности блоков

питания без дополнительных мероприятий по повышению коэффициента возврата реле является нецелесообразным.

В связи с заменой МЭР на полупроводниковые НИ, в которых на выходе использовано промежуточное реле с достаточно мощными контактами, отпала необходимость в стабилитронном делителе напряжения.

#### 4. УСТРОЙСТВА БЛОКИРОВКИ ПРИ КАЧАНИЯХ

В случае нарушения устойчивости параллельной работы электростанций по линиям электропередачи возникают качания, сопровождающиеся значительными колебаниями тока, напряжения и угла между ними. Поскольку РС может сработать при этих колебаниях, ДЗ дополняется блокировкой при качаниях. В описываемых блокировках используется тот факт, что при КЗ возникает несимметрия системы токов и напряжений (устойчивая, если КЗ несимметричное, и кратковременная, если КЗ трехфазное). При появлении несимметрии (КЗ) блокировка разрешает сработать защите в течение заданного времени; при отсутствии несимметрии (качания) защита остается заблокированной.

Блокировка при качаниях в панелях обеих модификаций выполняется в двух вариантах: типа КРБ-125, в которой выявителем несимметрии служит фильтр напряжений обратной последовательности (ФНОП), и типа КРБ-126, в которой таким выявителем является фильтр токов обратной последовательности (ФТОП). Блокировка типа КРБ-125 применяется относительно редко, в слабо-разветвленных сетях с длинными ВЛ и маломощными источниками питания. Вблизи мощных источников питания блокировка становится нечувствительной. Блокировка типа КРБ-126 широко применяется в разветвленных сетях с мощными источниками питания, но может оказаться нечувствительной в конце длинной ВЛ, отходящей от маломощного источника питания. Кроме того, блокировку приходится заглублять для отстройки от токов обратной последовательности на ВЛ, примыкающих к тяговому ПС, что тоже снижает ее чувствительность.

Цепи постоянного напряжения обеих блокировок почти идентичны, и их удобнее рассмотреть при описании логической части схемы (см. § 9, 10). Здесь же будут даны только описания цепей переменного тока и напряжения, за исключением реле напряжения  $KV2$  (рис. 10,а) и  $KV1$  (рис. 11,а), смысл которых удобнее рассмотреть в § 9, 12.

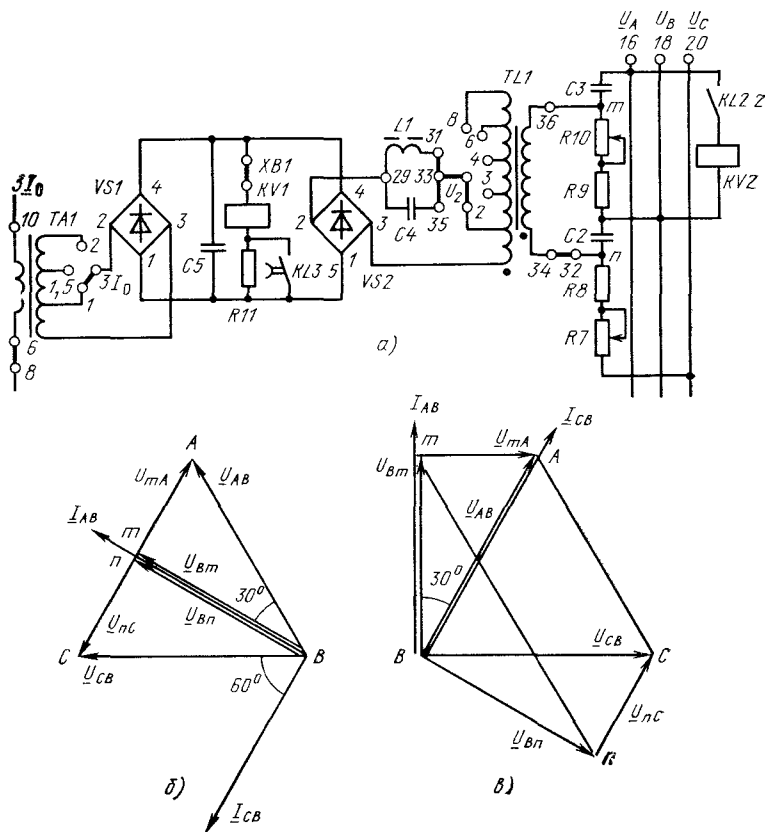


Рис 10 Блокировка при качаниях типа КРБ-125

а — принципиальная схема, б — векторная диаграмма токов и напряжений при подаче на вход ФНОП системы напряжений прямой последовательности; в — то же при подаче на вход ФНОП системы напряжений обратной последовательности

Блокировка типа КРБ-125 (рис. 10,а) включает в себя ФНОП, состоящий из резисторов  $R7-R10$  и конденсаторов  $C2, C3$ , понижающий трансформатор фильтра  $TL1$ , промежуточный трансформатор тока  $TA1$ , выпрямительные мосты  $VS1, VS2$ , фильтр пятой гармоники  $L1-C4$  и поляризованное реле  $KV1$ . При подаче на вход ФНОП несимметричной системы векторов напряжений напряжение на выходе ФНОП пропорционально составляющей обратной последовательности  $U_2$

$$U_{mn} = KU_2 \quad (13)$$

благодаря исключению составляющих прямой  $U_1$  и нулевой  $U_0$  последовательностей. Напряжение  $U_0$  исключается тем, что на вход блокировки не подается нулевой провод цепей напряжения, напряжение  $U_1$  исключается выбором соотношений величин элементов ФНОП [9]. Соотношение сопротивлений  $(R9+R10)/X_{C3}$  выбирается так, чтобы ток  $I_{AB}$  по этим элементам опережал приложенное к ним напряжение  $U_{AB}$  на  $30^\circ$ , а соотношение  $(R7+R8)/X_{C2}$  — так, чтобы ток  $I_{CB}$  опережал напряжение  $U_{CB}$  на  $60^\circ$ . Тогда при подаче на вход системы напряжений  $U_1$  (рис. 10,б) вектор  $U_{Bm}$  падения напряжения на активном сопротивлении  $R9+R10$ , совпадающий по направлению с током  $I_{AB}$ , и вектор  $U_{Bn}$  падения напряжения на конденсаторе  $C2$ , отстающий на  $90^\circ$  от тока  $I_{CB}$ , совпадают по направлению. Соотношение величин  $R9+R10$  и  $X_{C2}$  выбираются так, чтобы выполнялось равенство

$$|U_{Bm}| = |U_{Bn}|,$$

тогда между точками  $m$  и  $n$  разность потенциалов обращается в нуль, что и требуется.

При подаче на вход системы напряжений  $U_2$  все соотношения фильтра сохраняются, а векторная диаграмма приобретает вид, показанный на рис. 10,в. Треугольник напряжений  $BmA$  изменяет свое положение вместе с линейным напряжением  $U_{AB}$ , а треугольник  $BnC$  — вместе с  $U_{CB}$ . Между точками  $m$  и  $n$  появляется напряжение, пропорциональное напряжению  $U_2$  на входе ФНОП.

Можно показать, что соотношение сопротивлений плеч фильтра должно быть

$$\frac{X_{C2}}{R7+R8} = \frac{R9+R10}{X_{C3}} = \sqrt{3}, \quad (14)$$

и оно подбирается при наладке переменными резисторами  $R7, R10$ .

Напряжение на выходе фильтра, пропорциональное напряжению  $U_2$  на шинах ПС, где установлена защита, через трансформатор  $TL1$  и диодный мост  $VS2$  подается на обмотку поляризованного реле  $KV1$ . Напряжение срабатывания блокировки регулируется плавно, в небольших пределах, изменением положения якоря и контактов реле  $KV1$  и ступенчато переключением отводов  $TL1$  (2, 3, 4, 6, 8 В фазного вторичного напряжения  $U_2$ ).



Известно [9], что ФНОП является также и фильтром пятой гармоники напряжения сети (250 Гц). Для того чтобы напряжение этой гармоники не прикладывалось к обмотке реле  $KV1$ , предусмотрен фильтр-пробка  $L1-C4$ , настроенный в резонанс на частоте 250 Гц, так что все напряжение пятой гармоники со вторичной обмотки  $TL1$  оказывается приложенным к этому фильтру.

Поскольку коэффициент возврата поляризованных реле невелик, для повышения общего коэффициента возврата блокировки последовательно с обмоткой  $KV1$  введен резистор  $R11$ . В состоянии готовности блокировки к действию контакт  $KL3.5$  промежуточного реле блокировки замкнут, резистор  $R11$  шунтирован. После срабатывания реле (при пуске блокировки) указанный контакт размыкается, ток через реле  $KV1$  уменьшается, оно возвращается при напряжении на входе блокировки большем, чем если бы  $R11$  был шунтирован.

Для надежного действия защиты блокировка должна уверенно срабатывать от напряжений  $U_2$ , появляющихся на шинах ПС при КЗ в конце зоны действия II или III ступени ДЗ. Это не всегда получается, поэтому для повышения чувствительности блокировки при КЗ на землю вводится орган, реагирующий на появление тока нулевой последовательности. В нулевой провод токовых цепей, собранных по схеме полной звезды, врезается трансформатор тока  $TA1$ , со вторичной обмотки которого через выпрямительный мост  $VS1$  подается ток в ту же обмотку  $KV1$ . Чувствительность блокировки по этому параметру регулируется плавно, как указано выше, и ступенчато переключением отводов  $TA1$ : 1—1,5—2 А для панели с  $I_{ном} = 5$  А и 0,2—0,3—0,4 А для панели с  $I_{ном} = 1$  А.

**Блокировка типа КРБ-126 (рис. 11,а)** включает в себя прежде всего ФТОП, в том числе трансформаторы тока  $TA2, TA3$ , резисторы  $R7-R10$ , конденсаторы  $C2, C3$ . На выходе, т. е. в первичную обмотку трансформатора  $TL1$  ФТОП выдает ток, пропорциональный только составляющей  $I_2$  в несимметричной системе фазных токов по защищаемой ВЛ:

$$I_{mn} = KI_2. \quad (15)$$

Для этого на выходе фильтра исключаются составляющие токов прямой  $I_1$  и нулевой  $I_0$  последовательностей.

Составляющая  $I_0$  исключается специальным исполнением трансформаторов  $TA2, TA3$ . Их обмотки, включенные в нулевой провод токовых цепей, имеют в 3 раза мень-

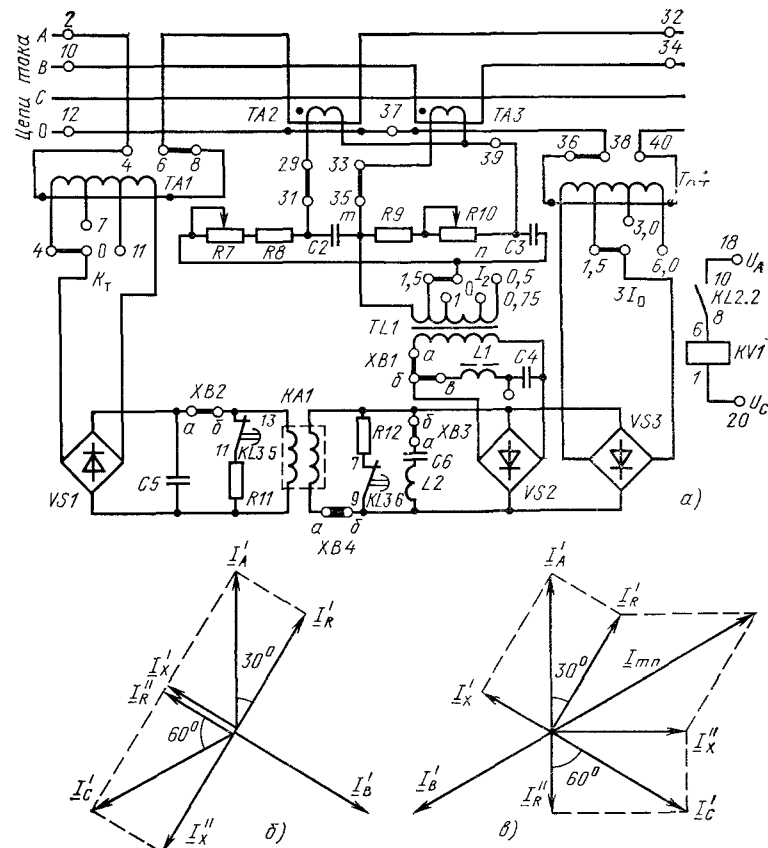


Рис. 11 Блокировка при качаниях типа КРБ-126:

а — принципиальная схема, б — векторная диаграмма токов при подаче на вход ФТОП системы токов прямой последовательности, в — то же при подаче на вход ФТОП системы токов обратной последовательности

ше витков, чем обмотки, включенные в фазные провода. Если подать на вход токовых цепей систему токов  $I_A = I_B = I_C = I_0$ , то в нулевом проводе потечет ток  $3I_0$ , а во вторичных обмотках  $TA2, TA3$  тока не будет.

Составляющая  $I_1$  исключается выбором соотношения плеч ФТОП. Заметим, что при подаче на вход системы токов  $I_1$  во вторичной обмотке  $TA2$  потечет ток  $I_A'$ , во вторичной обмотке  $TA3$  — ток  $I_B'$ , в общем проводе (через зажим 39) —

ток  $\underline{I}'_A + \underline{I}'_B = -\underline{I}'_C$ , т. е. ток  $\underline{I}'_C$ , если принять его направление от трансформаторов тока к  $RC$ -цепи. Токи  $\underline{I}'_A$ ,  $\underline{I}'_B$ ,  $\underline{I}'_C$  образуют симметричную систему (рис. 11, б). Ток  $\underline{I}'_A$  разветвляется на две составляющие: через резисторы  $R7$ ,  $R8$  —  $\underline{I}'_R$ , через конденсатор  $C2$  —  $\underline{I}'_X$ . Соотношение сопротивлений  $R$  и  $X_C$  выбирается таким образом, чтобы ток  $\underline{I}'_R$  отставал от  $\underline{I}'_A$  на  $30^\circ$ . Ток  $\underline{I}'_C$  также разветвляется на две составляющие: через резисторы  $R9$ ,  $R10$  —  $\underline{I}''_R$ , через конденсатор  $C3$  —  $\underline{I}''_X$ . Соотношение сопротивлений  $R$  и  $X_C$  выбирается так, чтобы  $\underline{I}''_R$  отставал от  $\underline{I}'_C$  на  $60^\circ$  и совпадал с  $\underline{I}'_X$ . В сумме  $\underline{I}''_R + \underline{I}'_X = \underline{I}'_B$ . Токи  $\underline{I}'_R$  и  $\underline{I}''_X$  оказываются равными по модулю и противоположными по направлению, следовательно, через трансформатор  $TL1$  ток не проходит, напряжение на вторичной обмотке отсутствует. Можно показать, что соотношение плеч должно определяться по (14).

При подаче на вход настроенного таким образом ФТОП системы токов  $\underline{I}_2$  (рис. 11, в) меняется направление тока  $\underline{I}'_C$  и, следовательно, токов  $\underline{I}'_X$  и  $\underline{I}''_R$ . Но так как  $\underline{I}''_X$  по-прежнему опережает ток  $\underline{I}'_C$  на  $30^\circ$ , то сумма токов, протекающих в первичной обмотке  $TL1$ , равна  $\underline{I}_{mn} = \underline{I}'_R + \underline{I}''_X$ . Вектор  $\underline{I}_{mn}$ , очевидно, направлен противоположно вектору  $\underline{I}_B$ , и модуль его равен

$$|\underline{I}_{mn}| = \sqrt{3} I'_R = \sqrt{3} \frac{\sqrt{3}}{2} I'_A = 1,5 I'_A = 1,5 I'_B.$$

Ток срабатывания блокировки регулируется ступенчато переключением отводов первичной обмотки  $TL1$ : 0,5—0,75—1,0—1,5 А (вторичных) обратной последовательности для панели с  $I_{ном}=5$  А и соответственно 0,1—0,15—0,2—0,3 А для панели с  $I_{ном}=1$  А. Ток вторичной обмотки  $TL1$  через выпрямительный мост  $VS2$  попадает в рабочую обмотку поляризованного реле  $KA1$ , настройкой которого можно регулировать ток срабатывания блокировки в небольших пределах. Для устранения влияния сетевых токов пятой гармоники параллельно вторичной обмотке  $TL1$  включен фильтр-шунт  $L1$ — $C4$ , настроенный

на частоту 250 Гц и имеющий для этой частоты сопротивление много меньшее, чем сопротивление нагрузки  $TL1$ .

На ту же обмотку реле  $KA1$  подключен через выпрямительный мост  $VS3$  и трансформатор тока  $TA4$  ток  $3I_0$  для тех случаев, когда не обеспечивается чувствительность по  $I_2$  при КЗ на землю. Чувствительность блокировки к току  $3I_0$  регулируется отводами  $TA4$ : 1,5—3—6 А вторичного тока нулевой последовательности для панели с  $I_{ном}=5$  А или 0,3—0,6—1,2 А для панели с  $I_{ном}=1$  А. Сглаживание выпрямленного тока после  $VS2$ ,  $VS3$  осуществляется фильтром-шунтом второй гармоники  $L2$ — $C6$ . Для повышения коэффициента возврата блокировки вводится резистор  $R12$ , отсасывающий на себя часть тока после пуска блокировки.

Следует заметить, что отличие реальных характеристик ТТ, питающих защиту, и всех элементов ФТОП от идеальных приводит к существованию в обмотке  $KA1$  некоторого тока небаланса при подаче системы токов  $\underline{I}_1$  (нагрузки, качаний). Если кратность тока качаний велика по отношению к номинальному току панели, то велик и небаланс, и существует угроза излишнего срабатывания блокировки, а следовательно, и защиты. Чтобы избежать этого, достаточно загрузить реле  $KA1$  током одной фазы так, чтобы при КЗ это загрузление не мешало нормальной работе блокировки, а при качаниях надежно запрещало ее срабатывание. Загрузление достигается подключением тормозной обмотки  $KA1$  встречно к основной через мост  $VS1$  и трансформатор  $TA1$  в фазу  $A$  токовых цепей. При этом

$$I_{2c, p} = I_{2c, p0} + \frac{K_T}{100} I_T, \quad (16)$$

где  $I_{2c, p}$  — ток срабатывания  $KA1$  по току  $I_2$  при наличии торможения, А;  $I_{2c, p0}$  — то же при отсутствии торможения, А;  $I_T$  — тормозной ток, А;  $K_T$  — коэффициент торможения, регулируемый вторичными отводами  $TA1$  (4—7—11 %).

Для сглаживания пульсаций напряжения после  $VS1$  предусмотрен конденсатор  $C5$ , а для предотвращения ложного возврата реле  $KA1$  вследствие уменьшения тока через его рабочую обмотку после замыкания цепи через  $R12$  предусмотрена аналогичная цепь через  $R11$ , уменьшающая пропорционально и ток через тормозную обмотку. Введение торможения имеет недостаток: загружает блокировку при трехфазных КЗ и двухфазных КЗ фаз  $AB$  и  $CA$ .

## 5. УСТРОЙСТВО БЛОКИРОВКИ ПРИ НЕИСПРАВНОСТЯХ В ЦЕПЯХ НАПРЯЖЕНИЯ

Известно, что при снятии напряжения с РС последние могут ложно сработать от тока нагрузки. Чтобы при этом не сработала ДЗ, в комплекте АКЗ2 предусмотрена блокировка при неисправностях в цепях напряжения типа КРБ-12, которая выводит ДЗ из действия или подает сигнал, если ложное действие защиты не может произойти без пуска блокировки при качаниях. В настоящей работе рассматривается только модернизированный вариант КРБ-12 [10], поскольку предыдущие варианты сняты с производства. Типовая схема цепей напряжения и способ подключения к ним КРБ-12 представлены на рис. 12, а.

В нормальном режиме векторные диаграммы вторичных напряжений ТН и токов в обмотках блокировки имеют вид, представленный на рис. 12, б и в. По обмотке  $w_4$  проходит сумма токов  $\underline{I}_a, \underline{I}_b, \underline{I}_c$ , определяемых приложенными фазными напряжениями и сопротивлениями резисторов  $R33-R35$ . Резистор  $R33$  выполнен вдвое меньшим, чем  $R34, R35$ ,  $\underline{I}_a$  оказывается вдвое большим, чем  $\underline{I}_b$  и  $\underline{I}_c$ , поэтому сумма всех трех токов  $\underline{I}_{w4} = \frac{1}{2} \underline{I}_a$ . Поток в  $TV2$  от тока  $\underline{I}_{w4}$  компенсируется противоположно направленным потоком от тока  $\underline{I}_{w3}$ , создаваемого в обмотке  $w_3$  напряжением фазы на выходе обмотки  $TV_a$  в схеме разомкнутого треугольника ТН. Значение  $\underline{I}_{w3}$  для точной компенсации регулируется резистором  $R37$ . По обмотке  $w_2$ , подключенной ко вторичным обмоткам ТН, собранным по схеме фильтра напряжений нулевой последовательности (ФННП), ток не проходит, так как напряжение на выходе ФННП появляется только при КЗ на землю. Блокировка не срабатывает.

При междуфазных КЗ любого вида (например, СА) векторные диаграммы напряжений ТН и токов в обмотках блокировки приобретают вид, представленный на рис. 13, а и б. Компенсация потоков не нарушается, блокировка не срабатывает.

При однофазных КЗ любого вида (например, КЗ на фазе В) векторные диаграммы напряжений ТН и токов в обмотках блокировки приобретают вид, представленный на рис. 13, в и г. Баланс между потоками от  $\underline{I}_{w4}$  и от  $\underline{I}_{w3}$  нарушается, но появляется ток в обмотке  $w_2$ , регулируе-

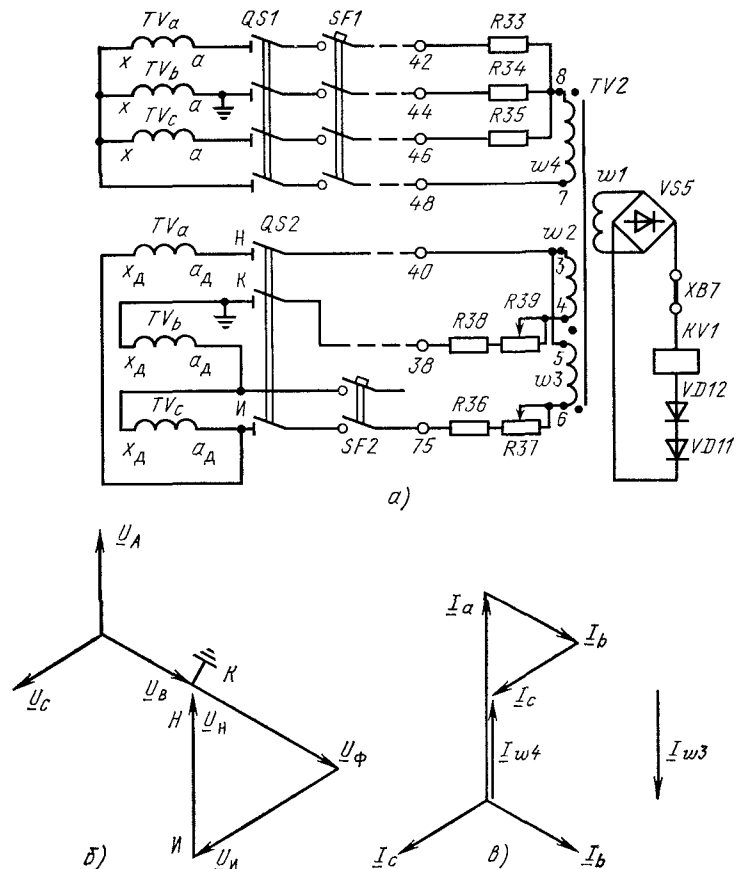


Рис. 12. Блокировка при неисправностях в цепях напряжения типа КРБ-12:

а — принципиальная схема блокировки и подключение ее ко вторичным цепям ТН; б — векторная диаграмма напряжений, подводимых к блокировке; в — векторная диаграмма токов в обмотках трансформатора блокировки

мый резистором  $R39$  для точной компенсации потоков в этом режиме. В данном примере  $\underline{I}_{w4} = \underline{I}_a + \underline{I}_c$ , а  $|\underline{I}_{w4}| = \sqrt{3} \underline{I}_c$ . Условно складывая  $\underline{I}_{w2}$  и  $\underline{I}_{w3}$ , получаем  $|\underline{I}_\Sigma| = \sqrt{3} \underline{I}_{w3} = \sqrt{3} \underline{I}_c$ . Блокировка не работает. Можно показать, что блокировка не работает и при двухфазных КЗ на на землю.

Аналогично можно показать, что блокировка не работает при подаче от ТН системы симметричных напряже-

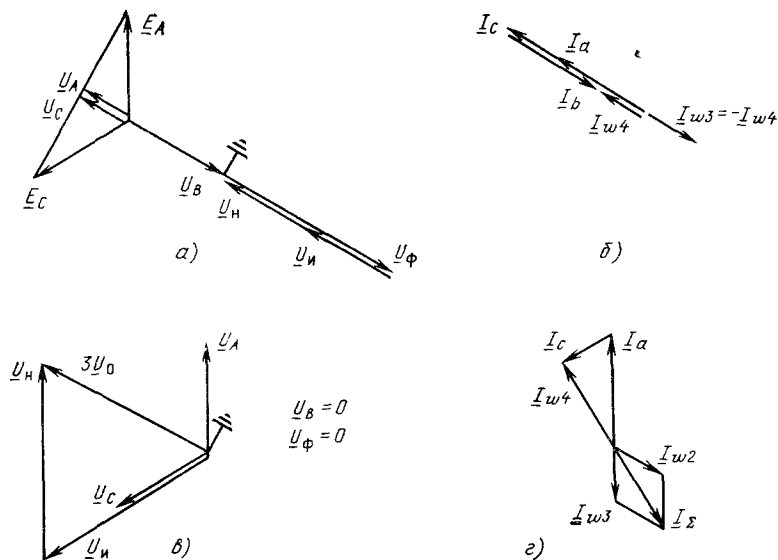


Рис. 13. Векторные диаграммы, поясняющие работу блокировки типа КРБ-12:

а — напряжения при двухфазном КЗ между фазами А и С; б — токи в обмотках блокировки при таком КЗ; в — напряжения при однофазном КЗ на фазе В; г — токи в обмотках блокировки при таком КЗ

ний как обратной, так и нулевой последовательности. Поскольку высшие гармонические, содержащиеся в напряжении сети, представляют собой системы симметричных составляющих той или иной последовательности, КРБ-12 не реагирует на высшие гармонические.

При обрыве любой из фаз или нулевого провода звезды ТН балансировка потоков нарушается, в обмотке  $w1$  появляется ток, выпрямляемый мостом  $VS5$  и проходящий через поляризованное реле  $KV1$ . Последнее срабатывает, блокируя защиту или подавая сигнал. Недостатком блокировки является то, что она не срабатывает при исчезновении всех напряжений ТН, например при отключении его разъединителем. Чтобы иметь в этом случае хотя бы сигнал, целесообразно подключить на одно из линейных напряжений звезды ТН реле блокировки при качаниях  $KV2$  (КРБ-125) или  $KV1$  (КРБ-126), обычно не используемые по своему прямому назначению. Размыкающий контакт этого реле включается в цепи сигнализации параллельно контакту повторителя реле  $KV1$  из КРБ-12.

## 6. ЗАЩИТА ОТ КЗ НА ЗЕМЛЮ. ТОКОВАЯ ОТСЕЧКА ОТ МНОГОФАЗНЫХ КЗ

Для защиты от КЗ на землю применена токовая защита нулевой последовательности (ТЗНП), использующая факт появления в токах и напряжениях составляющих нулевой последовательности при этих КЗ в сети с глухозаземленными нейтралями трансформаторов [11]. Поскольку составляющие нулевой последовательности выделяются из фазных величин простым геометрическим суммированием векторов этих величин, нулевой провод токовых цепей, собранных по схеме полной звезды, представляет собой фильтр токов нулевой последовательности (ФТНП). Токовая защита нулевой последовательности выполнена с использованием электромагнитных реле тока, включаемых в этот нулевой провод. Для обеспечения селективности действия ТЗНП смежных ВЛ время действия защит выполняют, так же как и в ДЗ, зависящим от расстояния до места КЗ: чем меньше ток срабатывания, т. е. чем дальше КЗ, тем больше время срабатывания. Аналогично ДЗ такую зависимость выполняют ступенчатой. Первая ступень защиты имеет наибольший ток и наименьшее время срабатывания, II ступень имеет меньший ток срабатывания и большее время срабатывания, согласуясь с I ступенью защиты предыдущей ВЛ, и т. д. ТЗНП отстроена от токов нагрузки и качаний, поскольку в симметричных режимах нет составляющей тока нулевой последовательности. Направленность действия ТЗНП обеспечивается выбором уставок по току или использованием реле направления мощности (РМ), подключаемого токовой обмоткой к ФТНП, а обмоткой напряжения — к ФННП, выполненному из трех последовательно соединенных вторичных обмоток ТН (схема разомкнутого треугольника). В панелях ЭПЗ-1636 используются индукционные РМ типов РБМ-177, РБМ-178, описанные в [12]. Краткие технические данные этих РМ приведены в прилож. 1.

При установке направленной ТЗНП вблизи мощных ПС может оказаться недостаточной чувствительность РМ, срабатывающего при направлении мощности нулевой последовательности от шин в линию, — так называемого РМ прямого действия, или разрешающего РМ. Поэтому в панелях ЭПЗ-1636 предусмотрены два РМ: одно — встроенное в комплект АК2, другое — выносное, которое обычно выполняется блокирующим, или РМ обратного действия,

т. е. срабатывающим при КЗ «за спиной» и своим срабатыванием запрещающим работу той ступени, для которой оно используется. Наоборот, при КЗ на ВЛ, когда данная ступень должна сработать, блокирующее РМ не работает, чем разрешает срабатывание ступени. Использование блокирующего РМ повышается надежность ТЗНП на срабатывание, например при неисправности цепей напряжения разомкнутого треугольника (повышается качество ближнего резервирования).

Благодаря наличию блокирующих РМ предоставляется возможность выполнения быстродействующей поперечной ТЗНП параллельных ВЛ. Защита осуществляется ускорением одной из ступеней ТЗНП первой ВЛ при срабатывании блокирующего РМ второй ВЛ, т. е. когда КЗ наверняка находится в пределах первой ВЛ. После ускоренного отключения первой ВЛ с одного конца направление мощности на противоположном конце второй ВЛ меняется, срабатывает блокирующее РМ и осуществляет ускоренное отключение первой ВЛ с другого конца.

Токовая отсечка в двухрелейном исполнении дополняет защиту от многофазных КЗ. Простейшая схема отсечки обеспечивает ей высокую надежность. Отсечка играет важнейшую роль при КЗ в начале ВЛ, когда РС работают «по памяти», следовательно, с меньшей надежностью. Если первая ступень ДЗ выполняется с выдержкой времени (следовательно, «память» отсутствует), отсечка становится единственной быстродействующей защитой. Однако на коротких ВЛ (порой именно в тех случаях, когда I ступень ДЗ выполняется с выдержкой времени) отстроить отсечку от КЗ на шинах противоположной ПС и вместе с тем обеспечить ее достаточную чувствительность при КЗ в начале ВЛ часто не удается. В этом случае полезно иметь неселективную отсечку, автоматически вводимую контактом реле ускорения для действия при включении выключателя от АПВ или вручную. В панели ЭПЗ-1636м предусмотрены специальные цепи для такого исполнения отсечки, в панели ЭПЗ-1636п это достигается небольшой переделкой схемы.

#### **7. ОСОБЕННОСТИ ПАНЕЛИ, РАЗДЕЛЕННОЙ НА ДВА КОМПЛЕКСА (МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ ВАРИАНТ)**

Наряду с заменой МЭР на полупроводниковый НИ в панелях ЭПЗ-1636м без радикального изменения состава панели ценой изменения схемы включения отдельных эле-

ментов достигнуто существенное повышение эффективности ближнего резервирования.

Известно, что в значительной части сетей 110 кВ защита ЭПЗ-1636 (или ее предшественники: панели ПЗ-157, ПЗ-158, ПЗ-159, ПЗ-2 в сочетании с ТЗНП) является основной и единственной защитой ВЛ. Очевидно, при этом ближнее резервирование защит отсутствует. Принципиальное изменение схемы, выполненное в панели ЭПЗ-1636м, дает в этом случае наибольший эффект. Суть изменения состоит в том, что все устройства панели делятся на два комплекса, две независимые защиты.

Первый комплекс включает в себя:

двухступенчатую ДЗ в комплекте типа ДЗ-2;

блокировку при качаниях в комплекте типа КРБ-126 (КРБ-125);

блокировку при неисправностях в цепях напряжения в комплекте типа ДЗ-2;

одноступенчатую ТЗНП с использованием отдельно стоящих реле тока, мощности и промежуточного реле для размножения контактов РМ.

Второй комплекс включает в себя:

токовую отсечку в комплекте типа КЗ-9;

одноступенчатую ДЗ в комплекте типа КРС-1;

трехступенчатую ТЗНП в комплекте типа КЗ-10.

Одноступенчатая ДЗ, выполняемая как III ступень общей ДЗ, и токовая отсечка II комплекса резервируют ДЗ из I комплекса. Одноступенчатая ТЗНП из I комплекса, выполняемая как IV ступень общей ТЗНП, резервирует ТЗНП из II комплекса.

Питание цепей переменного тока каждого комплекса может осуществляться от отдельных групп ТТ, питание оперативных цепей — через отдельные автоматические выключатели. Цепи напряжения I и II комплексов рекомендуется подключать отдельными кабелями от панели ТН. Цепи отключения выключателей от I и II комплексов рекомендуется объединять на панелях управления, а цепи пуска УРОВ — на панелях УРОВ. Каждый комплекс имеет свои выходные реле, свои испытательные блоки в цепях переменного тока и напряжения, в оперативных цепях.

При распределении цепей I и II комплексов по разным группам ТТ и по различным автоматическим выключателям оперативных цепей резервирование достигается следующим образом. В случае неисправности в цепях тока или исчезновения оперативного напряжения I комплекса междуфазное КЗ на защищаемой ВЛ ликвидируется то-

ковой отсечкой или III ступенью ДЗ с выдержкой времени (как при дальнем резервировании), а КЗ на землю — трехступенчатой ТЗНП. В случае неисправности в цепях тока или исчезновения оперативного напряжения II комплекса многофазное КЗ на защищаемой ВЛ ликвидируется двухступенчатой ДЗ, а КЗ на землю одной фазы — IV ступенью ТЗНП с выдержкой времени (как при дальнем резервировании). Допускается возможность поочередной проверки I и II комплексов при условии неселективного ускорения на время проверки поочередно III ступени ДЗ и IV ступени ТЗНП.

Вместе с тем панель ЭПЗ-1636м выполняется универсальной с возможностью ее использования:

в качестве единственной защиты ВЛ, т. е. с описанным разделением панели на два комплекса;

в качестве панели резервной защиты ВЛ при наличии отдельной основной защиты, например диффазной; в этом случае оба комплекса объединяются по токовым и оперативным цепям;

для выполнения направленной защиты с высокочастотной блокировкой (ВЧБ).

Последний вариант находится за пределами данной темы и далее не рассматривается.

Следует отметить, что при разделении защит панели на два комплекса их полной взаимной независимости не достигается.

1. Если РС III ступени ДЗ (II комплекс) используется для переключения уставок РС I комплекса, то отказ РС III ступени приводит к отказу и II ступени ДЗ; если использовать для переключения уставок РС I комплекса блокировку при качаниях, это требует увеличения ступени селективности смежных защит на 0,15—0,2 с (см. § 12).

2. Контакт блокировки при неисправностях в цепях напряжения из I комплекса контролирует ДЗ II комплекса; отказ этой блокировки, например при отсутствии оперативного напряжения на I комплексе, может привести к ложному срабатыванию III ступени ДЗ от токов нагрузки при появлении неисправности в цепях напряжения.

3. Контакт повторителя блокирующего РМ из I комплекса может быть использован для организации направленности II и III ступени ТЗНП II комплекса; отказ срабатывания этого повторителя, например при отсутствии оперативного напряжения на I комплексе, может привести к излишнему действию ступени с блокирующим РМ при КЗ «за спиной».

4. Наконец, существуют общие для обоих комплексов цепи ускорения, неисправность которых может привести к неправильному действию защит как I, так и II комплекса.

Тем не менее выигрыш от выполненной заводом модернизации панели весьма ощутим, а затраты на эксплуатационное обслуживание почти не изменились.

Кроме описанного основного отличия в панель внесен ряд дополнительных изменений.

1. Для повышения чувствительности дальнего резервирования в схему панели заложена возможность включения последних ступеней ДЗ и ТЗНП одной из параллельных ВЛ на сумму токов обеих ВЛ.

2. Исключена за ненадобностью возможность осуществления в схеме ДЗ фиксации мгновенного замера.

3. Подача плюса на РС III ступени и блок питания его НИ осуществляется, как правило, через размыкающий контакт устройства блокировки при неисправностях в цепях напряжения. Предусмотрена возможность подачи плюса и через контакты блокировки при качаниях, однако без шунтирования этих контактов после срабатывания РС, что создает возможность срыва отключения III ступенью, если в результате перехода КЗ из однофазного в междофазное блокировка при качаниях запустится раньше, чем сработает РС, и может вернуться раньше, чем истечет выдержка времени на срабатывание III ступени ДЗ.

4. Предусмотрена возможность ввода в действие токовой отсечки только на время включения выключателя (контактом реле ускорения) на случай, если на ВЛ невозможно выполнить постоянно введенную токовую отсечку.

5. Исключены токовые обмотки выходных реле в цепях отключения выключателей, поскольку удерживание отключающего сигнала после срабатывания защиты предусмотрено в схемах управления выключателем.

6. Исключены накладки в цепях отключения выключателей и предусмотрены накладки в цепях обмоток выходных промежуточных реле каждого комплекса. Такое решение имеет свои достоинства и недостатки:

при выводе накладкой защиты из работы выводится и пуск УРОВ от нее, что хорошо, если защита угрожает неправильным действием, и плохо, если защита выведена ошибочно;

если цепи управления выключателем питаются от отдельного автоматического выключателя, то при отключен-

ных накладках и отключенном автоматическом выключателе оперативного напряжения защиты нажатие на якорь выходного реле может вызвать ложное отключение ВЛ, а при наличии нагрузки на ВЛ — и действие УРОВ; это плохо, тем более что релейный персонал привык к панелям с накладками в отключающих цепях;

при потере контакта в накладке введенной защиты теряется и пуск УРОВ от этой защиты, что тоже нежелательно.

Несложным перемонтажом можно по желанию энергосистемы осуществить перенос накладок в отключающие цепи. Следует только оставить в цепях выходных реле накладки I—II и III ступеней ДЗ, чтобы оперативный персонал мог вывести ДЗ из работы в случае устойчивой неисправности в цепях напряжения.

## 8. ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА И НАПЯЖЕНИЯ

Цепи переменного тока панели ЭПЗ-1636м приведены на рис. 14. Они разделены на две части соответственно делению панели на комплексы. В токовых цепях I комплекса находятся первичные обмотки трансреакторов *ТАV1* реле *KZ1—KZ3* комплекта *AKZ2*, первичные обмотки трансформаторов *ТА1—ТА4* (*ТА1*) комплекта *AKB1* типа КРБ-126 (КРБ-125), реле тока *КА3* и мощности *KW1* четвертой ступени ТЗНП. Эти цепи могут выводиться из работы одновременным снятием рабочих крышек испытательных блоков *SG1*, *SG2*. Последовательно с цепями I комплекса включены реле тока *КА1*, *КА2* типа РТ-40/Р, используемые в схемах УРОВ для контроля наличия тока по защищаемой ВЛ. Принцип действия и технические данные этих реле описаны в [13]. Если реле *КА1*, *КА2* не используются, они должны быть исключены из схемы, поскольку имеют большое потребление.

Во II комплексе находятся трансреакторы *ТАV1* реле *KZ1—KZ3* комплекта *AKZ1*, реле *КА1*, *КА2* токовой отсечки комплекта *AK1* и реле *КА1—КА3*, *KW1* трехступенчатой ТЗНП комплекта *AK2*. Эти цепи могут выводиться из работы одновременным снятием рабочих крышек испытательных блоков *SG3*, *SG4*.

Указанные цепи тока можно подключить к отдельным группам ТТ или соединить последовательно. В случае использования панели в качестве резервной защиты параллельной ВЛ последняя ступень ДЗ (комплект *AKZ1*) и последняя, четвертая ступень ТЗНП (реле *КА3* и *KW1*) могут быть включены на сумму токов двух ВЛ. Для этой

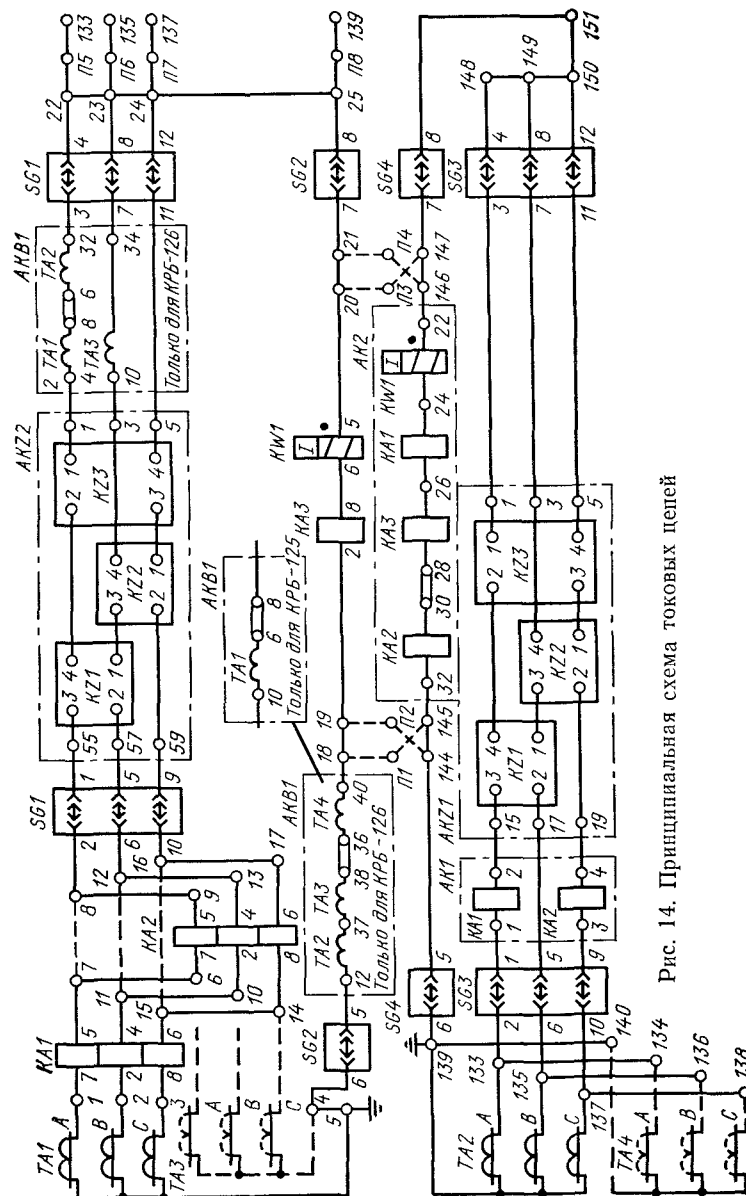


Рис. 14. Принципиальная схема токовых цепей





Логическая схема I комплекса (рис. 16), подключаемая к оперативному напряжению испытательным блоком *SG5*, включает в себя ряд реле и аппаратов, расположенных в комплектах *AKZ2*, *AKB1* и непосредственно на панели.

Комплект *AKZ2* имеет в своем составе: РС I-II ступеней ДЗ, входящие в схему контактом выходного реле *KL1* блока *KZ2*, блокировку при неисправностях в цепях напряжения, входящую в схему контактами поляризованного реле *KV1*, промежуточные реле *KL1—KL7*, реле времени *KT1*, *KT2*, указательные реле *KH1—KH5*. В состоянии готовности защиты к действию в сработавшем положении находится только промежуточное реле *KL1*.

Выходное промежуточное реле *KL1* блока *KZ2* (см. рис. 8) при срабатывании контактом *KL1.1* создает цепь на срабатывание либо реле *KL4*, либо реле *KL3*. Контакт *KL1.2* используется в схеме II комплекса, либо в схеме ВЧБ.

Реле напряжения *KV1*, срабатывающее при возникновении неисправности в цепях напряжения, контактами:

*KV1.1* размыкает цепь подачи плюса на контакты дистанционных органов (если контакт *KV1.1* используется);

*KV1.2* вызывает срабатывание реле *KL7* и загорание неоновой лампы *HL1*.

Реле промежуточное *KL1* используется для переключения уставок дистанционных органов с I ступени на II. В сработавшем состоянии контактами:

*KL1.1* создает цепь для действия дистанционных органов на выходное реле *KL4*;

*KL1.2* создает цепь (совместно с контактами *KL5.2* и *KT1.1*) на выходное реле *KL4* для I ступени ДЗ с выдержкой времени;

*KL1.3—KL1.5* (см. рис. 15) переключает дистанционные органы на уставки I ступени.

Реле *KL1*, возвращаясь при пуске защиты, контактами:

*KL1.1* создает цепь на срабатывание реле *KL3*;

*KL1.3—KL1.5* переключает дистанционные органы на уставки II ступени.

Время возврата реле регулируется в пределах 0,1—0,15 с, чтобы наверняка успело сработать реле *KL4* (или *KL3* в случае установки перемычки 30-32-*AKZ2*). Если РС сработало по I ступени до возврата *KL1*, последнее остается в сработавшем состоянии благодаря своей удерживающей обмотке в цепи контакта дистанционных органов.

Тока, протекающего через эту обмотку и определяемого сопротивлением обмоток реле *KL4* или *KL3*, достаточно для удержания реле *KL1* в сработавшем состоянии, но недостаточно для его срабатывания.

Реле промежуточное *KL2* используется как повторитель пускового органа (РС III ступени или блокировка при качаниях, если установлена перемычка 47-49-*AKZ2*). Kontakтами:

*KL2.1* размыкает цепь обмотки реле *KL1*;

*KL2.2* шунтирует контакты *KL1.3* и *KL3.2-AKB1* в цепи подачи плюса к контактам дистанционных органов (установлена перемычка 31-32-X), тем самым самоудерживается вплоть до возврата РС III ступени.

Реле промежуточное *KL3* используется для формирования ступеней ДЗ с выдержками времени. При срабатывании контактами:

*KL3.1* шунтирует контакты блокировки при качаниях в цепи подачи плюса к контактам дистанционных органов, тем самым самоудерживается вплоть до возврата последних;

*KL3.2* запускает реле времени *KT1* и реле *KL5* через контакты блокировки при качаниях или помимо них;

*KL3.3* вместе с реле *KL6* ускоряет I-II ступени ДЗ при включении выключателя ВЛ;

*KL3.4* останавливает передатчик ВЧБ (см. рис. 18).

Реле промежуточное *KL4* является выходным реле защит I комплекса. Kontakтами:

*KL4.1* шунтирует контакт *KL1.4-AKB1*, подключенный в зажимах 23-25-*AKZ2*, чем самоудерживается вплоть до возврата дистанционных органов, т. е. до отключения выключателя или до срабатывания УРОВ;

*KL4.2* дешунтирует обмотку указательного реле *KH1* и шунтирует проскальзывающий контакт *KT1.1*, чем самоудерживается после его размыкания вплоть до возврата реле *KL5*;

*KL4.3* вызывает срабатывание выходного реле *KL1*, расположенного вне комплектов;

*KL4.4* пускает УРОВ (см. рис. 18);

*KL4.5—KL4.6* отключает выключатели *Q1*, *Q2* (см. рис. 17).

Реле промежуточное *KL5* предназначено для выполнения блокируемой ступени ДЗ с выдержкой времени. Kontakтами:

*KL5.1* шунтирует контакт *KL1.6-AKB1* и самоудерживается вплоть до возврата реле *KL3*, т. е. запоминает

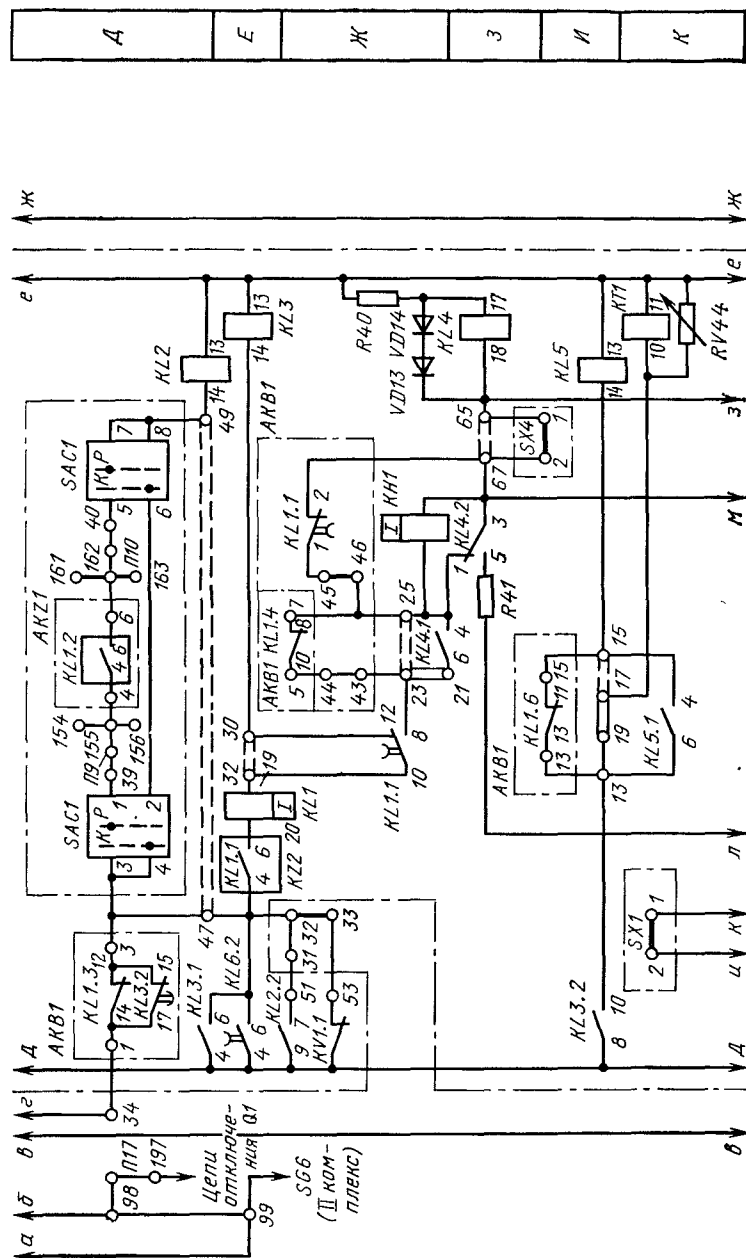
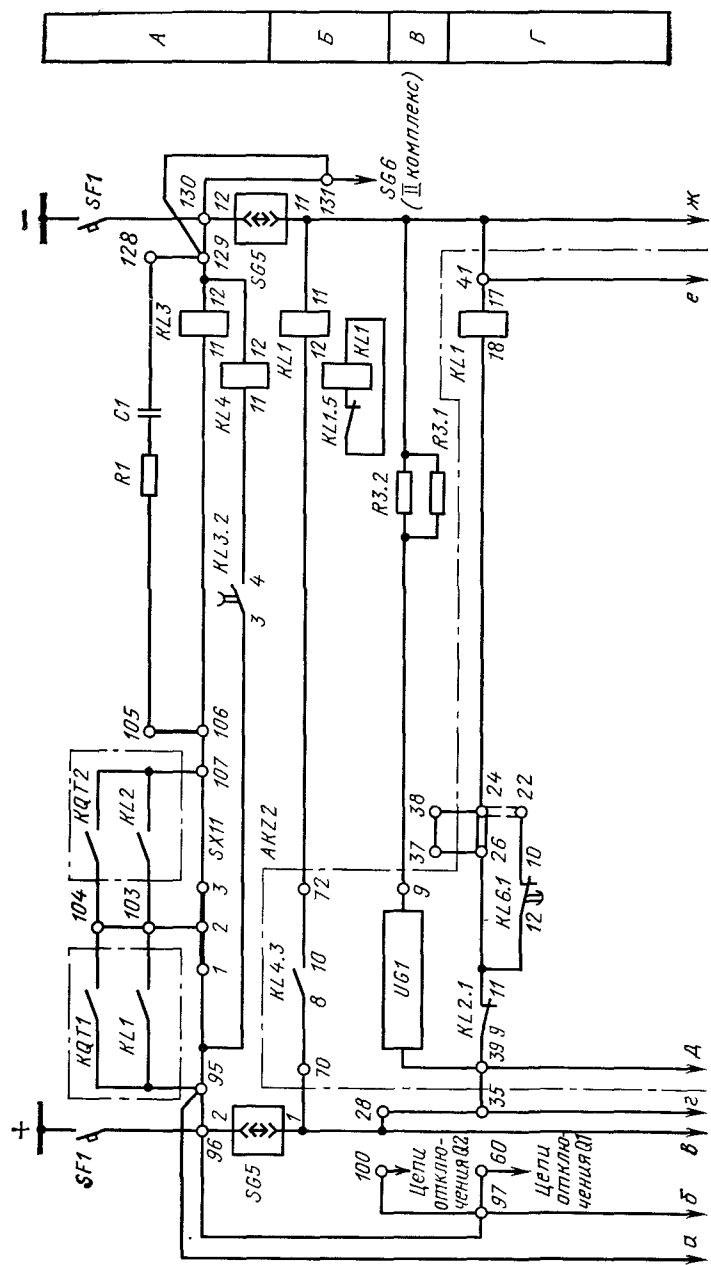


Рис. 16

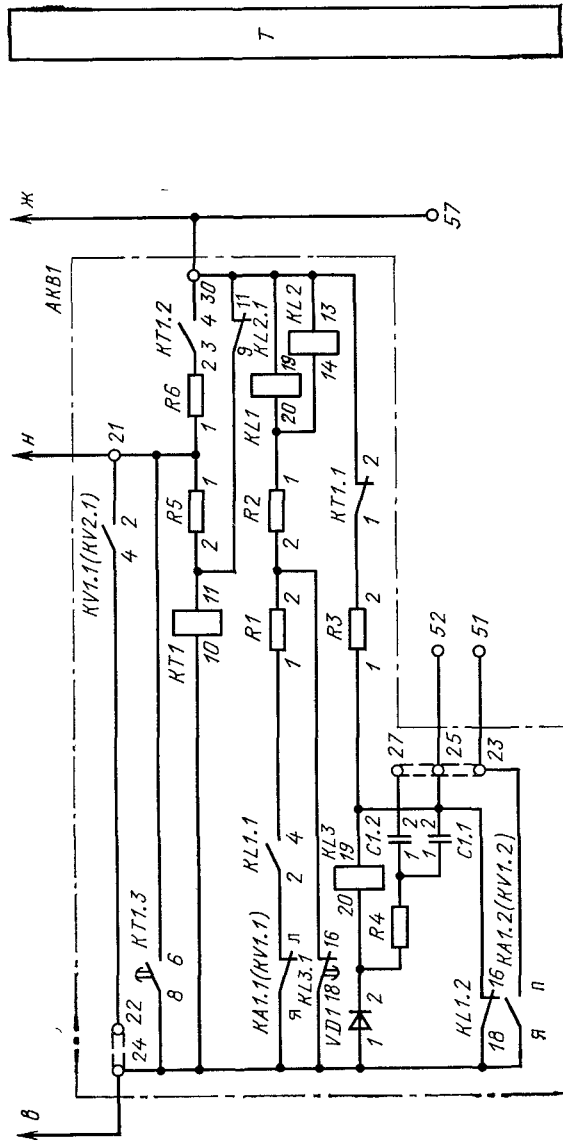
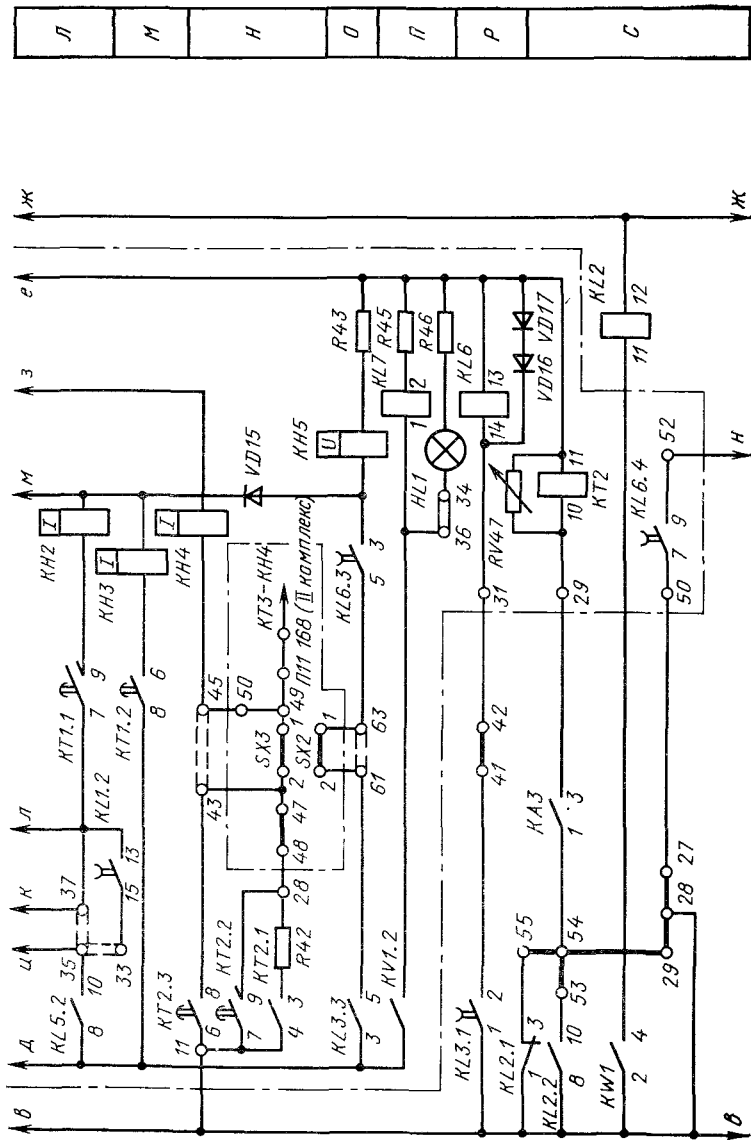


Рис. 16. Принципиальная схема логических цепей I комплекса и цепей ускорения:

А — реле ускорения; Б — выходное реле защит I комплекса; В — блок питания РС I и II ступеней; Г — реле переключения дистанционных органов с уставок I ступени на уставки II ступени; Д — реле-повторитель пускового органа; Е — реле-повторитель дистанционного органа; Ж — цепи I ступени ДЗ; З — выходное быстродействующее реле защит I комплекса; И — реле фиксации однофазного срабатывания реле ДЗ и блокировки при качаниях; К — реле времени I и II ступеней ДЗ; Л — цепи ДЗ с меньшей выдержкой времени; М — II ступень ДЗ с большей выдержкой времени; Н — выходные цепи IV ступени ТЗНП; О — цепи автоматического ускорения ДЗ; П — сигнализация неисправности цепей напряжения; Р — реле ускорения II ступени ДЗ; С — IV ступень ТЗНП; Т — блокировка при качаниях

факт одновременного срабатывания дистанционных органов и блокировки при качаниях вплоть до срабатывания блокируемой ступени с выдержкой времени или до возврата дистанционных органов;

*KL5.2* подготавливает цепь на срабатывание реле *KL4* через проскальзывающий контакт *KT1.1*.

Контакт *KL5.3* резервный.

*Реле промежуточное KL6* предназначено для ускорения I-II ступеней ДЗ при включении выключателя. Срабатывает при замыкании контакта *KL3.1* отдельно стоящего реле ускорения. Имеет замедление на возврат 0,3—0,5 с, чтобы обеспечить действие ДЗ после включения выключателя. Kontakтами:

*KL6.1* вместе с реле *KL2* подрывает цепь обмотки реле *KL1*, обеспечивая переключение дистанционных органов на уставки II ступени;

*KL6.2* шунтирует контакты блокировки при качаниях в цепи подачи плюса к контактам РС, чем обеспечивается готовность ДЗ к действию помимо блокировки;

*KL6.3* готовит цепь ускоренного срабатывания ДЗ;

*KL6.4* осуществляет, если целесообразно, ускоренный возврат блокировки при качаниях вслед за отключением ВЛ.

*Реле промежуточное KL7* используется как размножитель контактов реле *KV1*. Kontakтами:

*KL7.1* снимает плюс с контакта РС III ступени ДЗ (*KL1.1* блока *KZ2-AKZ1*) во II комплексе (см. рис. 17);

*KL7.2* готовит цепь звукового сигнала о неисправности в цепях напряжения (см. рис. 19).

*Реле времени KT1* kontakтами *KT1.1* и *KT1.2* обеспечивает две выдержки времени: для I и II ступеней ДЗ либо для II ступени ДЗ.

*Реле времени KT2* обеспечивает выдержку времени IV ступени ТЗНП. Kontakтами:

*KT2.1* шунтирует проскальзывающий контакт *KT2.2*, обеспечивая замкнутое состояние выходного реле после размыкания проскальзывающего контакта;

*KT2.2* обеспечивает оперативное ускорение IV ступени ТЗНП на время проверки II комплекса (стоит перемычка 47-48-X);

*KT2.3* обеспечивает выдержку времени IV ступени ТЗНП.

*Реле указательные KH1—KH5*, не имеющие контактов, служат для фиксации дежурным персоналом факта срабатывания:

*KH1—KH3* — I-II ступеней ДЗ;

*KH4* — IV ступени ТЗНП;

*KH5* — ускорения ДЗ при включении выключателя.

*Вспомогательные элементы комплекта AKZ2* включают в себя нелинейный делитель напряжения и искрогасительный контур в панели ЭПЗ-1636п [1, 2], блок питания *UG1*, включенный в схему через резисторы *R3* в панели ЭПЗ-1636м.

Для облегчения коммутации kontakтами *KL1—KL5* токов в обмотках реле *KL4*, *KT1*, *KT2* эти обмотки зашунтированы диодами или варисторами. Обмотка реле *KL6* также зашунтирована диодами для создания необходимого времени замедления на возврат. В старых панелях, имеющих по одному шунтирующему диоду, для снижения вероятности его пробоя, сопровождающегося КЗ в оперативных цепях, следует установить последовательно второй диод.

Сигнальная неоновая лампа *HL1*, выведенная на лицевую панель комплекта *AKZ2*, предупреждает дежурный персонал о неисправности в цепях напряжения, подлежащей немедленному устранению.

**Комплект блокировки при качаниях АКВ1** типа КРБ-126 (125) имеет в логической схеме поляризованное реле *KA1* (*KV1*), срабатывающее при появлении несимметрии в цепях тока (напряжения), реле напряжения *KV1* (*KV2*), промежуточные реле *KL1—KL3* и реле времени *KT1*. В состоянии готовности блокировки к действию в сработанном положении находятся реле *KV1* (*KV2*) и *KL1—KL3*.

*Реле тока KA1* (напряжения *KV1*) своим размыкающим контактом подрывает цепь удерживания реле *KL1* и *KL2*, а замыкающим контактом шунтирует обмотку реле *KL3*.

*Реле напряжения KV1* (*KV2*) (см. рис. 10,а и 11,а) возвращается в момент пуска блокировки kontakтом *KL2.2* и после срабатывания реле *KL2* срабатывает вновь, если напряжение в сети восстановилось, своим kontakтом *KV1.1* (*KV2.1*) возвращая блокировку в исходное состояние, если установлена перемычка 22-24-*AKB1*.

*Реле промежуточное KL1* используется для ввода в работу блокируемых ступеней ДЗ. Время его возврата — не более 8 мс. Возвращаясь при пуске блокировки, kontakтами:

*KL1.1* разрывает цепь самоудерживания через резистор *R1*;

*KL1.2* шунтирует обмотку реле *KL3*;

*KL1.3* подает плюс на контакты дистанционных органов вплоть до возврата реле *KL3-AKB1*;

*KL1.4* вводит в работу I ступень ДЗ вплоть до возврата реле *KL3-AKB1*;

*KL1.6* фиксирует факт одновременности срабатывания дистанционных органов и блокировки при качаниях, чем вводит в работу II ступень ДЗ, блокируемую при качаниях.

Контакт *KL1.7* может использоваться в схеме III ступени ДЗ (см. рис. 17); контакты *KL1.5* и *KL1.8* используются в схемах ВЧБ (см. рис. 18).

Реле промежуточное *KL2* включено параллельно реле *KL1*. Время его возврата — не более 12 мс. Возвращаясь, контактами:

*KL2.1* пускает реле времени *KT1*;

*KL2.2* разрывает цепь обмотки реле *KV1 (KV2)*, повышая его чувствительность.

Реле промежуточное *KL3* ограничивает время ввода в действие блокируемых ступеней ДЗ. Возвращаясь при пуске блокировки, контактами:

*KL3.1* подает плюс на обмотки реле *KL1, KL2*, вызывая их срабатывание, чем выводятся из действия блокируемые ступени ДЗ;

*KL3.2* подает плюс к контактам дистанционных органов, обеспечивая работу ДЗ после того, как сработало реле *KL1-AKB1*.

Контакт *KL3.3* используется в схеме III ступени ДЗ (см. рис. 17), а контакт *KL3.4* используется в схемах с ВЧБ (см. рис. 18).

Время возврата реле регулируется в пределах 0,45—0,5 с для обеспечения надежного переключения уставок дистанционных органов на II ступень.

Реле времени *KT1*, срабатывая при возврате реле *KL2*, контактами:

*KT1.1* подрывает цепь питания обмотки реле *KL3*;

*KT1.2* самоудерживается через резистор *R6*;

*KT1.3* через заданное время своим упорным контактом шунтирует собственную обмотку, чем возвращает блокировку в состояние готовности к повторному действию.

Вне комплектов расположены реле тока *KA3* и мощности *KW1* IV ступени ТЗНП, промежуточные реле *KL1, KL2* и накладки *SX1—SX4*.

Реле промежуточное *KL1* является повторителем выходного реле *KL4-AKZ2*, имеющим замедление на срабатывание порядка 0,1 с благодаря дополнительной короткозамкнутой обмотке. Контактными:

*KL1.1* дешунтирует обмотку указательного реле *КН1*;  
*KL1.2, KL1.3* отключает выключатели *Q1* и *Q2* (см. рис. 17);

*KL1.4* пускает УРОВ (см. рис. 18);

*KL1.5* дешунтирует свою демпферную обмотку для уменьшения времени возврата.

Реле промежуточное *KL2* является повторителем реле *KW1* IV ступени ТЗНП. При срабатывании контактами:

*KL2.1* запрещает работу IV ступени ТЗНП, если РМ выполнено блокирующим;

*KL2.2* разрешает работать IV ступени ТЗНП, если РМ выполнено разрешающим;

*KL2.3* вызывает срабатывание реле *KL2-AK2* из II комплекса в случае использования блокирующего РМ в одной из ступеней ТЗНП II комплекса (см. рис. 17).

В I комплексе предусмотрен ряд накладок: *SX1* используется для ввода оперативного ускорения II ступени ДЗ, *SX2* — для ввода ускорения II ступени ДЗ при включении выключателей, *SX3* — для ввода IV ступени ТЗНП, *SX4* — для ввода I-II ступеней ДЗ. Накладки *SX2, SX3* могут быть исключены из схемы установкой перемычек 61-63, 43-45-AKZ2.

## Логическая схема II комплекса

Логическая схема II комплекса (рис. 17) подключена к оперативному напряжению испытательным блоком *SG6* и включает в себя ряд аппаратов, расположенных в комплектах *AK1, AK2, AKZ1* и непосредственно на панели.

Комплект *AK1* имеет в своем составе токовые реле отсечки *KA1, KA2*, выходное реле *KL1* и указательное реле *КН1*.

Реле промежуточное *KL1* имеет замедление на срабатывание порядка 0,1 с, как и *KL1* I комплекса. Контактными:

*KL1.1* дешунтирует свою демпферную обмотку для уменьшения времени возврата;

*KL1.2* дешунтирует обмотку указательного реле *КН1*;

*KL1.3, KL1.4* отключает выключатели *Q1, Q2*;

*KL1.5* пускает УРОВ (см. рис. 18).

Реле указательное *КН1* сигнализирует о срабатывании токовой отсечки.

Комплект *AK2* включает в себя реле тока *KA1—KA3*, реле мощности *KW1*, промежуточные реле *KL1—KL4*, реле времени *KT1—KT4* и указательные реле *КН1—КН6*.



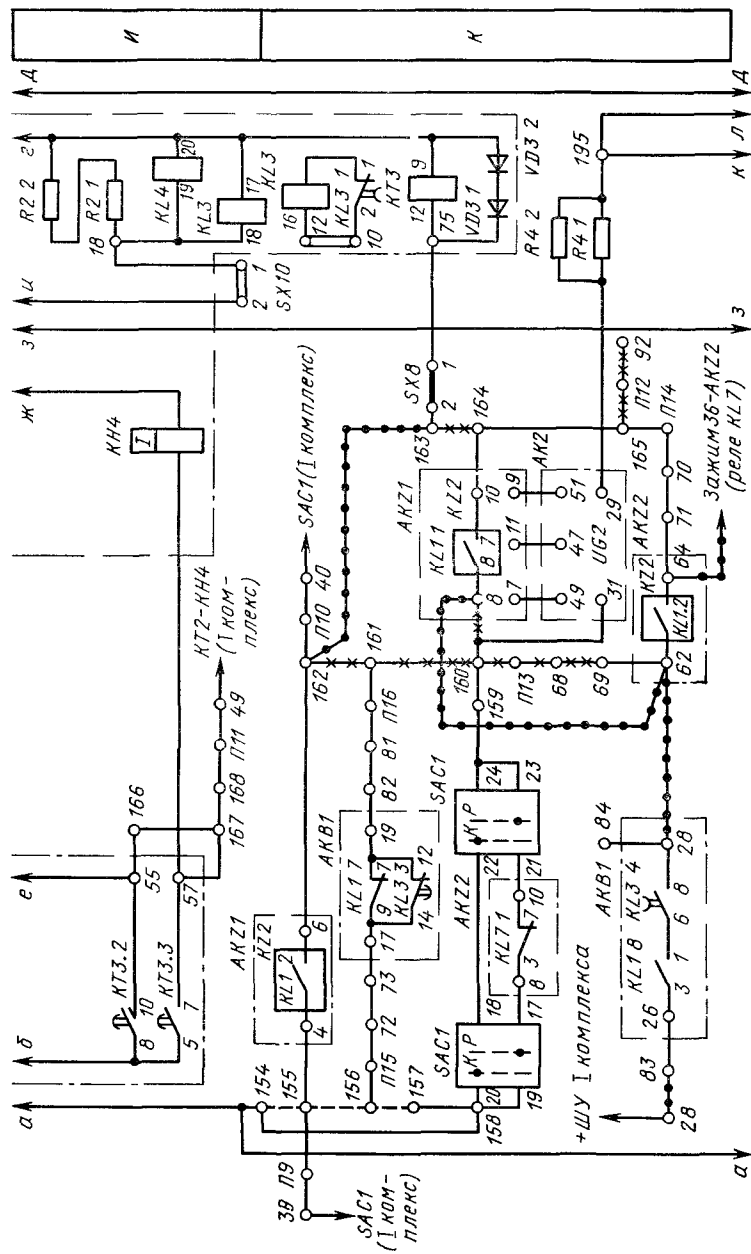
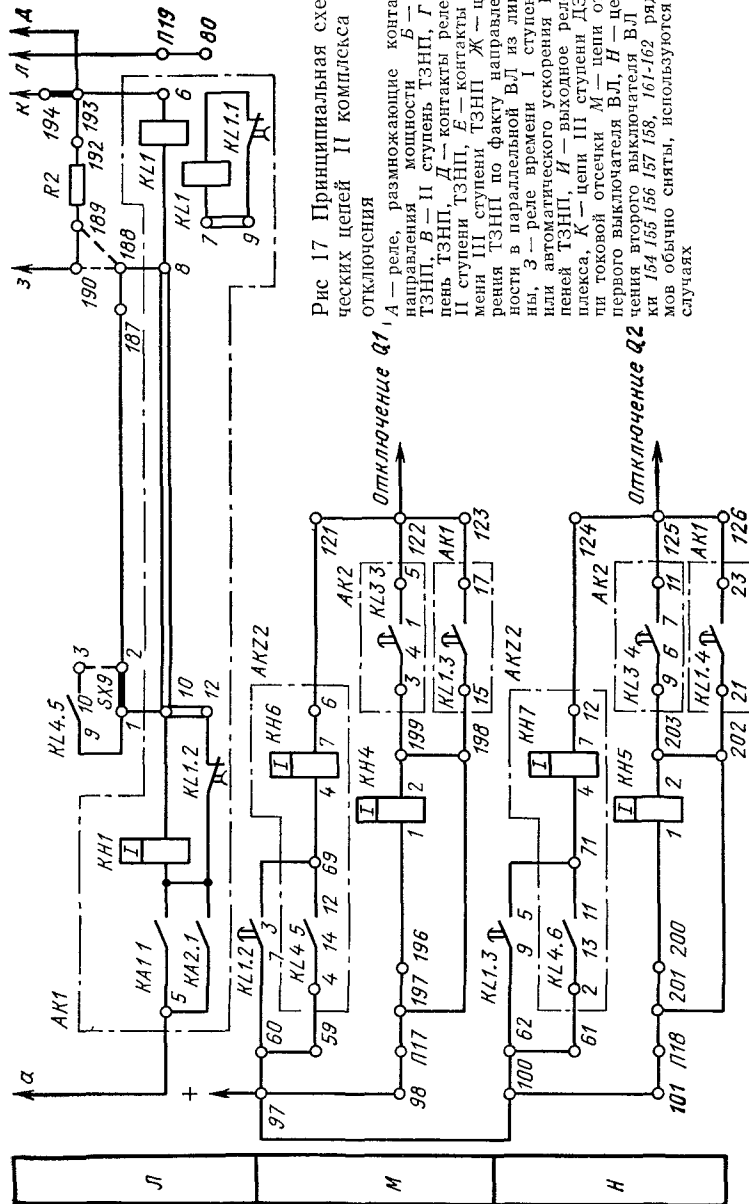


Рис 17 Принципиальная схема логических цепей II комплекса и цепей отключения

А — реле, размножающие контакты реле направления мощности В — I ступень ТЗНП, Г — III ступень ТЗНП, Д — контакты реле времени II ступени ТЗНП, Е — контакты реле времени III ступени ТЗНП, Ж — цепи ускорения ТЗНП по факту направления мощности в параллельной ВЛ из линии в шину, З — реле времени I ступени ТЗНП или автоматического ускорения I—III ступеней ТЗНП, И — выходные реле II комплекса, К — цепи III ступени ДЗ, Л — цепи токовой отсечки М — цепи отключения первого выключателя ВЛ, Н — цепи отключения второго выключателя ВЛ. Переключки 164 166 168 169 157 158, 161-162 ряда зажимов обычно сняты, используются в особых случаях



В состоянии готовности защиты к действию все реле обесточены.

*Реле промежуточное KL1* служит для размножения контактов реле *KW1*. Kontakтами:

*KL1.1, KL1.2, KL1.3* обеспечивает направленность I—III ступеней ТЗНП;

*KL1.4* обеспечивает направленность III ступени ТЗНП, ускоримой при направлении мощности в параллельной ВЛ к шинам ПС, если неускоримая III ступень выполнена не направленной;

*KL1.5* дешунтирует резистор *R5*, обеспечивающий термическую стойкость обмотки реле *KL1*.

*Реле промежуточное KL2* служит повторителем реле *KL2* из I комплекса, используется, когда РМ I комплекса выполнено блокирующим. Размыкая при срабатывании свои размыкающие контакты при КЗ «за спиной», реле *KL2* обеспечивает блокирование направленных ступеней защиты. Следует отметить, что направленность мгновенной ступени ТЗНП не может быть обеспечена таким способом. Реле *KL2* может не успеть сработать и заблокировать защиту прежде, чем последняя подаст импульс на выходное реле. Срабатывая, реле *KL2* контактами:

*KL2.1* разрешает ускорить заданную ступень параллельной ВЛ, если по рассматриваемой ВЛ мощность направлена от линии к шинам, так как при этом условием направление мощности по параллельной ВЛ от шин является верным признаком КЗ на последней (при направлении мощности от шин по обеим ВЛ КЗ может быть на шинах или за шинами противоположной ПС и ускорение недопустимо);

*KL2.2, KL2.3* блокируют II и III ступени ТЗНП;

*KL2.4* дешунтирует резистор *R6*, обеспечивающий термическую стойкость обмотки реле *KL2*.

*Реле промежуточное KL3* является выходным реле защиты II комплекса. Kontakтами:

*KL3.1* дешунтирует свою демпферную обмотку для уменьшения времени возврата;

*KL3.2* пускает УРОВ (см. рис. 18);

*KL3.3, KL3.4* отключает выключатели *Q1, Q2*;

*KL3.5* останавливает передатчик ВЧБ (см. рис. 18).

*Реле промежуточное KL4*, обмотка которого включена параллельно обмотке реле *KL3*, контактами:

*KL4.1* замыкает цепь обмотки реле *KL1*, чем обеспечивается его удерживание, если в процессе неполнофазного

отключения разрешающее РМ (*KW1-AK2*) разомкнет свои контакты;

*KL4.2—KL4.5* дешунтирует обмотки указательных реле *KN1, KN3, KN5, KN6*, обеспечивая выпадение их флажков только после срабатывания выходных реле.

*Реле времени KT1, KT2* обеспечивают заданные выдержки времени II и III ступеней ТЗНП. Кроме того, контактами *KT1.1, KT2.1* обеспечивается ускорение одной из этих ступеней при включении выключателя. Kontakтами *KT2.1, KT2.2* может выполняться оперативное ускорение III ступени ТЗНП.

*Реле времени KT3* обеспечивает заданную выдержку времени III ступени ДЗ. Кроме того, контактом *KT3.1* обеспечивается ускорение III ступени ДЗ при включении выключателей, а контактами *KT3.1* и *KT3.2* обеспечивается оперативное ускорение III ступени ДЗ при проверке I комплекса.

*Реле времени KT4* в зависимости от положения переключек может обеспечивать либо выдержку времени I ступени ТЗНП, либо ускорение до заданного времени II или III ступени ТЗНП при включении выключателей.

*Реле указательные KN1—KN6* служат для фиксации дежурным персоналом факта срабатывания:

*KN1—KN3* — I—III ступеней ТЗНП (причем реле *KN3* не различает, сработала ускоренная ступень через контакт *KT2.2* или неускоренная через контакт *KT2.3*);

*KN4* — III ступени ДЗ;

*KN5* — III ступени ТЗНП, ускоренной при направлении мощности по параллельной ВЛ к шинам;

*KN6* — ускорения при включении выключателей заданных ступеней защиты.

*Блок питания UG1* обеспечивает питание НИ в комплексе *AKZ1*.

**Комплект AKZ1** имеет в своем составе РС III ступени ДЗ, входящие в логическую схему контактами выходного реле *KL1* блока *KZ2*. Kontakтом *KL1.1* создается цепь на срабатывание реле *KT3—AK2*. Kontakтом *KL1.2*, как правило, создается цепь на срабатывание реле *KL2-AKZ2* в схеме I комплекса.

**Вне комплектов** расположены накладки: *SX5* используется для ввода в работу III ступени ТЗНП и для оперативного ускорения этой ступени, *SX6, SX7* — для ввода ускорения III ступени ТЗНП по факту направления мощности по параллельной ВЛ к шинам, *SX8* — для ввода в работу III ступени ДЗ, *SX9* — для ввода в работу токовой



отсечки, если последняя вводится только оперативно, *SX10* — для ввода в работу всех защит II комплекса и может быть перенесена в отключающие цепи.

### Цепи отключения

Цепи отключения (см. рис. 17) состоят из двух одинаковых схем для отключения двух выключателей защищаемой ВЛ. Если последняя присоединена к шинам одним выключателем, вторая схема не используется.

Отключение от защит I комплекса выполняется контактами выходных реле *KL4-AKZ2* либо *KL1* через указательные реле *КН6*, *КН7-AKZ2*. Отключение от защит II комплекса выполняется контактами выходных реле *KL1-AK1*, *KL3-AK2* через указательные реле *КН4*, *КН5*, установленные непосредственно на панели. Хотя перемычками ряда зажимов указательные реле можно исключить, это нецелесообразно, поскольку при анализе поведения защиты они позволяют определить, был ли импульс на отключение выключателей. Накладки в цепях отключения отсутствуют, но при желании могут быть установлены дополнительно.

### Цепи пуска УРОВ

Цепи пуска УРОВ (рис. 18) запитаны из схемы УРОВ и включают в себя контакты реле *КА1*, *КА2*, контролирующих наличие тока по ВЛ, и контакты выходных реле всех защит, включенные через накладки *SX12—SX13*.

### Цепи ускорения

Цепи ускорения (см. рис. 16) подключены по оперативным цепям к автоматическому выключателю (предохранителям) защищаемой ВЛ помимо испытательных блоков, что позволяет оставить эти цепи в работе при снятии напряжения с одного из комплексов. Цепи ускорения включают в себя реле *KL3*, *KL4*, цепь *R1-C1* и накладку *SX11*.

Реле промежуточное *KL3* управляется замыкающими контактами реле положения «Отключено» *KQT1* и реле непереключения фаз *KL1* выключателя ВЛ, если последняя присоединена к шинам через один выключатель. Соответствующие контакты двух выключателей *KQT1* и *KQT2*, *KL1* и *KL2* включаются последовательно, если ВЛ присоединена к шинам через два выключателя. В послед-

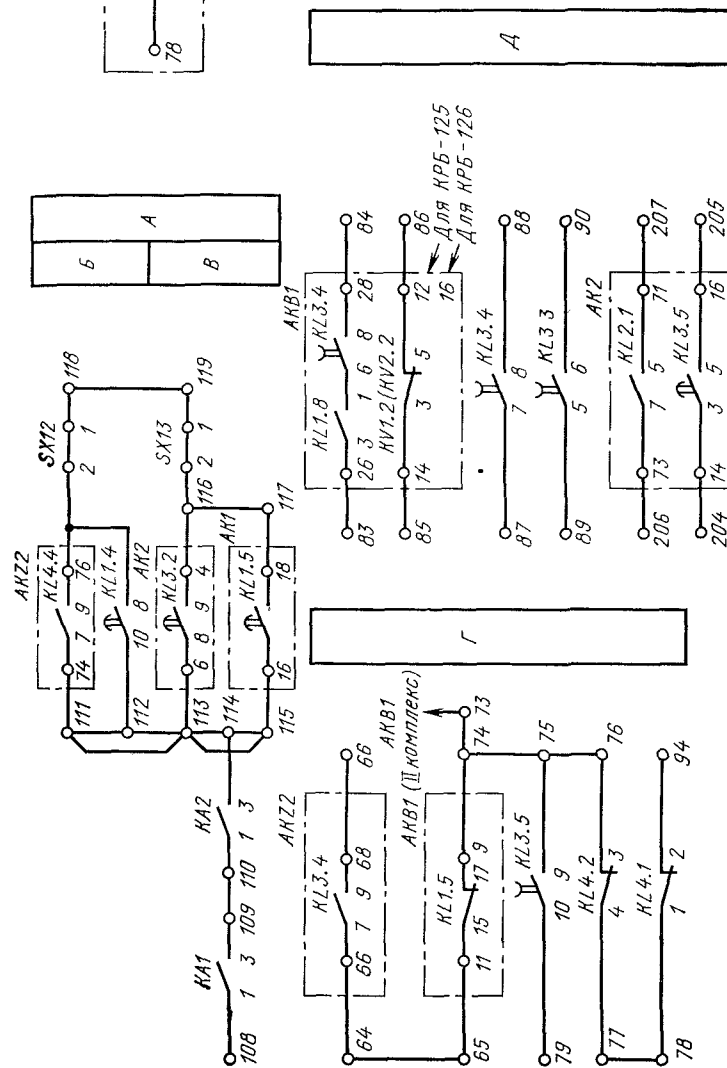


Рис. 18. Принципиальная схема цепей УРОВ, цепей, используемых для связи с ВЧБ, и резервных цепей панели: А — цепи УРОВ; Б — цепи пуска УРОВ от защит I комплекса; В — цепи пуска УРОВ от защит II комплекса, реле тока УРОВ; Г — резервные цепи для ВЧБ; Д — резервные контакты

нем случае контакт *KQT* выведенного в ремонт выключателя при включенной ВЛ шунтируется соответствующей установкой накладки *SX11* в то или иное положение. Если ВЛ включена через один выключатель, накладку целесообразно исключить. При отключении выключателя (выключателей) реле *KL3* срабатывает и, будучи выполнено с замедлением на возврат, остается в сработанном положении некоторое время после того, как на выключатель будет подана команда на включение (от АПВ или от ключа управления) и возвратится реле *KQT*. В течение этого времени заданные ступени ДЗ и ТЗНП будут оставаться ускоренными. Время замедления на возврат должно перекрывать время, необходимое для срабатывания ускоренной ступени. Для обеспечения такого перекрытия предусмотрена цепь *R1-C1*, подключаемая параллельно обмотке *KL3* и создающая дополнительное замедление на возврат, например при ускорении защиты до времени срабатывания 0,5 с.

Реле промежуточное *KL3* контактами:

*KL3.1* вызывает срабатывание реле ускорения *KL6-AKZ2*;

*KL3.2* вызывает срабатывание реле ускорения *KL4*.

Контакты *KL3.3—KL3.5* используются в схемах защиты шин и ВЧБ (см. рис. 18).

Реле промежуточное *KL4* контактами:

*KL4.3* шунтирует контакт разрешающего РМ (*KW1-AK2*), обеспечивая при включении выключателя ненаправленность ступеней ТЗНП с разрешающим РМ (см. рис. 17);

*KL4.4* вводит в работу ускорение одной из ступеней ТЗНП или III ступени ДЗ (см. рис. 17);

*KL4.5* вводит в работу неселективную токовую отсечку на время, определяемое временем возврата реле *KL3*, *KL4* (см. рис. 17).

Контакты *KL4.1*, *KL4.2* используются в схеме ВЧБ (см. рис. 18).

## Цепи сигнализации

Цепи сигнализации (рис. 19) включают в себя замыкающие контакты всех указательных реле — как встроенных в комплекты, так и отдельно стоящих. Этими контактами через разделительные диоды *VD1.1*, *VD1.2* включаются сигнальная лампа *HL1* «Указатель реле не под-

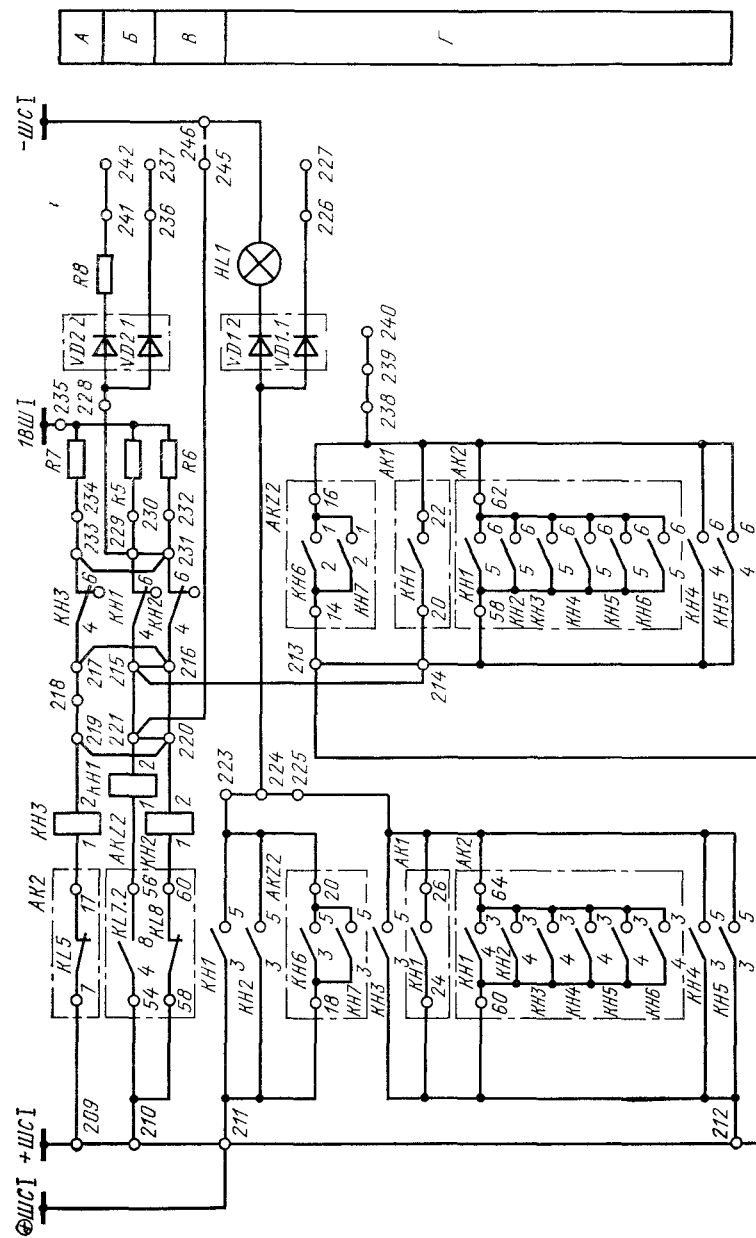


Рис. 19 Принципиальная схема цепей сигнализации:

А — неисправность цепей блока питания II комплекта; Б — неисправность цепей блока питания I комплекта; В — неисправность цепей указательных реле; Г — неисправность цепей указательных реле; Д — неисправность цепей указательных реле; Е — неисправность цепей указательных реле; Ж — неисправность цепей указательных реле; З — неисправность цепей указательных реле; И — неисправность цепей указательных реле; К — неисправность цепей указательных реле; Л — неисправность цепей указательных реле; М — неисправность цепей указательных реле; Н — неисправность цепей указательных реле; О — неисправность цепей указательных реле; П — неисправность цепей указательных реле; Р — неисправность цепей указательных реле; С — неисправность цепей указательных реле; Т — неисправность цепей указательных реле; У — неисправность цепей указательных реле; Ф — неисправность цепей указательных реле; Х — неисправность цепей указательных реле; Ц — неисправность цепей указательных реле; Ч — неисправность цепей указательных реле; Ш — неисправность цепей указательных реле; Щ — неисправность цепей указательных реле; Ъ — неисправность цепей указательных реле; Ы — неисправность цепей указательных реле; Ь — неисправность цепей указательных реле; Э — неисправность цепей указательных реле; Ю — неисправность цепей указательных реле; Я — неисправность цепей указательных реле; 1 — неисправность цепей указательных реле; 2 — неисправность цепей указательных реле; 3 — неисправность цепей указательных реле; 4 — неисправность цепей указательных реле; 5 — неисправность цепей указательных реле; 6 — неисправность цепей указательных реле; 7 — неисправность цепей указательных реле; 8 — неисправность цепей указательных реле; 9 — неисправность цепей указательных реле; 10 — неисправность цепей указательных реле; 11 — неисправность цепей указательных реле; 12 — неисправность цепей указательных реле; 13 — неисправность цепей указательных реле; 14 — неисправность цепей указательных реле; 15 — неисправность цепей указательных реле; 16 — неисправность цепей указательных реле; 17 — неисправность цепей указательных реле; 18 — неисправность цепей указательных реле; 19 — неисправность цепей указательных реле; 20 — неисправность цепей указательных реле; 21 — неисправность цепей указательных реле; 22 — неисправность цепей указательных реле; 23 — неисправность цепей указательных реле; 24 — неисправность цепей указательных реле; 25 — неисправность цепей указательных реле; 26 — неисправность цепей указательных реле; 27 — неисправность цепей указательных реле; 28 — неисправность цепей указательных реле; 29 — неисправность цепей указательных реле; 30 — неисправность цепей указательных реле; 31 — неисправность цепей указательных реле; 32 — неисправность цепей указательных реле; 33 — неисправность цепей указательных реле; 34 — неисправность цепей указательных реле; 35 — неисправность цепей указательных реле; 36 — неисправность цепей указательных реле; 37 — неисправность цепей указательных реле; 38 — неисправность цепей указательных реле; 39 — неисправность цепей указательных реле; 40 — неисправность цепей указательных реле; 41 — неисправность цепей указательных реле; 42 — неисправность цепей указательных реле; 43 — неисправность цепей указательных реле; 44 — неисправность цепей указательных реле; 45 — неисправность цепей указательных реле; 46 — неисправность цепей указательных реле; 47 — неисправность цепей указательных реле; 48 — неисправность цепей указательных реле; 49 — неисправность цепей указательных реле; 50 — неисправность цепей указательных реле; 51 — неисправность цепей указательных реле; 52 — неисправность цепей указательных реле; 53 — неисправность цепей указательных реле; 54 — неисправность цепей указательных реле; 55 — неисправность цепей указательных реле; 56 — неисправность цепей указательных реле; 57 — неисправность цепей указательных реле; 58 — неисправность цепей указательных реле; 59 — неисправность цепей указательных реле; 60 — неисправность цепей указательных реле; 61 — неисправность цепей указательных реле; 62 — неисправность цепей указательных реле; 63 — неисправность цепей указательных реле; 64 — неисправность цепей указательных реле; 65 — неисправность цепей указательных реле; 66 — неисправность цепей указательных реле; 67 — неисправность цепей указательных реле; 68 — неисправность цепей указательных реле; 69 — неисправность цепей указательных реле; 70 — неисправность цепей указательных реле; 71 — неисправность цепей указательных реле; 72 — неисправность цепей указательных реле; 73 — неисправность цепей указательных реле; 74 — неисправность цепей указательных реле; 75 — неисправность цепей указательных реле; 76 — неисправность цепей указательных реле; 77 — неисправность цепей указательных реле; 78 — неисправность цепей указательных реле; 79 — неисправность цепей указательных реле; 80 — неисправность цепей указательных реле; 81 — неисправность цепей указательных реле; 82 — неисправность цепей указательных реле; 83 — неисправность цепей указательных реле; 84 — неисправность цепей указательных реле; 85 — неисправность цепей указательных реле; 86 — неисправность цепей указательных реле; 87 — неисправность цепей указательных реле; 88 — неисправность цепей указательных реле; 89 — неисправность цепей указательных реле; 90 — неисправность цепей указательных реле; 91 — неисправность цепей указательных реле; 92 — неисправность цепей указательных реле; 93 — неисправность цепей указательных реле; 94 — неисправность цепей указательных реле; 95 — неисправность цепей указательных реле; 96 — неисправность цепей указательных реле; 97 — неисправность цепей указательных реле; 98 — неисправность цепей указательных реле; 99 — неисправность цепей указательных реле; 100 — неисправность цепей указательных реле.

нот» на панели защиты и сигнальное табло на панели управления защищаемой ВЛ (через зажимы 226-227).

Кроме того, предусмотрена звуковая сигнализация о неисправности в цепях напряжения панели: контактами *KL7.2-AKZ2* через указательное реле *KN1* подается плюс с шинки +ШС1 на шинку 1ВШ1, запускается реле времени панели центральной сигнализации, которое через заданное время (7—9 с) увеличивает ток через *KN1*, вызывая его срабатывание, размыкание описываемой сигнальной цепи его размыкающими контактами и возврат реле времени на панели центральной сигнализации.

Предусмотрена звуковая сигнализация о неисправностях блоков питания НИ (см. рис. 9): размыкающими контактами *KL8* в комплекте *AKZ2* и *KL5* в комплекте *AK2* подается плюс с шинки +ШС1 на шинку 1ВШ1 через указательные реле *KN2*, *KN3* с действием, аналогичным вышеописанному. Этим же способом сигнализируется исчезновение оперативного напряжения на любом из комплексов панели.

Переключатель *SAC1* (см. рис. 16 и 17) используется для разделения цепей I и II комплексов на время проверки одного из них. При этом:

выводится из действия контакт *KL1.2* блока *KZ2-AKZ1* в цепи обмотки реле *KL2-AKZ2*, теперь последнее срабатывает при всяком запуске блокировки при качаниях (во избежание залипания его следует разомкнуть перемычку 31-32-X);

срабатывает реле *KL2-AK2*, оставляя ступени ТЗНП II комплекса, подключенные к блокирующему РМ, под разрешающим РМ;

плюс оперативного напряжения подводится к контакту РС III ступени (*KL1.1* блока *KZ2-AKZ1*) помимо контакта *KL7.1-AKZ2* (см. рис. 17), что может вызвать ложную работу ДЗ при неисправностях в цепях напряжения.

## 10. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СХЕМЫ

### Дистанционная защита

*Состояние готовности к действию.* При подаче оперативного напряжения на панель в комплекте *AKZ2* (см. рис. 16) срабатывает реле *KL1* через размыкающие контакты реле *KL2* (или *KL2* и *KL6*), переключая уставки дистанционных органов на I ступень. В комплекте *AKB1* через размыкающий контакт *KL3.1* срабатывают реле

*KL1*, *KL2* и становятся на самоудерживание через контакты *KA1.1* (*KV1.1*), *KL1.1* и резисторы *R1*, *R2* раньше, чем разомкнется контакт *KL3.1*. Реле *KT1* не успевает сработать через контакт *KL2.1*. Через размыкающий контакт *KT1.1* срабатывает реле *KL3*. Контактами *KL1.3*, *KL3.2* снимается плюс с оперативных цепей I—II ступеней ДЗ, контактами *KL1.4*, *KL1.6* выводятся из работы блокируемые ступени ДЗ.

Если выключатели ВЛ отключены, срабатывают реле *KL3*, *KL4* схемы ускорения и реле *KL6-AKZ2*, чем вводится в действие автоматическое ускорение заданных ступеней ДЗ и ТЗНП. Спустя 0,8—1,5 с после подачи команды на включение выключателя (выключателей) реле *KL3*, *KL4*, *KL6* возвращаются.

Дальнейшее описание работы схемы выполнено таким образом, что в каждом последующем пункте подразумевается исполнение всех операций предыдущих пунктов.

*Пуск ДЗ при внешнем КЗ* (например, при КЗ «за спиной» или при удаленном КЗ, которое не чувствуют даже РС III ступени) происходит, если в токах (напряжениях), подводимых к защите, появятся хотя бы кратковременно составляющие обратной последовательности, достаточные для пуска блокировки. В комплекте *AKB1* вздрагивает якорь реле *KA1* (*KV1*), размыкая цепь самоудерживания реле *KL1*. Последнее мгновенно возвращается, вместе с ним возвращается и реле *KL2*. Контакты *KL1.4* разрешают работать I ступени ДЗ, а контакты *KL1.6* разрешают работать реле *KL5* комплекта *AKZ2* для подготовки срабатывания блокируемой ступени ДЗ с выдержкой времени. На панелях с блокировкой типа КРБ-126 контактом *KL1.3* подается также плюс на контакты дистанционных органов. Контактom *KL1.2* шунтируется обмотка реле *KL3*, а контактом *KL2.1* подается питание на обмотку реле *KT1*. Последнее срабатывает, самоудерживается через замыкающий контакт мгновенного действия *KT1.2* и размыкающим контактом *KT1.1* подрывает цепь питания обмотки реле *KL3*. Реле *KL3* возвращается с заданной выдержкой времени (0,4—0,5 с) и контактом *KL3.1* вновь подает питание на обмотки реле *KL1*, *KL2*. Последние срабатывают, размыкая свои размыкающие контакты. Размыканием контакта *KL1.4* выводится из действия мгновенная ступень ДЗ, размыканием контакта *KL1.6* выводятся из действия блокируемые ступени ДЗ с выдержкой времени. Размыкание контакта *KL1.3* в панели с КРБ-126

не приводит к снятию плюса с контактов дистанционных органов, поскольку предварительно замыкается контакт *KL3.2* и остается замкнутым вплоть до возврата блокировки. Размыкание контакта *KL2.1* уже не играет роли, так как реле *KT1* удерживается через свой замыкающий контакт мгновенного действия. Размыкание контакта *KL1.2* дешунтирует обмотку реле *KL3*, однако это не приводит к срабатыванию последнего, поскольку контакт *KT1.1* разомкнут вплоть до возврата блокировки.

Если несимметрия тока (напряжения) сохраняется, реле *KA1(KV1)* остается в сработанном положении, реле *KL3*, зашунтированное контактом *KA1.1(KV1.1)*, не срабатывает после возврата реле *KT1*. Если несимметрия исчезла, блокировка возвращается в исходное состояние в момент шунтирования обмотки реле *KT1*. Шунтирование может осуществляться несколькими способами:

- 1) контактом *KT1.3* спустя заданное время;
- 2) контактом *KL6.4* при установленной перемычке 27-28-X (возврат при отключении выключателя);
- 3) контактом *KV1.1(KV2.1)* при установленной перемычке 22-24-AKB1 (возврат при восстановлении нормального напряжения на ВЛ).

Сравнение способов возврата блокировки дано в § 12. В некоторых случаях переключение ступеней дистанционных органов на II ступень может осуществляться от блокировки при качаниях (см. прилож. 2).

Поскольку никакие контакты РС в процессе пуска при указанных КЗ не замыкаются, никаких других действий в схеме защиты не происходит.

*Поведение ДЗ при КЗ в III зоне* (зоне ВЛ, охватываемой III ступенью) отличается от вышеописанного тем, что кроме переключения реле в комплексе *AKB1* происходит срабатывание хотя бы одного РС в комплексе *AKZ1*. Замкнувшиеся контакты *KL1.3-AKB1*, *KL3.2-AKB1* или постоянно замкнутый контакт *KV1.1-AKZ2* (в зависимости от установленного положения перемычек) подают плюс на зажим 47-AKZ2. Срабатывание реле *KL1* в блоке *KZ2* комплекта *AKZ1* контактом *KL1.2* вызывает срабатывание реле *KL2-AKZ2*, которое контактом *KL2.1* подрывает цепь питания реле *KL1-AKZ2*. Последнее через 0,1—0,15 с возвращается, переключая уставки дистанционных органов на II ступень. Поскольку рассматриваемое КЗ находится в зоне действия III ступени, реле *KL1* блока *KZ2* комплекта *AKZ2* не срабатывает и, следовательно, никаких других действий в схеме I комплекса не происходит.

Так как во II комплексе плюс к контактам РС III ступени подводится обычно через контакт *KL7.1-AKZ2*, срабатывание реле *KL1* в блоке *KZ2* комплекта *AKZ1* вызывает пуск реле времени *KT3-AK2* (см. рис. 17). Реле *KT3* с выдержкой времени замыкает свой контакт *KT3.3* и через указательное реле *KN4-AK2* и накладку *SX10* подает импульс на срабатывание выходных реле *KL3-AK2*, *KL4-AK2*. Реле *KL3* контактами *KL3.3-AK2* и *KL3.4-AK2* подает импульс на отключение выключателей. При исправности отключающих цепей выпадают флажки указательных реле *KN4-AK2*, *KN5-AK2*. Наличие тока по ВЛ (в сработанном положении находятся реле *KA1*, *KA2*) и сработанное состояние выходных реле защиты вызывают пуск УРОВ. Если выключатель отключился, срабатывают реле ускорения *KL3*, *KL4*, *KL6-AKZ2*, возвращаются РС комплекта *AKZ1*, реле *KL2-AKZ2*, *KT3-AK2*, *KL3-AK2*, *KL4-AK2*, срабатывает реле *KL1-AKZ2*.

В том случае, когда ускоряемой после включения выключателя ступенью является третья (установлена перемычка 179-177-X) и КЗ не устранилось, при включении выключателя все повторяется вновь. При этом срабатывание реле времени *KT3-AK2* своим замыкающим контактом мгновенного действия *KT3.1* вызывает срабатывание выходных реле *KL3-AK2*, *KL4-AK2* через замкнутый контакт *KL4.4* и указательное реле *KN6-AK2*. При срабатывании выходного реле *KL4-AK2* контактом *KL4.5-AK2* дешунтируется обмотка реле *KN6-AK2* и выпадает его флажок (ускорение защит II комплекса после АПВ).

При обрыве цепей напряжения возможно неправильное действие РС и, следовательно, защиты от токов нагрузки. Если плюс подается через контакт *KL7.1-AKZ2*, то реле *KL7*, срабатывая при неисправностях в цепях напряжения, снимает этот плюс и ложного действия защиты не происходит.

*Поведение ДЗ при КЗ в I зоне* удобно описать вслед за поведением защиты при КЗ в III зоне, так как в рассматриваемом случае происходят все переключения реле, описанные выше, и, кроме того, срабатывает хотя бы один из дистанционных органов, замыкая контакт реле *KL1* блока *KZ2* в комплексе *AKZ2*. Следует рассмотреть два варианта.

**Первый вариант.** Первая ступень выполнена без выдержки времени (перемычка 30-32-AKZ2 в цепи обмотки реле *KL3-AKZ2* снята). От сработавшего РС (контакт *KL1.1* блока *KZ2*) плюс через удерживающую об-

мотку *KL1-AKZ2*, замыкающий контакт *KL1.1* этого реле, замкнутый на время 0,1—0,15 с, размыкающий контакт *KL1.4-AKB1*, замкнутый на время 0,4—0,5 с, указательное реле *KN1-AKZ2* (I зона) подается на выходное реле *KL4-AKZ2*, которое, срабатывая, вызывает срабатывание выходного реле *KL1*. Выходное реле *KL4-AKZ2* (контактами *KL4.5* и *KL4.6*) или *KL1* (контактами *KL1.2* и *KL1.3*) через указательные реле *KN6-AKZ2*, *KN7-AKZ2* производит отключение выключателей, а контактами *KL4.4-AKZ2* или *KL1.4* производит пуск УРОВ. Ток, протекающий при этом через удерживающую обмотку реле *KL1-AKZ2*, удерживает последнее в сработанном состоянии, а дистанционные органы — на уставках I ступени. Если отключение затягивается, например при отказе выключателя, чтобы блокировка при качаниях не разорвала своим контактом *KL1.4-AKB1* цепь выходного реле, предусмотрено шунтирование этого контакта контактом выходного реле *KL4.1-AKZ2*. Во избежание излишнего выпадения флажка указательного реле *KN1-AKZ2* до срабатывания выходного реле обмотка *KN1* зашунтирована контактами выходных реле *KL1*, *KL4-AKZ2*.

Второй вариант. Первая ступень выполняется с выдержкой времени (установлена перемычка *30-32-AKZ2*). Срабатывание одного из дистанционных органов вызывает срабатывание *KL3-AKZ2*, при этом удерживание *KL1-AKZ2* в сработанном состоянии обеспечивается его удерживающей обмоткой током через реле *KL3*. Цепь мгновенного отключения разрывается снятием перемычек *21-23-25-AKZ2* и *43-44-X*. Реле *KL3-AKZ2* контактом *KL3.2* через контакт *KL1.6-AKB1* вызывает срабатывание реле *KL5-AKZ2* и через перемычку *15-17-AKZ2* — срабатывание реле *KT1-AKZ2*. Реле *KL5* самоудерживается контактом *KL5.1*, запоминая факт пуска блокировки, т. е. факт возникновения КЗ. Если I ступень не блокируется при качаниях, достаточно установить перемычки *15-17-19-AKZ2*. Контактными *KL5.2-AKZ2* и *KL1.2-AKZ2* через установленную перемычку *33-35 AKZ2* подготавливается цепь на выходное реле *KL4-AKZ2* через проскальзывающий контакт *KT1.1-AKZ2* и указательное реле *KN2-AKZ2*. Контакт *KT1.1*, замыкаясь, вызывает срабатывание выходного реле *KL4-AKZ2*, которое самоудерживается через резистор *R41-AKZ2* контактом *KL4.2-AKZ2* вплоть до возврата РС, *KL3*, *KL5* в комплекте *AKZ2*, т. е. до отключения выключателей или до срабатывания УРОВ. Чтобы преждевременный возврат блокировки при качаниях не сорвал отключения сня-

тием плюса с РС, контакты блокировки шунтируются контактами *KL3.1-AKZ2* и *KL2.2-AKZ2*. В случае возникновения качаний блокировка не запускается, если качания, конечно, не явились следствием КЗ, плюс на дистанционные органы не подается и защита не работает.

*Поведение ДЗ при КЗ во II зоне* рассматривается в двух вариантах:

II ступень с двумя выдержками времени, причем срабатывание с меньшей выдержкой времени блокируется при качаниях, а срабатывание с большей выдержкой времени не блокируется (I ступень при этом должна быть мгновенной);

II ступень с одной выдержкой времени, блокируется или не блокируется при качаниях.

В обоих вариантах КЗ вызывает пуск блокировки при качаниях с подачей плюса на контакты РС, срабатывание РС в комплекте *AKZ1* и реле *KL2-AKZ2*. Последнее контактом *KL2.1* разрывает цепь обмотки *KL1-AKZ2*. Поскольку КЗ происходит во II зоне, дистанционные органы, настроенные на уставки I ступени, не работают, реле *KL1* ничем не удерживается и возвращается спустя 0,1—0,15 с, переключая дистанционные органы на уставки II ступени. Теперь последние срабатывают, но цепь на отключение через замыкающий контакт *KL1.1* уже разорвана, взамен образована цепь через размыкающий контакт *KL1.1* на срабатывание *KL3-AKZ2* (перемычка *30-32-AKZ2* не установлена). Реле *KL3* срабатывает, контактом *KL3.2* запускает реле *KT1-AKZ2* через перемычку *17-19-AKZ2* и реле *KL5-AKZ2* через еще замкнутый контакт *KL1.6-AKB1* (перемычка *15-17-AKZ2* не установлена). Как описано выше, реле *KL5* самоудерживается и контактом *KL5.2* подготавливает цепь на срабатывание выходного реле *KL4-AKZ2*. В первом варианте при замыкании проскальзывающего контакта *KT1.1* выходное реле *KL4-AKZ2* срабатывает по цепи *KL5.2* — установленная перемычка *35-37-AKZ2* (или накладка *SX1*, если ступень с этим временем вводится оперативно) — *KT1.1-KH2-KL4* и самоудерживается по цепи *R41-KL4.2*, когда контакт *KT1.1* разомкнется. Если блокировка при качаниях была запущена прежде, чем сработали РС в комплекте *AKZ1*, например при возникновении однофазного КЗ, предшествующего междуфазному, цепь на срабатывание *KL5-AKZ2* оказывается разомкнутой, реле времени дорабатывает до замыкания упорного контакта *KT1.2*, чем создается цепь на срабатывание выходного реле *KL4* через реле *KN3-AKZ2* (II зо-

на). Во втором варианте (II ступень с одной выдержкой времени) проскальзывающий контакт *KT11* не используется (перемычка *35-37-AKZ2* и накладка *SX1* не установлены), реле времени включается либо через перемычку *17-19-AKZ2* (без блокировки), либо через контакт *KL1.6-AKB1* и перемычку *15-17-AKZ2* (с блокировкой). В этом последнем случае при переходе КЗ из однофазного в междуфазное или при неисправности блокировки при качаниях отключение ВЛ осуществляется III ступенью ДЗ.

После отключения выключателей срабатывают реле ускорения *KL3*, *KL4* и *KL6-AKZ2*, контактом *KL6.3* готовится цепь ускоренного отключения от ДЗ и если установлена перемычка *61-63-AKZ2*, то при замыкании контакта *KL3.3-AKZ2* происходит срабатывание *KL4-AKZ2*. Следует заметить, что при включении ВЛ на КЗ во II зоне ускорение после АПВ затягивается на время возврата реле *KL1-AKZ2*. Можно исключить это время, для чего предусмотрен контакт *KL6.1-AKZ2* в цепи обмотки *KL1*, разрывающий эту цепь до включения выключателя (если сняты перемычки *24-26-AKZ2* и *37-38-X* и установлена перемычка *22-24-AKZ2*) и, следовательно, переключающий дистанционные органы на уставки II ступени до включения на КЗ. Однако целесообразность использования этого контакта невелика (см. § 12).

**Токовая отсечка от многофазных КЗ и токовая защита нулевой последовательности.** В состоянии готовности к действию все реле находятся в обесточенном положении. Логическая часть приходит в действие только при срабатывании измерительных органов (реле тока и мощности). Работа логической схемы достаточно проста и требует пояснения лишь в отдельных деталях.

1 Токовая отсечка может быть селективной и выполняться постоянно введенной в действие (установлена перемычка *8-10-AK1*), может быть неселективной и вводиться в действие либо оперативно установкой накладки *SX9* в положение 1-2, либо при включении выключателей контактом *KL4.5* схемы ускорения установкой накладки *SX9* в положение 2-3 (перемычка *8-10-AK1* снята в обоих случаях).

2. Направленность IV ступени ТЗНП I комплекса выполняется с помощью выносного реле *KW1*. Переключением полярности обмоток *KW1* (см. рис. 16) в цепях тока или напряжения последнее может работать как разрешающее или как блокирующее (см. § 6). Направленность

защиты с разрешающим РМ обеспечивается установкой перемычки *53-54-X*, а направленность защиты с блокирующим РМ — перемычки *54-55-X*. В последнем случае при КЗ на ВЛ реле *KW1* и его повторитель *KL2* не срабатывают, контакт *KL2.1* остается замкнутым и защита срабатывает. При КЗ «за спиной» реле *KW1* и *KL2* срабатывают, контактом *KL2.1* блокируется действие защиты. При необходимости блокирующее РМ может использоваться во II комплексе. Для этого реле *KL2-AK2* установкой перемычки *61-63-AK2* подключается к контакту *KL2.3* первого комплекса.

3 Направленность I—III ступеней ТЗНП может вводиться при включении выключателя контактом реле ускорения *KL4.3* или на случай неполнофазного отключения ВЛ контактом *KL4.1-AK2*.

4. II и III ступени ТЗНП могут ускоряться при включении выключателей использованием контактов *KT1.1-AK2* или *KT2.1-AK2* по цепи через контакт *KL4.4* реле ускорения до мгновенного действия (установлена перемычка *52-54-AK2*) или до заданного времени с помощью реле *KT4-AK2* (установлена перемычка *50-52-AK2*).

5 Ускорение одной из ступеней ТЗНП на параллельных ВЛ при направлении мощности по защищаемой ВЛ от шин в линию, а по параллельной ВЛ от линии к шинам (поперечная ТЗНП) достигается включением между жимами *169-171-X* контакта *KL2.1-AK2'* (повторителя блокирующего РМ) из панели защиты параллельной ВЛ. При КЗ на защищаемой ВЛ вблизи шин рассматриваемой ПС срабатывают блокирующее РМ параллельной ВЛ и его повторители *KL2'* и *KL2-AK2'*, контакт *KL2.1-AK2'* замыкается, III ступень работает на выходное реле через замыкающий контакт мгновенного действия *KT2.1-AK2*. На противоположном конце защищаемой ВЛ аналогичная схема не работает, поскольку по обеим ВЛ мощность направлена в одну сторону. После ускоренного отключения поврежденной ВЛ со стороны рассматриваемой ПС направление мощности на параллельной ВЛ меняется, создаются условия для ускоренного отключения поврежденной ВЛ с противоположной стороны.

Если на рассматриваемой ПС защиты питаются от выносных ТТ (выключатель расположен между шинами и ТТ), при КЗ между выключателем и ТТ одной из параллельных ВЛ и отключении выключателя, например защитой шин, создаются условия для ускоренного отключения неповрежденной ВЛ, поскольку по ней мощность на-

правлена от шин к месту КЗ через шины противоположной ПС, а по поврежденной — из линии к месту КЗ. Во избежание этого между зажимами 171-172-Х включается замыкающий контакт реле положения «Включено» ( $KQC1'$ ) выключателя параллельной ВЛ, разрывающий цепь ускорения при отключении выключателя. При ремонте выключателя, когда положение реле  $KQC1'$  может не отражать режима работы параллельной ВЛ, цепь ускорения разрывается накладкой  $SX6$ . Аналогичная цепь для второго выключателя ( $KQC2'$ ,  $SX7$ ) предусмотрена на случай подключения параллельной ВЛ к шинам через два выключателя.

Если параллельные ВЛ подключены к разным системам шин, при отключении ШСВ также создаются условия для ускоренного отключения неповрежденной ВЛ при КЗ на системе шин, к которой подключена другая параллельная ВЛ, или в примыкающей к ней сети. Во избежание этого между зажимами 175-174-Х включается замыкающий контакт реле положения «Включено» ( $KQC3$ ) ШСВ ПС.

#### 11. КОНСТРУКТИВНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ

Аппаратура защиты (рис. 20) смонтирована на сварной панели (первоначальное исполнение) или на панели

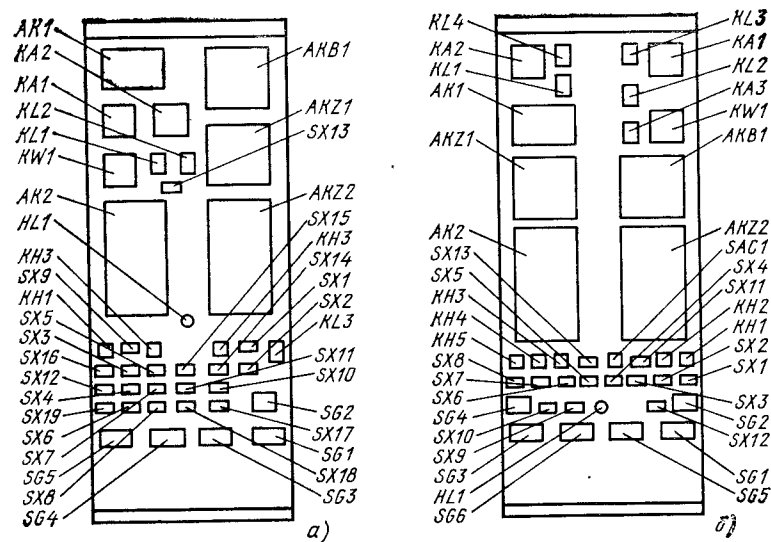


Рис. 20. Схема компоновки панелей:  
а — ЭПЗ-1636п; б — ЭПЗ-1636м

каркасно-реечного типа (современное исполнение). Для подключения кабельных связей на обеих боковинах панели предусмотрены вертикальные ряды зажимов.

В панелях ЭПЗ-1636п на левую боковину выведены цепи оперативного напряжения ДЗ, цепи, общие для всех защит панели (в том числе цепи отключения, УРОВ, цепи сигнализации ДЗ), на правую боковину — цепи оперативного напряжения токовой отсечки от многофазных КЗ и ТЗНП, а также цепи переменного тока, переменного напряжения и сигнализации, общие для всех защит панели.

В панелях ЭПЗ-1636м на левую боковину выведены цепи переменного тока и оперативные цепи I комплекса, цепи, общие для всех защит панели (в том числе цепи отключения, УРОВ), на правую боковину панели — цепи переменного тока и оперативные цепи II комплекса, цепи переменного напряжения и сигнализации, общие для всех защит панели.

В обеих модификациях в середине панели с задней стороны закреплен переходной ряд зажимов, через который часть цепей, общих для всех защит панели, переходит с левой боковины на правую.

#### 12. ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА РЕЖИМНЫХ ПЕРЕМЫЧЕК

В панели ЭПЗ-1636 имеется множество переключателей как на выводах комплектов, так и на рядах зажимов. Обеспечивая универсальность схемы и удобство проверки, переключатели снижают надежность защиты, так как увеличивают количество контактных соединений, ухудшают наглядность, порождают возможность ошибочного создания ложных обходных цепей. Поэтому на правильность установки переключателей должно быть обращено самое серьезное внимание. Таблицы переключателей помещены в прилож. 2, которое делится на две части: переключатели, определяемые схемой ПС и особенностями установки панели, известными до проведения расчета уставок (переключатели, не задаваемые ЦС РЗА), и переключатели, задаваемые ЦС РЗА (определяемые при расчете уставок).

**Переключатели, не задаваемые ЦС РЗА.** В зависимости от первичной схемы ПС возможны три варианта включения защиты:

- 1) защиты одной ВЛ действуют на один выключатель (например, схема ПС с двумя системами сборных шин, с одним выключателем на цепь);
- 2) защиты двух ВЛ действуют на один выключатель

(например, схема мостика с выключателем в перемычке);

3) защиты одной ВЛ действуют на два выключателя (например, схема четырехугольника или полуторная).

Каждый из этих вариантов определяет способ подключения отключающих цепей. В первом варианте отключающие цепи и цепи реле ускорения объединяются с оперативными цепями всей защиты или с оперативными цепями одного из комплексов. В остальных вариантах цепи отключения подключаются в схему управления выключателя (выключателей), а оперативные цепи и цепи ускорения защиты подключены через отдельный автоматический выключатель.

В зависимости от количества установленных на ВЛ защит возможны два варианта:

на ВЛ установлены две защиты: основная (диффазная или поперечная) и резервная ЭПЗ-1636;

на ВЛ установлена единственная защита типа ЭПЗ-1636.

Каждый из этих вариантов определяет способ подключения цепей переменного тока и оперативных цепей защиты. В первом варианте оба комплекса объединяются по оперативным и токовым цепям, поскольку для резервной защиты отводится одна группа ТТ и один автоматический выключатель. Во втором варианте целесообразно разделить защиту на два комплекса и подключить их на разные группы ТТ и на разные автоматические выключатели, как описано в § 7.

Сочетание вариантов, определяемых схемой ПС, и вариантов, определяемых количеством установленных на ВЛ защит (рис. 21), дает шесть вариантов включения панели и шесть вариантов установки перемычек (см. табл. П1 и П2). Более сложные варианты: установка суммарной защиты на параллельных ВЛ, подключение последних ступеней ДЗ и ТЗНП на сумму токов параллельных ВЛ, сочетание ЭПЗ-1636 с ВЧБ из-за недостатка места — здесь не рассматриваются. Эти варианты прорабатываются по заводским и проектным материалам в каждом конкретном случае.

Кроме перемычек, определяемых вышеприведенными вариантами, имеется ряд других перемычек, установка которых не зависит от выбора уставок.

1. В ДЗ может быть использовано на отключение быстродействующее реле  $KL4-AKZ2$  либо выносное реле  $KL1$  с замедлением на срабатывание. В ТЗНП и токовой отсечке от многофазных КЗ также предусмотрена возможность выполнять выходные реле с замедлением на сраба-

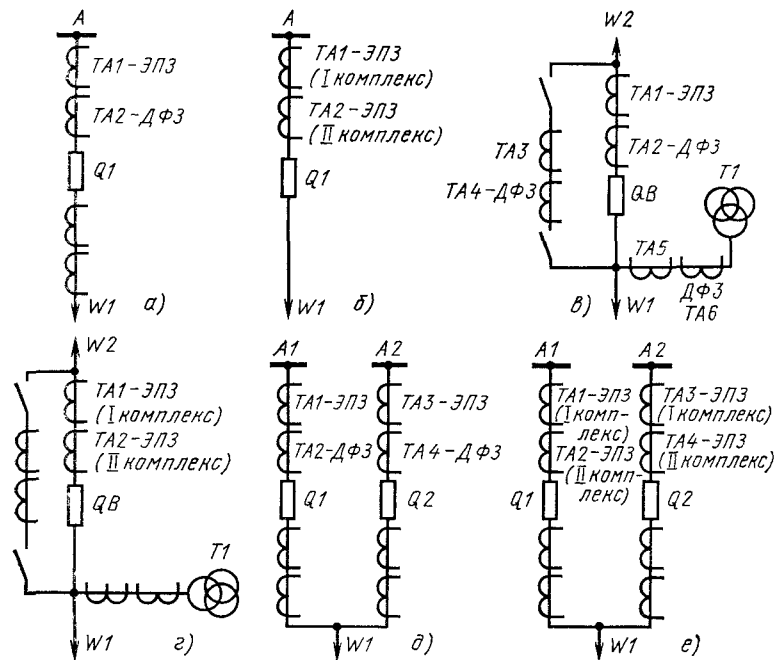


Рис 21 Варианты размещения защит по трансформаторам тока в зависимости от первичной схемы ПС и от типов используемых защит

тывание. Имеется в виду выполнять замедление в тех случаях, когда ВЛ не защищена грозотросом, а на подходах к ПС установлены трубчатые разрядники, срабатывание которых не должно вызывать срабатывания защиты. Вместе с тем широко распространенная диффазная защита не имеет замедления при срабатывании, следовательно, на установленной рядом резервной защите тоже не имеет смысла вводить замедление. Очевидно, ВЛ, для которых ЭПЗ-1636 является единственной защитой, ничем не отличаются в этом плане от ВЛ, имеющих по две защиты, следовательно, и для них замедление не имеет смысла. Поэтому целесообразно разомкнуть дополнительные обмотки выходных реле  $KL1$ ,  $KL1-AK1$ ,  $KL3-AK2$ . Для ДЗ можно было бы перейти на использование реле  $KL4-AKZ2$ , однако в случае использования панели ЭПЗ-1636м при КЗ «за спиной» в момент переключения уставок с I ступени на II может наблюдаться кратковременное срабатывание



РС, поэтому переходить на быстродействующее реле *KL4-AKZ2* представляется опасным.

2. Первая ступень ДЗ без выдержки времени, как правило, блокируемая при качаниях, вводится в действие контактами блокировки на время 0,4—0,5 с. Если за это время выключатель не отключил ВЛ, контакты блокировки размыкаются и выходное реле *KL4-AKZ2* должно вернуться, сорвав тем самым действие УРОВ, если оно имеется на ПС. Во избежание этого при наличии на ПС УРОВ в панели устанавливается перемычка *21-23-AKZ2*, обеспечивающая шунтирование контактов блокировки контактами сработавшего выходного реле. Перемычка не вредит и при отсутствии УРОВ на ПС.

3. Известно, что при неполнофазном отключении КЗ на землю РМ в схеме ТЗНП может изменить положение своих контактов на обратное, что может привести к срыву пуска УРОВ направленной ступени ТЗНП. Во избежание этого контакты *KW1-AK2* разрешающего РМ шунтируются контактами *KL4.1-AK2* выходного реле, поскольку после срабатывания последней направленность защиты уже не требуется. Указанная мера обязательна при наличии УРОВ в сочетании с воздушными выключателями или масляными выключателями с пофазными приводами.

4. При неполнофазном включении ВЛ на устойчивое КЗ на землю РМ может отказать, если ТН установлены на линии, и сорвать действие направленной ступени ТЗНП. Во избежание этого параллельно контактам *KW1-AK2* разрешающего РМ включается замыкающий контакт *KL4.3* реле ускорения. При этом допускается отсутствие направленности ТЗНП при включении ВЛ вручную или от АПВ. Указанная мера обязательна при установке ТН на линии и нежелательна в других случаях, так как существует возможность длительного залипания реле ускорения.

5. При использовании в защите блокировки при качаниях типа КРБ-125 необходимо предотвратить возможность ложного срабатывания ДЗ в случае переключения цепей напряжения защиты с одного ТН на другой, поскольку в момент исчезновения напряжения может сработать не только РС, но и блокировка, а это может привести к ложному действию мгновенной ступени ДЗ от тока нагрузки, если он велик. Во избежание такой неприятности между зажимами 28-35 панели врезаются либо контакты реле-повторителей положения разъединителей ВЛ, либо контакты переключателя цепей напряжения.

Тем самым при переключении цепей напряжения с ДЗ кратковременно снимается оперативное напряжение. При использовании в защите токовой блокировки (типа КРБ-126) возможность ложного действия защиты отсутствует, между зажимами 28-35 устанавливается перемычка.

**Перемычки, определяемые ЦС РЗА,** задаются в виде перечня режимов, на основании которого персонал по прилагаемой таблице устанавливает требуемые перемычки. Некоторые, не вполне очевидные принципы выбора режимов, их достоинства и недостатки полезно знать персоналу, эксплуатирующему защиту.

1. Первая ступень ДЗ с выдержкой времени выполняется, как правило, в тех случаях, когда зона действия мгновенной ступени получается слишком короткой. Недостатком введения выдержки времени является потеря «памяти» при близких трехфазных КЗ (включение ВЛ на короткую). Токовая отсечка на столь коротких ВЛ тоже, как правило, не получается, поэтому часто приходится применять специальные меры, например запоминание факта срабатывания РС с помощью дополнительных реле тока, напряжения и т. п.

2. Выполнение II ступени с двумя выдержками времени (если, конечно, I ступень выполнена без выдержки времени) полезно на тот случай, если междуфазному КЗ предшествует однофазное. При этом блокировка при качаниях запускается прежде, чем срабатывают РС, и блокируемые ступени к моменту их срабатывания оказываются выведенными из действия. В этой ситуации неблокируемая II ступень со второй выдержкой времени срабатывает все же быстрее, чем III.

3. Целесообразно блокировать ступени, имеющие выдержки времени не более 1,5 с. Ступени с временами больше указанного оказываются автоматически отстроены от качаний, так как качания с длительным периодом маловероятны. Вместе с тем, как говорилось выше, надежность на срабатывание блокируемых ступеней защиты ниже, чем неблокируемых, как вследствие возможности перехода однофазного КЗ в междуфазное, так и вследствие отказа блокировки. Поэтому наличие неблокируемых ступеней весьма полезно.

4. Панель ЭПЗ-1636п с блокировкой типа КРБ-126 предусматривает два основных варианта подведения плюса оперативного напряжения к контактам РС I—III ступеней: через контакты блокировки при качаниях и через

контакты блокировки при неисправностях цепей напряжения Оба варианта имеют достоинства и недостатки

Подведение плюса по первому варианту не позволяет неблокируемым ступеням ДЗ сработать ложно при неисправностях в цепях напряжения, поскольку для этого необходим пуск блокировки при качаниях вследствие КЗ в сети Однако при отказе блокировки отказывает ДЗ в целом Кроме того, обеспечить чувствительность блокировки к КЗ в конце III зоны не всегда удастся Этот недостаток, правда, можно несколько компенсировать, если в разветвленной сети с большим количеством параллельных связей допустимо не считаться с возможностью возникновения качаний и выставлять максимальную чувствительность блокировки при качаниях Наконец, возможен срыв отключения при переходе КЗ из однофазного в многофазное непосредственно перед возвратом блокировки при качаниях

Второй вариант не требует высокой чувствительности блокировки при качаниях, ограничивая ее значением  $I_2$  в конце блокируемой ступени Однако при близких КЗ вследствие большого потребления цепей напряжения, подключенных к схеме разомкнутого треугольника, и большого падения напряжения в соединительном кабеле напряжение  $3U_0$  на входе блокировки при неисправностях в цепях напряжения может оказаться ниже, чем на выходе ТН При этом может возникнуть повышенный небаланс на выходе блокировки при неисправностях в цепях напряжения, последняя сработает и, сняв плюс с контактов РС, сорвет отключение С другой стороны, при ошибочном отключении ТН разъединителем до перевода цепи защиты на резервный ТН эта блокировка не препятствует ложному срабатыванию защиты

Поэтому обычно при обеспечении достаточной чувствительности блокировки при качаниях используется первый вариант, если чувствительности недостаточно, плюс к РС подается через параллельно включенные контакты обеих блокировок

При использовании блокировки при качаниях типа КРБ-125, которая по принципу действия может сработать при неисправностях в цепях напряжения, плюс подводится через контакты блокировки при неисправностях в цепях напряжения При этом приходится мириться с возможным срабатыванием последней при близких КЗ

Схема панели ЭПЗ-1636м в этом отношении несколько отличается. Заводской схемой предусмотрено подведение

плюса к РС I-II ступеней, как и в панели ЭПЗ-1636п, а к III ступени — отдельной цепью во втором комплексе через контакты одной из блокировок (правда, без шунтирования контактами реле *KL2-AKZ2* и *KL3-AKZ2*, которое тем не менее необходимо при использовании контактов блокировки при качаниях) В панелях ЭПЗ-1636м повышается возможность неправильных действий ДЗ вследствие возникновения неисправностей полупроводниковых НИ, вызывающих, как правило, устойчивое срабатывание их выходных реле Поэтому в защитах, используемых в качестве резервных, если обеспечивается чувствительность блокировки при качаниях в конце III зоны, следует подавать плюс к контактам РС I—III ступеней через контакты блокировки при качаниях, для чего необходимо выполнить нижеописанную реконструкцию При недостаточной чувствительности блокировки или при раздельном использовании двух комплексов плюс к РС III ступени приходится подводить через контакты блокировки при неисправностях в цепях напряжения В этом случае вероятность ложного действия ДЗ при неисправностях НИ и при отключении ТН вручную сохраняется

5 Переключение дистанционных органов с уставок I ступени на уставки II ступени может выполняться несколькими способами, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки

Переключение от РС III ступени является наиболее употребительным способом для трехступенчатой защиты В панели ЭПЗ-1636м этот способ имеет тот недостаток, что РС III ступени находится во втором комплексе, так что отказ этого комплекса (например, из-за отсутствия оперативного напряжения) приводит к отказу II ступени ДЗ в I комплексе, т. е. снижается надежность ближнего резервирования Принципиально возможно переключение дистанционных органов от контактов блокировки при качаниях Этот способ оправдан в двухступенчатых защитах, приемлем на время проверки II комплекса Недостатком его является необходимость выбора увеличенных ступеней селективности по времени между II ступенью рассматриваемой защиты и I ступенью защиты предыдущего участка, так как блокировка при качаниях может сработать от предшествующего однофазного КЗ и переключить уставки дистанционных органов на II ступень до возникновения междофазного КЗ, в результате чего из ступени селективности вычитается время переключения

уставок (0,1—0,15 с). Такое переключение используется при сочетании ЭПЗ-1636 с ВЧБ.

В дополнение к переключению уставок дистанционных органов от РС III ступени в панелях предусмотрено предварительное переключение дистанционных органов при включении выключателя на уставки II ступени с помощью размыкающего контакта *KL6.1* реле ускорения комплекта *AKZ2*. Это уменьшает время действия ускоряемой после АПВ защиты при КЗ на 15% ВЛ, примыкающих к противоположному концу (85% ВЛ защищено I ступенью), на время возврата реле *KL1* (0,1—0,15 с) и вместе с тем снижает селективность и быстрдействие защиты: при потере цепи в контакте *KL6.1* защита оказывается переключенной на уставки II ступени, а I ступень выводится из действия.

6. Возврат блокировки при качаниях может осуществляться несколькими способами (см. § 10), из которых наиболее употребителен возврат с заданной выдержкой времени. Время возврата при этом выбирается большим суммы времени срабатывания защиты, хорошо чувствующей КЗ в конце защищаемой ВЛ, времени АПВ и времени действия ускоренной ступени защиты. Цель такого выбора — обеспечить подведение плюса к контактам РС вплоть до срабатывания ускоренной ступени защиты в цикле неуспешного АПВ. Недостатком этого способа является возможность отказа блокируемых ступеней защиты, если междуфазному КЗ в блокируемой зоне предшествовало однофазное КЗ, запустившее блокировку. Однако этот отказ не приводит к неселективному действию защит, так как блокировка защиты, стоящей ближе к месту КЗ, запустится тоже и тоже выведет из действия свои блокируемые ступени.

Возврат блокировки при отключении выключателя опасен тем, что в цикле неуспешного АПВ может не произойти повторного запуска блокировки при трехфазном КЗ (например, включение на короткую). Следствием является полный отказ ДЗ. Поэтому такой способ имеет ограниченное применение.

Возврат блокировки по напряжению при трехфазных КЗ малочувствителен: блокировка возвращается при сравнительно близких КЗ. Поэтому применение этого способа также ограничено.

7. Использование в ТЗНП блокирующего РМ имеет свои особенности. Во-первых, очевидно, ступень защиты без выдержки времени нельзя выполнять с блокирующим

РМ: при КЗ «за спиной» РМ может не успеть сработать и не успеть заблокировать эту ступень. Во-вторых, ступени с блокирующим РМ могут оставаться и под разрешающим РМ, которое в пределах своей чувствительности дублирует работу блокирующего РМ и его повторителя.

## Глава вторая

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

### 13. НОРМАТИВНЫЙ ОБЪЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Виды и объем планового технического обслуживания (ТО) рассматриваемых панелей определены в [14]. Результаты ТО заносятся в протокол установленной в соответствии с [15] формы. Подготовка рабочего места и допуск к работе осуществляются в соответствии с [16]. Примерный комплект инструмента и измерительных приборов приведен в прилож. 5.

Должны быть выполнены все реконструкции, требуемые директивными материалами, в частности:

резервные размыкающие контакты *KL1.7-AKB1* и *KL3.3-AKB1*, соединенные в параллель (см. рис. 17), используются для сигнализации исчезновения постоянного напряжения на панели или для сигнализации неисправности блокировки при качаниях [17]; на панелях ЭПЗ-1636м такая реконструкция выполняется только для решения второй задачи, так как об исчезновении напряжения на любом из комплексов сигнализирует реле контроля блоков питания *KL8-AKZ2* и *KL5-AK2*;

реконструируется КРБ-12 [10, с. 78];

в соответствии с указанием ЦДУ ЕЭС СССР в панелях старого типа параллельно обмоткам реле времени и реле ускорения для повышения надежности вместо одного устанавливаются по два диода, включенных последовательно.

Реле блоков питания *KL8-AKZ2* и *KL5-AK2* (см. рис. 9) имеют низкий коэффициент возврата. Поэтому в соответствии с [19] последовательно с обмотками реле должны быть включены два стабилитрона Д814В или Д814Г, а резисторы *R30-AKZ2* и *R9-AK2* подбираются в пределах 1—1,5 кОм.

На панелях выпуска 1980—1983 гг. необходимо подключить защитные диоды *VD6, VD7* к входу НИ непосредственно на плате НИ.

В связи с тем что полупроводниковые НИ могут выходить из строя, причем так, что выходное реле НИ оказывается в сработанном состоянии, необходимо выполнить сигнализацию положения этих реле с использованием контактов *KL1.1* блока *KZ2* комплекта *AKZ1* и *KL1.2* блока *KZ2* комплекта *AKZ2*. Это возможно, если имеют место следующие условия:

упомянутые контакты не используются в других схемах (например, ВЧБ);

панель используется как один комплекс (в качестве резервной);

обеспечивается чувствительность блокировки при качаниях при КЗ в конце зоны действия III ступени;

не используются контакты *KL1.8*, *KL3.4-AKB1* в других схемах.

Для этой цели пуск реле времени *KT3-AK2* III ступени ДЗ осуществляется контактом *KL1.2* блока *KZ2* комплекта *AKZ1*, а контакт *KL1.1* этого блока освобождается. Устанавливается перемычка *162-163-X*, и снимаются перемычки *160-161-162-X*, *163-164-X* (см. рис. 16 и 17). На рис. 17 указанная реконструкция выделена: снимаемые цепи отмечены крестиками, монтируемые — точками. Свободные контакты выходных реле НИ подключаются через замыкающие контакты *KL1.8-AKB1* и *KL3.4-AKB1* в цепь обмотки реле *KL7-AKZ2* (сняты перемычки *68-69-X*, *165-92-X*, сняты провода *160-X-8-AKZ1-31-AK2*, установлены перемычки *28-83-X*, *28-AKB1-62-AKZ2-8-AKZ1*, *64-36-AKZ2*, *160-X-31-AK2*, использованы установленные перемычки *164-165-70-71-X*). При этом допустимо включение блока питания НИ (*UG2*) помимо контакта *KL7.1-AKZ2*.

Рекомендуется для сигнализации о полном исчезновении переменного напряжения с панели подключить параллельно замыкающему контакту *KL7.2* комплекта *AKZ2* (см. рис. 19) размыкающий контакт обычно не используемого реле *KV1* (КРБ-126) и *KV2* (КРБ-125) комплекта *AKB1* (см. § 5).

Внутренний осмотр и регулировку аппаратуры следует проводить в соответствии с [12, 19—23]. Для предотвращения выхода из строя НИ рекомендуется перед снятием платы с панели предварительно отключить цепи оперативного напряжения, переменного тока и напряжения, не помещать платы НИ вблизи токоведущих частей. Следует проверить качество паек печатных плат. При пайке микросхем необходимо использовать паяльник на напряжение

не более 36 В мощностью до 60 Вт. Время касания паяльника к выводам микросхемы необходимо ограничить до 1—2 с. Особое внимание следует обратить на обеспечение «мостящей» регулировки контактов реле *KL1-AKZ2* в цепях переключения уставок РС. Вместе с тем «мостящая» регулировка контакта *KL1.1* в логической схеме ДЗ недопустима: при возврате реле замыкающий контакт должен размыкаться раньше, чем размыкаются замыкающие контакты в цепях переключения уставок.

При разборке комплектов *AKZ1*, *AKZ2* целесообразно промаркировать все снимаемые блоки РС, съемные платы и МЭР. Маркировка поможет установить все съемные элементы на свое место, чтобы случайное изменение характеристик узла не вызвало сомнений у персонала.

В процессе механической ревизии удобно выполнить при наладке ряд операций поэлементной проверки, изложенной в следующем параграфе.

#### 4. ПОЭЛЕМЕНТНАЯ ПРОВЕРКА ОТДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ

Целесообразность выполнения такой проверки до начала снятия основных электрических характеристик объясняется, с одной стороны, тем, что облегчены доступ к проверяемым элементам и их регулировке, с другой стороны, для проверки этих элементов не требуется подавать на панель токи и напряжения.

Проверка фильтров высших гармоник производится для определения резонансной частоты настройки. При отклонении ее более чем на  $\pm 5\%$  от заданной следует произвести регулировку фильтра с помощью изменения воздушного зазора магнитопровода дросселя. При проверке подается напряжение на исключенный из схемы фильтр от генератора звуковых частот с выходной мощностью не менее 2 Вт. Частота настройки фильтра определяется по максимуму тока через фильтр-шунт и по минимуму тока через фильтр-пробку. Методика проверки сведена в табл. 2.

Проверка поляризованных реле включает в себя проверку регулировки, изоляции, токов срабатывания и возврата.

Межконтактный зазор должен составлять 0,4—0,5 мм, что проверяется щупом или, в крайнем случае, сложенным вчетверо лезвием безопасной бритвы. Должен просматриваться зазор между хвостовиком якоря и правой полюсной накладкой. При установке якоря в правое положение дол-

Таблица 2

Комплект	Обозначение фильтра	Заданная частота, Гц	Условия	Точки подключения генератора	Напряжение, В
АКВ1 (КРБ-125) (см. рис. 10, а)	L1—C4 пробка	250	Снята накладка переключателя отводов трансформатора <i>TLI</i>	АКВ1—зажимы 29-31	15—30
АКВ1 (КРБ-126) (см. рис. 11, а)	L1—C4 шунт	250	Снята накладка <i>ХВ1 (б-в)</i>	Зажим <i>в</i> <i>ХВ1</i> —вывод <i>2С4</i>	5—10
	L2—C6 шунт	100	Снята накладка <i>ХВ3</i>	Зажим <i>б</i> <i>ХВ4</i> —зажим <i>а</i> <i>ХВ3</i>	5—10
АКЗ1 (см. рис. 5)	L1—C4 пробка	100	Снята плата НИ Снята накладка <i>ХВ3</i>	Выводы конденсатора <i>С4</i>	30
АКЗ2 (см. рис. 4)	L1—C4 пробка	100	То же	То же	30

жен просматриваться зазор между хвостовиком якоря и левой полюсной накладкой. При некотором опыте можно просмотреть через лупу чистоту зазора между постоянным магнитом и лепестками якоря. Чистота этого зазора обязательно проверяется мегаомметром 500 В, подключенным между магнитопроводом и подвижным контактом реле. Этим же проверяется сопротивление изоляции изоляционных втулок якоря. Проверяется сопротивление изоляции между обмотками и контактами реле. В обоих случаях сопротивление изоляции должно быть не менее 100 МОм. Проверяется ход якоря. Он должен быть легким, возврат — четким.

Проверку токов срабатывания и возврата реле удобнее проводить в полной схеме того устройства, в котором они установлены, хотя возможно предварительно проверить эти величины либо в подходящем испытательном устройстве, либо в одном из устройств панели, например в блокировке при неисправностях в цепях напряжения (поскольку все реле панели имеют одни обмоточные данные и схемы включения всех реле, кроме *КА1* в комплекте КРБ-126, тоже одинаковы). Ток срабатывания реле должен находиться в пределах 1,7—1,9 мА, коэффициент возврата — не менее 0,45 (но и не слишком высок). При подаче тока в реле срабатывание должно быть четким, без «плавания» и вибраций, возврат — тоже. Вибрацию

лучше видно при поданном на контакты постоянном напряжении из логической схемы, в которой они используются. Сильно разрегулированные или вновь устанавливаемые реле необходимо отрегулировать в соответствии с рекомендациями [24].

Проверка МЭР также проводится намного проще в процессе поэлементной проверки. Однако традиционно эта проверка описана вместе с проверкой РС (см. § 17).

## 15. ПРОВЕРКА СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

При наладке проверка проводится в два этапа: первый — сразу после механической ревизии и поэлементной проверки и второй, в полной схеме, — после окончания проверки электрических характеристик. При остальных видах ТО выполняется только второй этап проверки.

На первом этапе измеряется сопротивление изоляции отдельных устройств на землю и между собой. Все устройства панели собираются, но во избежание повреждения полупроводниковых приборов, МЭР и поляризованных реле все перечисленные элементы в схему не вставляются. Объединяются полюсы плюс и минус логической части защиты. Разъединяются фазные провода схемы токовых цепей, мегаомметром 1000 В проверяется изоляция каждой фазы на землю и между собой. Этим проверяется изоляция между первичными обмотками трансреакторов РС, ТТ комплекта блокировки при качаниях, ТТО и др. Проверяется изоляция вторичных обмоток трансреакторов и трансформаторов РС, ТТ блокировки при качаниях и прочих цепей на землю.

Затем токовые цепи объединяются и мегаомметром 1000 В производится проверка изоляции между токовыми цепями и вторичными обмотками трансреакторов РС, ТТ блокировки при качаниях, ТТО. Аналогично производится проверка изоляции между цепями напряжения и вторичными обмотками трансформаторов РС, блокировок при качаниях и при неисправностях в цепях напряжения.

Производится проверка изоляции отдельных групп электрически не связанных цепей (цепей тока, напряжения, оперативных, отключения, УРОВ, сигнализации) на землю и между собой мегаомметром 2500 В.

На втором этапе в полностью собранной схеме панели изоляция всех вышеперечисленных групп испытывается переменным синусоидальным напряжением 1 кВ относительно земли в течение 1 мин. До и после испытания из-

меряется сопротивление изоляции. Результаты измерений до и после испытания не должны заметно расходиться. Испытание и измерения должны проводиться при закрытых кожухах реле и устройств. При прочих видах ТО допускается испытание изоляции переменным напряжением заменять проверкой изоляции мегаомметром 2500 В.

#### 16. ПРОВЕРКА СХЕМЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА И ЕЕ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Перед проверкой должны быть установлены все необходимые переключки и должно быть подведено постоянное напряжение строго определенной полярности, иначе в панелях типа ЭПЗ-1636п можно повредить стабилитроны комплекта АКЗ2, а в панелях типа ЭПЗ-1636м не будут работать блоки питания.

Проверку панели типа ЭПЗ-1636п следует начать с проверки стабилизатора напряжения. Регулируемое оперативное напряжение подается на вход панели, и измеряется напряжение на выходе стабилизатора при напряжениях на входе 0,5—1,1 номинального. При этом определяется порог стабилизации, т. е. то значение входного напряжения, при котором перестает расти выходное напряжение. Начиная с порога стабилизации вплоть до 1,1 номинального напряжения на входе стабилизированное напряжение не должно значительно изменяться и должно находиться в пределах 85—120 В. При входном напряжении 0,8 номинального проверяется распределение напряжения между стабилитронами: на каждом стабилитроне напряжение должно быть в пределах 28—37 В. Пробитый стабилитрон должен быть сразу заменен, иначе возможен пробой оставшихся в работе стабилитронов, а схема, подключенная к пониженному стабилизированному напряжению, окажется неработоспособной.

Проверку логической части панели ЭПЗ-1636м следует начать с проверки включения блоков питания и работоспособности НИ, описанной в § 17.

Проверку промежуточных, указательных реле и реле времени следует производить в соответствии с [22, 23]. Напряжение срабатывания и возврата промежуточных реле проверяется вместе с последовательно включенными обмотками указательных реле; при этом регулировка последних оценивается также по напряжению срабатывания. Напряжение срабатывания реле времени, промежуточных и включенных последовательно с ними указательных реле

не должно превышать 70% номинального напряжения панели, если для отдельных реле не указано иное. Для реле, включенных на стабилизированное напряжение комплекта АКЗ2, номинальным напряжением считается 100 В.

Напряжение возврата промежуточных реле и реле времени не должно быть ниже 3—5% номинального напряжения панели.

В процессе вышеописанной проверки следует измерить некоторые, наиболее важные времена срабатывания и возврата отдельных реле, влияющие на настройку защиты в целом, например время возврата реле *KL1-AKZ2* или время ввода в работу блокируемых ступеней ДЗ. Времена измеряются в полной схеме панели при номинальном напряжении. Для измерения времени возврата *KL1-AKB1* необходим миллисекундомер, для остальных измерений достаточно электросекундомера типа ПВ-53. В устройствах УПЗ-2, У-5053 секундомер подключен к источнику питания через разделительный трансформатор, поэтому допустимо объединение в одной точке цепей, управляющих секундомером, и остальных цепей логической схемы. Регулируемое напряжение подается минусом постоянно на минусовый зажим панели, а плюсом — поочередно в заданные точки схемы. Чтобы пускались только испытуемые реле, временно снимаются некоторые переключки панели. Времена срабатывания выходных реле и отдельных ступеней защиты измеряются при комплексной проверке.

#### Реле комплекта АКЗ2

1. Реле промежуточное *KL1*. Рабочая обмотка. Сняты переключки 22-24-26-АКЗ2, 37-38-Х; 33-35-37-АКЗ2, разомкнута накладка *SX1*. Плюс подается на 24-АКЗ2. Секундомер управляется контактом *KL1.2*, выведенным на зажимы 33-37-АКЗ2. Время возврата регулируется в пределах 0,1—0,15 с.

Удерживающая обмотка. Сняты те же переключки. Установлена переключка 30-32-АКЗ2. Используются два источника оперативного напряжения. Первый подключается, как описано выше, со снятием указанных переключек, второй подключается плюсом к выводу 20 реле *KL1*, а минусом — к общему минусу панели. Реле *KL1* заставляют сработать кратковременной подачей напряжения на рабочую обмотку при поданном напряжении на удерживающую. Напряжение на удерживающей обмотке снижают до возврата реле. Напряжение возврата не должно превы-

шать 60%  $U_{\text{ном}}$ . По этой же схеме производится проверка однополярных выводов обмоток. На рабочую и удерживающую обмотки подают номинальное напряжение, затем на рабочей обмотке напряжение устанавливают ниже напряжения возврата. Проверяют напряжение удерживания по удерживающей обмотке, которое должно быть меньше, чем в предыдущем случае.

2. Реле промежуточное *KL2*. Переключатель *SAC1* установлен в положение *P*. Плюс подается на *49-AKZ2*.

3. Реле промежуточное *KL3*. Установлена перемычка *30-32-AKZ2*. Плюс подается на вывод *20* реле *KL1*.

4. Реле промежуточное *KL4* и реле указательные *KN1—KN5*. Сняты перемычки *21-23-25-AKZ2*, *35-37-AKZ2*, *45-46-X* и *49-50-X*, разомкнута накладка *SX1*. Плюс подается поочередно на плюсовые выводы обмоток реле *KN1—KN5*. Измеряются напряжение срабатывания реле *KL4* через каждое указательное реле (или через диод *VD15*) и напряжения срабатывания последних. При проверке реле *KL4* через реле *KN1* следует проложить изолирующей пластинкой размыкающий контакт *KL4.2*. Напряжение срабатывания реле *KL4* и *KN1—KN5* не должно превышать 60%  $U_{\text{ном}}$ . Проверяется напряжение удержания реле *KL4* через резистор *R41*. Для этого плюс подается на *37-AKZ2* при тех же снятых перемычках. Реле *KL4* срабатывают вручную. Напряжение удержания должно быть не менее 45%  $U_{\text{ном}}$ .

5. Реле промежуточное *KL5*. Снята перемычка *15-17-AKZ2*. Реле *KL1—AKB1* заклинено в сработанном состоянии. Плюс подается на *15-AKZ2*.

6. Реле промежуточное *KL6*. Сняты перемычки *61-63-AKZ2*, *41-42-X*. Разомкнута накладка *SX2*. Плюс подается на *31-AKZ2*. Секундомер управляется контактом *KL6.3*, включенным между зажимом *63-AKZ2* и плюсовым выводом обмотки реле *KN5*. Время возврата регулируется в пределах 0,3—0,5 с.

7. Реле промежуточное *KL7*, неоновая лампа *HL1*. Установлена перемычка *34-36-AKZ2*. Плюс подается на зажим *36-AKZ2*. Напряжение зажигания лампы — не более 0,8  $U_{\text{ном}}$ .

8. Реле промежуточное *KL8* (см. рис. 9). Из реле *KZ1—KZ3* комплекта *AKZ2* извлечены платы НИ. Панель обесточена. Плюс испытательного устройства подается на *79-AKZ2*, минус — на *73-AKZ2* (выпрямительные мосты *VS3*, *VS4* заперты обратным напряжением). Напряжение срабатывания 26—27 В, коэффициент возврата — не ни-

же 0,8. С этой целью резистор *R30-AKZ2* подбирается в пределах 1—1,5 кОм. Следует остерегаться подачи от испытательной установки напряжения, большего 30 В.

9. Реле промежуточное *KL1* в блоке *KZ2* комплекта *AKZ2* (см. рис. 8). Извлечены платы НИ. Напряжение от испытательного устройства подается на выводы *1—2* обмотки реле. Напряжение срабатывания — не более 14,4 В. См. предостережение к п. 8.

10. Реле времени *KT1*. Сняты перемычки *15-17-19-AKZ2*. Плюс подается на *17-AKZ2*. Время срабатывания выставляется при комплексной проверке ДЗ.

11. Реле времени *KT2*. Плюс подается на *29-AKZ2*. Время срабатывания выставляется при комплексной проверке ТЗНП.

#### Реле комплекта *AKZ1*

12. Реле промежуточное *KL1* в блоке *KZ2* комплекта *AKZ1* (см. рис. 8). Проверяется аналогично п. 9.

#### Реле комплекта *AKB1*

13. Реле промежуточные *KL1*, *KL2*. Отключен провод от *24-AKB1* в схему панели. Реле *KA1 (KV1)* извлечено из колодки. Снята перемычка *43-44-X*, отключен провод от зажима *7-AKB1*. Плюс подается на *24-AKB1*. Напряжение срабатывания измеряется при отпущенном якоре реле *KL3*, напряжение возврата — при сработанном реле *KL3*. При измерении времени возврата используется миллисекундомер, пусковой ключ которого включен вместо контакта *KA1.1 (KV1.1)*: *24-AKB1* — вывод 4 контакта *KL1.1*. Реле *KL3* заклинивается в сработанном положении. Останов миллисекундомера производится контактом *KL1.4*, выведенным на зажимы *5-7-AKB1*. Время возврата реле не должно превышать 8 мс, время срабатывания не нормируется.

14. Реле промежуточное *KL3*. Сняты те же перемычки и провода. Плюс подается на *24-AKB1*. При проверке напряжения срабатывания и возврата реле *KL1*, *KL2* заклиниваются в сработанном состоянии. Секундомер управляется контактом *KL1.4* аналогично п. 13. Измеряется время ввода в работу блокируемых ступеней ДЗ (сумма времени возврата реле *KL3* и времени срабатывания реле *KL1*), для чего в полной схеме *AKB1* при номинальном напряжении на *24-30-AKB1* вручную кратковременно срабатывают реле *KA1 (KV1)*. Время ввода близко к време-

ни возврата реле *KL3* и согласно [2] регулируется в пределах 0,32—0,45 с, если конденсатор *C1.2* не подключен к обмотке *KL3*, и 0,48—0,6 с, если этот конденсатор подключен. Практика показывает, что установка времени ввода в пределах 0,45—0,5 с обеспечивает как надежное срабатывание блокируемых ступеней ДЗ, так и отстройку от качаний. При профилактических восстановлении срабатывать реле *KA1* (*KV1*) можно подачей тока (напряжения) в панель.

15. Реле времени *KT1*. Отключен провод *24-AKB1* в схему панели. Снята перемычка *34-35-X*. Плюс подается на *24-AKB1*. При проверке напряжения срабатывания якорь реле *KL2* удерживается в отпущенном состоянии, при проверке напряжения возврата — в подтянутом. Секундомер управляется параллельно включенными контактами *KL1.3*, *KL3.2*, выведенными на *1-3-AKB1*. Измеряется время возврата блокировки (сумма времен срабатывания *KT1* и *KL3*), для чего в полной схеме *AKB1* при номинальном напряжении на *24-30-AKB1* вручную кратковременно срабатывают реле *KA1* (*KV1*). Время возврата задается одновременно с прочими уставками и регулируется положением контактов *KT1*.

#### Реле комплекта *AK1*

16. Реле промежуточное *KL1*, реле указательное *KN1*. Отсоединен провод *5-AK1* в схему панели. Установлена перемычка *8-10-AK1*, снята перемычка *10-12-AK1*. Сняты перемычки *197-198-199-X*. Заклинено в сработанном состоянии реле *KA1* или *KA2*. Плюс подается на зажим *5-AK1*. Секундомер управляется контактом *KL1.5*, выведенным на зажимы *15-17-AK1*. Время срабатывания *KL1* при установленной перемычке *7-9-AK1* — не более 100 мс, при снятой той же перемычке — не более 50 мс. Время возврата в обоих случаях — не более 100 мс.

#### Реле комплекта *AK2*

17. Реле промежуточное *KL1*. Плюс подается на зажим *20-AK2*. Напряжение срабатывания проверяется через контакт *KL1.5*, напряжение возврата — через резисторы *R5.1*, *R5.2*.

18. Реле промежуточное *KL2*. Переключатель *SAC1* установлен в положение *P*. Плюс подается на *78-AK2*. Напряжение срабатывания проверяется через контакт *KL2.4*, напряжение возврата — через резисторы *R6.1*, *R6.2*.

19. Реле промежуточные *KL3*, *KL4*, реле указательные *KN1—KN6*. Установлены перемычки *44-46-48-AK2*, *52-54-AK2*, *36-44-AK2*, сняты перемычки *48-50-52-AK2*, *196-197-198-X*, установлена перемычка *183-184-X*, включена накладка *SX10*. Плюс подается поочередно на плюсовые выводы обмоток указательных реле *KN1—KN6*. При проверке напряжения срабатывания указательных реле выходное реле *KL4* заклинивается в сработанном состоянии. Секундомер для измерения времени срабатывания реле *KL3* управляется контактом *KL3.3*, выведенным на зажимы *3-5-AK2*. Время срабатывания реле *KL3* при установленной перемычке *10-12-AK2* — не более 100 мс, при снятой той же перемычке — не более 50 мс. Время возврата в обоих случаях — не более 100 мс.

20. Реле промежуточное *KL5* (см. рис. 9). Отключены провода панели от *47-49-51-AK2*. Панель обесточена. Плюс испытательного устройства подается на *47-AK2*, минус — на *51-AK2* (выпрямительные мосты *VS1*, *VS2* заперты обратным напряжением). Напряжение срабатывания регулируется в пределах 26—27 В, коэффициент возврата — не ниже 0,8. С этой целью резистор *R9* подбирается в пределах 1—1,5 кОм. См. предостережение к п. 8.

21. Реле времени *KT1*, *KT2*. Плюс подается поочередно на выводы 12 обмоток *KT1*, *KT2*. Время срабатывания выставляется при комплексной проверке ДЗ.

22. Реле времени *KT3*. Отключена накладка *SX8*. Плюс подается на *75-AK2*. Время срабатывания выставляется при комплексной проверке ДЗ.

23. Реле времени *KT4*. Сняты перемычки *48-50-52-AK2*. Плюс подается на *50-AK2*. Время срабатывания выставляется при комплексной проверке ТЗНП.

#### Реле вне комплектов

24. Реле промежуточное *KL1*. Сняты перемычки *59-60-X*, *60-97-X*. Плюс подается на *12-KL1*. Время срабатывания проверяется при комплексной проверке ДЗ. Секундомер управляется контактом *KL1.2*, выведенным на зажимы *60-69-X*. Время срабатывания при замкнутой демпферной обмотке — не более 100 мс, при разомкнутой обмотке — не более 50 мс. Время возврата в обоих случаях — не более 100 мс.

25. Реле промежуточное *KL2*. Плюс подается на *11-KL2*.

26. Реле промежуточное *KL3*. Снята перемычка



106-107-X. Плюс подается на 11-KL3. Секундомер управляется контактом KL3.4, выведенным на зажимы 87-88-X (см. рис. 18). Время возврата — не менее 0,8—1 с, если ускоряемые ступени защит ускорятся до нуля, и не менее 1,3—1,5 с, если ускоряемые ступени защит ускорятся до 0,5 с.

27. Реле промежуточное KL4. Плюс подается на 11-KL4.

28. Реле указательные КН1—КН3. Плюс подается на выводы 1 реле КН1—КН3, минус — на 235-X или поочередно на 221-X, 220-X, 219-X (в зависимости от схемы сигнализации). См. предостережение к п. 8.

29. Реле указательные КН4, КН5. Поочередно подается ток через реле (зажимы 196-199-X и 200-203-X) при снятых перемычках 196-197-198-199-X и 200-201-202-203-X. Ток срабатывания — не более 0,5 тока срабатывания отключающей катушки выключателя.

По окончании проверки отдельных реле восстанавливается рабочее положение всех перемычек. На вход панели подается напряжение  $0,8U_{ном}$  от достаточно мощного источника, чтобы напряжение не колебалось при подключении в процессе опробования тех или иных реле логической схемы. При этом напряжении проверяется взаимодействие всех элементов логической части защиты срабатыванием отдельных реле вручную при движении по строчкам принципиальной схемы.

## 17. НАЛАДКА РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Практика показывает, что нецелесообразно пытаться сразу настраивать уставки реле, пренебрегая поэлементной проверкой отдельных узлов, поскольку поиск и переделка неисправных узлов после настройки уставок могут свести на нет предыдущую работу. Поэтому последовательность операций дана, начиная с поэлементной проверки. Часть этих работ описана в § 14. В РС с полупроводниковым НИ при размыкании накладок ХВ3 целесообразно ставить их в положение б-в, при этом вход НИ закорачивается на резистор R14.1 (см. рис. 4), R15.1 (см. рис. 5).

**Проверка исправности защитных диодов схемы сравнения** производится для исключения опасности повреждения НИ при больших кратностях напряжений в рабочем или тормозном контуре. На панелях ЭПЗ-1636п размыкаются накладки ХВ3 во всех шести РС. На панелях ЭПЗ-1636м накладки ХВ3 устанавливаются в положение а-б. На трансформаторах TV1 выставляется максимальный процент вит-

ков (95) и переменные резисторы R28—R29 комплекта АК22 и R24 комплекта АК21 вводятся по часовой стрелке до упора. На панель подаются поочередно междуфазные напряжения АВ, ВС, СА 110 В и поочередно на зажимах а-в накладок ХВ3 всех РС (панелей ЭПЗ-1636п) или на зажимах б-в (панелей ЭПЗ-1636м) измеряются напряжения (фактически это напряжения на кремниевых диодах VD6 при протекании по ним тока в прямом направлении). Напряжения обычно составляют 0,6—0,8 В и не должны превышать 2,5 В.

Затем на трансреакторах TAV1 выставляется уставка  $Z_{уст, min}=1$  Ом/фазу (5 Ом/фазу). Размыкаются накладки ХВ1, чем снимается действие тормозных контуров. На панель подаются поочередно вторичные токи АВ, ВС, СА и поочередно на тех же зажимах накладок ХВ3 измеряются напряжения на кремниевых диодах VD7 при протекании по ним тока в прямом направлении. При плавном увеличении тока наблюдается плавное нарастание напряжения на диодах вплоть до 0,6—0,8 В (максимум 2,5 В), после чего напряжение стабилизируется и от увеличения тока почти не зависит. Выше поднимать ток не имеет смысла, но при желании проверяющего можно довести этот ток до значения тока КЗ в начале ВЛ, что с некоторым запасом соответствует максимально возможному рабочему току в схеме сравнения.

Если измеренное напряжение на одном из диодов оказывается слишком малым (порядка 0,1 В), необходимо убедиться, не пробит ли он, путем выпаивания из схемы и проверки исправности подачей на него обратного напряжения (например, от тестера). В случае исправности диода необходимо проверить, достаточна ли кратность тока в НИ. Для этого между зажимами а-б накладки ХВ3 проверяемого РС включается миллиамперметр, на вход панели подается номинальный ток или номинальное напряжение и измеряется ток через НИ, он должен составлять 0,43—0,48 мА. В реле с полупроводниковыми НИ такая проверка производится при снятой накладке ХВ3 миллиамперметром, включенным между зажимами а-в этой накладки.

**Проверка МЭР** подробно изложена в [25]. Проверяется изоляция между обмоткой и контактами каждого реле. Реле вынимают из панели. К мегаомметру 500 В подключают делитель, состоящий из резисторов  $R1=1,8-2$  МОм и  $R2=3$  МОм мощностью рассеивания не менее 0,25 Вт. Снимаемое с R1 напряжение (примерно 200 В) подают между обмоткой (объединенные выводы 1-2) и контактами

(объединенные выводы 3-4-5). При исправной изоляции мегаомметр покажет 5 МОм (сопротивление делителя), при пробое изоляции — 3 МОм (сопротивление резистора  $R_2$ ).

Мегаомметром 500 В проверяют изоляцию между подвижными и неподвижными элементами замыкающего контакта. Проверку рекомендуется производить при подаче в обмотку МЭР тормозного тока не менее 75 мкА, чтобы обеспечить разомкнутое состояние замыкающего контакта. Однако, если МЭР есть в запасе, допустимо проверять изоляцию между элементами контакта при обесточенной обмотке, на реле, снятом с панели, предполагая, что разомкнутое состояние контакта обеспечивается возвратной пружиной.

Ток срабатывания и возврата МЭР плавной подачей рабочего тока в схему сравнения измерять нежелательно (сильно подгорают контакты). Поэтому реле проверяются только на работоспособность. Все испытуемые МЭР поочередно вставляют в блок  $KZ1$  комплекта  $AKZ2$  (блок  $KZ3$  с искрогасительным контуром должен быть вставлен). Между зажимами  $a-b$  накладки  $XB3$  реле  $KZ1$  включают микроамперметр и подачей междупазного напряжения  $AB$  регулируют тормозной ток в МЭР до значения 40—50 мкА. Не снимая этого напряжения, в панель подают такой ток  $AB$ , чтобы в МЭР протекал ток 15 мкА в сторону срабатывания. На панель подают постоянное напряжение и, несколько раз снимая и подавая в панель установленный ток  $AB$ , по зажиганию неоновой лампы панели или испытательного устройства, подключенной к контактам, убеждаются в четкой работе испытуемого МЭР.

Все указанные проверки можно значительно ускорить использованием специализированных устройств для проверки МЭР, например УПР-1 ОЗАП Мосэнерго.

**Проверка работоспособности полупроводниковых НИ и блоков питания к ним.** Проверяют исправность блоков питания. Вставляют все НИ, на панель подают постоянное напряжение. При номинальном напряжении на входе проверяют напряжение на зажимах 39-9 комплекта  $AKZ2$  и 31-29 комплекта  $AK2$  (см. рис. 9), которое должно составлять  $36 В \pm 15\%$ . Измеряют напряжение на выходах блоков питания: на зажимах 77-73 и 79-77 комплекта  $AKZ2$ , 47-49 и 49-51 комплекта  $AK2$ . Напряжение должно составлять  $15 В \pm 10\%$ . В сомнительных случаях измеряют переменное напряжение на обмотках  $TV3$  комплекта  $AKZ2$  и обмотках  $TV1$  комплекта  $AK2$ . Оно должно находиться в пределах, указанных в табл. 3.

Таблица 3

	$W_1$		$W_2$		$W_3$	$W_4$
$AKZ2$ . . . . .	1-2	1-3	9-5	4-5	6-10	8-12
$AK2$ . . . . .	1-Н1	1-К1	2-Н2	2-К2	Н3-К3	Н4-К4
U, В . . . . .	66—76	66—76	10—12	10—12	13—19,5	13—19,5

Снижают напряжение на входе панели до 0,8 номинального. Проверяют, что напряжение на выходах блоков питания осталось в заданных пределах.

Проверка работоспособности НИ (см. рис. 8) производится только для выявления причин выхода из строя НИ [19] и ведется в полной схеме РС (см. рис. 4 и 5). Накладки  $XB1$ ,  $XB2$  размыкаются, накладка  $XB3$  устанавливается в положение б-в. Напряжение  $+15 В$  с блока питания подается на зажим б накладки  $XB3$  через резистор типа МЛТ сопротивлением примерно 2 кОм. Измеряется напряжение в контрольных точках каждой платы НИ относительно нулевого вывода (зажим 77- $AKZ2$  — см. рис. 9, зажим 11- $AKZ1$  — см. рис. 17). Измерения производятся вольтметром с внутренним сопротивлением не ниже 2 кОм/В, например типа Ц-4341. Для удобства измерений целесообразно плату НИ подключить через удлинитель, а на шуп, которым измеряются напряжения на плате, припаять иголку. Результаты должны соответствовать данным табл. 4.

Таблица 4

Обозначения по заводским инструкциям . . . . .	10У т. 10	Разъем 2Ш/21	20У т. 4	20У т. 10	Разъем 2Ш/20
Напряжение 15 В					
не подано . . . . .	11,5÷14,5	0,5÷0,65	0,2÷0,5	—13,5÷ —16	—13÷ —15,5
подано . . . . .	—11,5÷ —14,5	—0,5÷ —0,65	—0,2÷ —0,5	12÷14,5	11,5÷14

Относительно вывода  $+15 В$  (зажимы 79- $AKZ2$ , 7- $AKZ1$ ) измеряется напряжение на контакте 2Ш/16 разъема 2Ш. При отсутствии напряжения на зажиме б накладки  $XB3$  напряжение на 2Ш/16 должно быть в пределах 0—3 В, при наличии — 25—28 В.

**Проверка трансформаторов  $TV1$ .** Проверяется исправность обмоток, правильность распылки отводов вторичных обмоток и целостность резисторов в цепях отпаек  $TV1$ : для комплекта  $AKZ1$   $R17—R23$  (см. рис. 5) для комплекта  $AKZ2$   $R16—R25$  (см. рис. 4).

Проверка ведется на холостом ходу трансформатора

*TV1*. Витки первичной обмотки включаются для  $\varphi_{м,ч}=65^\circ$  или  $80^\circ$  накладкой *XB7-AKZ1* или *XB6-AKZ2*. Размыкаются накладки *XB1*, *XB3*, накладки ступенчатого переключения витков и накладка *XB10* комплекта *AKZ1*. На панель подаются поочередно напряжения *AB*, *BC*, *CA* 100 В и вольтметром с внутренним сопротивлением не менее 2 кОм/В, например типа Ц-4341, измеряются напряжения между отводами 0—5, 0—10, 0—15, 0—20, 0—40, 0—60, 0—80 для реле комплекта *AKZ2* по I и II ступеням, напряжения на крайних выводах резисторов *R24* комплекта *AKZ1*, *R28* и *R29* комплекта *AKZ2*, а также напряжения на дополнительной обмотке комплекта *AKZ1* (зажим 6 накладки *XB1*—зажим 6 накладки *XB10*). Измеренные величины должны быть в пределах  $\pm 5\%$  расчетных, которые определяются по формуле (10).

Напряжения на отводах вторичных обмоток при подаваемом на вход напряжении 100 В приведены в табл. 5.

В сомнительных случаях можно измерить ток холостого хода *TV1*, который при подаче на вход напряжения 100 В не должен превышать 30 мА при  $\varphi_{м,ч}=65^\circ$  и 60 мА при  $\varphi_{м,ч}=80^\circ$ . Можно также измерить омметром сопротивления резисторов, подключенных к вторичным обмоткам *TV1*.

**Проверка трансреакторов *TAV1*.** Проверяется исправность обмоток, правильность регулировки воздушного зазора и соответствие сопротивлений резисторов, подключенных к вторичным обмоткам *TAV1*, заводской схеме.

Проверка ведется при отключенных тормозном и рабочем контурах, для чего размыкаются накладки *XB2*, накладки *XB1*, *XB3* остаются разомкнутыми. Трансреактор остается нагруженным на резисторы *R9—R12*. Накладки *XB4*, *XB5* комплекта *AKZ2*, накладки *XB5*, *XB6* комплекта *AKZ1* остаются замкнутыми.

На *TAV1* выставляются витки первичной обмотки  $Z_{уст, min}=1$  Ом/фазу для панели с  $I_{ном}=5$  А (5 Ом/фазу для панели с  $I_{ном}=1$  А), в панель поочередно подаются токи *AB*, *BC*, *CA*, равные  $I_{ном}$  (5 или 1 А), вольтметром с внутренним сопротивлением не менее 2 кОм/В измеряются на-

пряжения на вторичных обмотках *TAV1* или между зажимом *a* накладки *XB1* и накладкой *XB4*, между зажимом *a* накладки *XB2* и накладкой *XB5* комплекта *AKZ2*, между зажимом *b* накладки *XB1* и накладкой *XB5*, между зажимом *a* накладки *XB2* и накладкой *XB6* комплекта *AKZ1*.

Измеренные величины не должны отличаться более чем на  $\pm 7\%$  от расчетных, которые определяются по формуле (11). Отсюда следует, что при  $Z_{уст, min}=1$  (5 Ом/фазу) и  $\varphi_{м,ч}=65^\circ$   $U_2$  должно лежать в пределах 9,3—10,7 В. При  $\varphi_{м,ч}=80^\circ$   $U_2$  должно быть в пределах 11,6—13,4 В. Проверяется, чтобы расхождение напряжений между обеими вторичными обмотками не превышало 0,4 В.

Для комплекта *AKZ2* проверяется, что выходные напряжения при  $Z_{уст, min}=0,5$  (2,5) Ом/фазу и токе  $2I_{ном}$ , при  $Z_{уст, min}=0,25$  (1,25) Ом/фазу и токе  $4I_{ном}$  не меняются.

Для комплекта *AKZ1* панели ЭПЗ-1636м проверяется, чтобы выходные напряжения при  $Z_{уст, min}=1,5$  Ом/фазу и токе  $I_{ном}/1,5$  не менялись.

В сомнительных случаях можно проверить исправность резисторов *R9—R12*, ЭДС на выходе трансреакторов при отключенных резисторах *R9—R12* и угол между подаваемым в реле током и выходным напряжением трансреактора. Угол должен составлять  $85—90^\circ$  (напряжение должно опережать ток).

При исправных резисторах изменить ЭДС на выходе трансреактора можно регулировкой воздушного зазора, нормальный размер которого составляет 2,3 мм для комплекта *AKZ1* и 2 мм для комплекта *AKZ2*. Уменьшение зазора в одном из крайних стержней увеличивает ЭДС обмотки, надетой на этот стержень, и наоборот. В панелях ЭПЗ-1636м менять ЭДС в небольших пределах можно также изменением числа витков вторичных обмоток, для чего у них сделаны отводы. В панели ЭПЗ-1636м такие отводы не предусмотрены.

**Проверка трансреакторов подпитки *TAV2*.** Проверяется исправность обмоток *TAV2*, настройка контура под-

Таблица 5

$\varphi_{м,ч}$	Напряжения			
	0—5	0—10	0—15	0—20
65	9,5—10,5	19—21	28,5—31,5	38—42
80	11,9—13,1	23,8—26,2	35,6—39,4	47,5—52,5

на отводах вторичных обмоток, В				
0—40	0—60	0—80	<i>R24—AKZ1</i> <i>R28, R29—AKZ2</i>	<i>XB10—6</i> <i>XB1—6</i>
76—84	114—126	152—168	12—14	1,9—2,1
95—105	142,5—157,5	190—210	15—17	2,4—2,6

питки в резонанс при частоте 50 Гц. Проверка ведется на холостом ходу трансреактора. При этом накладки  $XB1$ ,  $XB2$ ,  $XB3$  остаются разомкнутыми. Для удобства проверки каждое из РС комплекта  $AKZ2$  поочередно подключается через удлинитель по цепям напряжения. На вход панели поочередно подается напряжение подпитки, равное 58 В: для реле  $KZ1—CO$ , для  $KZ2—AO$ , для  $KZ3—BO$ . Чтобы не повредить реле, перед включением испытательного устройства на нем устанавливается требуемый режим ( $CO$ ,  $AO$ ,  $BO$ ), отключается тумблер «третья фаза», включается переключатель режимов КЗ в положение «аварийный режим» и поднимается напряжение до 58 В. В противном случае можно подать на контур подпитки напряжение 100 В и пробить либо витки  $TAV2$ , либо конденсатор резонансного контура. Вольтметром с внутренним сопротивлением не менее 2 кОм/В измеряются напряжения на первичных обмотках  $TAV2$  и на конденсаторах  $C6$ , которые должны быть примерно равными и составлять при резонансе около 300 В, и измеряются напряжения на вторичных обмотках  $TAV2$  (собственно ЭДС подпитки), которые должны составлять 5,5—6 В. Измерителем ВАФ-85 измеряются углы между напряжением на входе реле (58 В) и напряжением на вторичных обмотках  $TAV2$ . Они должны составлять  $90 \pm 5^\circ$ . В качестве опорного напряжения для ВАФ-85 можно использовать любое трехфазное симметричное напряжение с  $U_{\text{л}} = 100 \div 220$  В, например от цепей напряжения или от цепей собственных нужд (если  $U_{\text{л}}$  не 380 В!). При этом измеряются два угла (первичной обмотки и вторичной обмотки  $TAV2$  по отношению к опорному напряжению  $U_{\text{ДВ}}$ ) и вычисляется их разность.

Контур подпитки настраивается в резонанс изменением воздушного зазора трансреактора, т. е. изменением его индуктивности.

**Настройка уставок.** Рассчитывается сопротивление срабатывания на зажимах РС, Ом, во вторичных величинах по формуле

$$Z_{\text{с,р}} = \frac{Z_{\text{с,з}} K_I}{K_U}, \quad (17)$$

где  $Z_{\text{с,з}}$  — заданное сопротивление срабатывания защиты, Ом;  $K_I$  — коэффициент трансформации ТТ защиты;  $K_U$  — коэффициент трансформации ТН защиты.

Выбирается  $Z_{\text{уст, min}}$  — положение переключателей первичных обмоток трансреакторов  $TAV1$ . Диапазон уставок

и гарантированные токи точной работы РС даны в прилож. 1.

Выбор уставки трансреакторов  $TAV1$  комплекта  $AKZ2$  для случаев когда можно выставить любое из двух или трех положений  $Z_{\text{уст, min}}$ , определяется исходя из заданных диапазонов токов настройки I или II ступени, т. е. тех диапазонов, в которых будут изменяться реальные токи КЗ в конце I или II зоны. Нижний предел тока настройки должен быть в 1,3 раза выше гарантированного тока точной работы, указанного в прилож. 1 [18, с. 292], а верхний предел — меньше максимального гарантированного тока точной работы, т. е. при малых уровнях токов настройки целесообразно иметь большую уставку  $Z_{\text{уст, min}}$  и, следовательно, большую чувствительность РС по току, при больших уровнях токов настройки целесообразно иметь меньшую уставку  $Z_{\text{уст, min}}$ , следовательно, лучшее обеспечение работы по «памяти».

При выбранной уставке  $Z_{\text{уст, min}}$  расчет уставок на трансформаторах  $TV1$  производится для каждой ступени по формуле, %,

$$N_{\text{расч}} = \frac{Z_{\text{уст, min}}}{Z_{\text{с, р}}} 100, \quad (18)$$

где  $N_{\text{расч}}$  — расчетный процент включенных витков вторичной обмотки  $TV1$  (условно назовем это отношение «числом витков»), см. также (10).

Рассчитанные уставки  $Z_{\text{уст, min}}$ ,  $N_{\text{расч}}$  и заданные уставки по углу максимальной чувствительности ( $65^\circ$  или  $80^\circ$ ) выставляются на всех РС. Для РС комплекта  $AKZ1$  выставляют также требуемый коэффициент сжатия эллипса и смещение в III квадрант. Резисторы плавной регулировки уставок поворачивают по часовой стрелке до упора. На всех РС, кроме проверяемого, размыкаются накладки  $XB3$ , иначе поведение реле, находящихся в нерасчетных условиях, может привести к ошибкам при проверке характеристик проверяемого реле. На панели с МЭР подключается неоновая лампа комплекта  $AKZ2$  или неоновая лампа (светодиод) испытательного устройства, если напряжение, коммутируемое контактами МЭР, находится в пределах 60—120 В. Не следует использовать для сигнализации срабатывания МЭР промежуточные реле панели ( $KL3-AKZ2$  или  $KL4-AKZ2$ ) во избежание ненужного подгара контактов. На панели с полупроводниковыми НИ подается постоянное напряжение. Контроль за срабатыванием ведется по срабатыванию выходного промежуточного реле

НИ (на слух) либо на контакты этого реле подключается неоновая лампочка (светодиод) испытательного устройства. Если кабель от ТН до панели имеет сопротивление более 1 Ом, то настройка уставок ведется с учетом этого сопротивления введением специальных резисторов в цепи подаваемого напряжения. Для настройки уставок I ступени якорь реле *KL1* комплекта *AKZ2* заклинивается в подтянутом положении, II ступени — в отпавшем.

На панель подаются ток и напряжение двухфазного КЗ (*AB*, *BC*, *CA* в зависимости от того, какое реле проверяется). По цепям напряжения подается также напряжение подпитки от третьей фазы (соответственно *CO*, *AO*, *BO*), хотя при отсутствии третьей фазы погрешность в настройке невелика. Ток, подаваемый на панель, для каждой ступени должен находиться примерно в середине заданного диапазона токов настройки. Угол между напряжением и током выставляется равным заданному. Поскольку в режиме двухфазного КЗ

$$Z_{с.р} = \frac{U_{с.р}}{2I_p}, \quad (19)$$

где  $Z_{с.р}$  — сопротивление срабатывания РС, Ом;  $U_{с.р}$  — напряжение срабатывания РС, В;  $I_p$  — ток, подаваемый в РС, А. Напряжение, при котором должно срабатывать реле, определяется из выражения

$$U_{с.р} = 2I_p Z_{с.р}. \quad (20)$$

Это напряжение устанавливается при выбранном токе и заданном угле между ними (РС не должно быть сработано). Поворотом против часовой стрелки переменного резистора плавной регулировки уставки по напряжению добиваются срабатывания РС.

Если при заданном напряжении РС сработало при полностью введенном переменном резисторе, значит, витки на *TV1* следует увеличить на одну ступеньку (5 %) и повторить операцию.

Если при выведении переменного резистора до упора против часовой стрелки РС не срабатывает, следует уменьшить на одну ступеньку (5 %) витки на *TV1* и повторить операцию.

При настройке и перестройке уставок удобно помнить простое правило: чтобы зону укоротить, витки надо увеличить и наоборот.

Если отмечено значительное расхождение между расчетным и действительным числами витков *TV1*, целесооб-

разно проверить величину этого расхождения. Расчетное сопротивление срабатывания при введенном резисторе определяется по формуле

$$Z_{с.р.расч} = \frac{Z_{уст, min}}{N_{расч} + 7} 100, \quad (21)$$

при выведенном переменном резисторе — по формуле

$$Z_{с.р.расч} = \frac{Z_{уст, min}}{N_{расч}} 100, \quad (22)$$

где  $N_{расч}$  — выставленные витки на переключателе отпаек *TV1*; 7 — витки, соответствующие введенному резистору.

Действительное сопротивление срабатывания проверяется при введенном и выведенном резисторе и сравнивается с расчетным из формул (21) и (22). Расхождение между фактическим и расчетным сопротивлениями срабатывания более 10 % указывает на неисправность элементов реле и требует перепроверки их. Если такое расхождение отмечается по всем реле комплекта, следует проверить синусоидальность формы кривой подаваемого напряжения.

После выставления требуемой уставки переменный резистор фиксируется контргайкой и снижением напряжения от 100 В до  $U_{с.р}$  проверяется точность выставленной уставки.

Проверяется коэффициент возврата реле. Напряжение снижают ниже напряжения срабатывания (10—20 %) и повышают до размыкания контактов реле (напряжение возврата). Коэффициент возврата не должен превышать 1,1 (фактически очень близок к единице).

В панелях с МЭР не следует принимать плавное погасание неоновой лампочки за нечеткую работу контактов. Через лампочку заряжается конденсатор искрогасительного контура, включенного параллельно разомкнувшимся контактам.

**Выравнивание сопротивлений рабочего и тормозного контуров.** Задача выравнивания — предотвратить срабатывание РС только от тока при отсутствии напряжения на реле (трехфазное КЗ на шинах ПС «за спиной» защиты) и только от напряжения подпитки при отсутствии тока и основного напряжения (двухфазное КЗ на шинах ПС «за спиной» защиты при отсутствии в данный момент питания с противоположной стороны защищаемой ВЛ).

Сущность выравнивания — это выравнивание (балансирование) сопротивлений тормозного и рабочего контуров при подаче в эти контуры равных ЭДС либо от тока

(через *TAV1*), либо от напряжения подпитки (через *TAV2*) Во избежание потери направленности РС при близких КЗ контуры настраиваются так, чтобы ток в НИ был всегда направлен в сторону торможения

В панелях с МЭР размыкается накладка *XB3* При наличии микроамперметра с внутренним сопротивлением не более 200—250 Ом он включается последовательно с МЭР, между зажимами *a* и *b* накладки При наличии прибора с внутренним сопротивлением 1500—2000 Ом последний включается помимо МЭР, между зажимами *a* и *в*. В панелях с полупроводниковыми НИ накладка *XB3* ставится в положение *б-в*, а прибор включается между зажимами *a* и *б*

При подаче тока в реле для точной имитации режима цепи основного напряжения и напряжения подпитки должны быть закорочены на резисторы с сопротивлением, равным сопротивлению кабеля от панели до ТН На практике достаточно закоротить цепи основного напряжения на нулевое сопротивление, а цепи напряжения подпитки можно не закорачивать Погрешность выравнивания останется в **допустимых пределах**. При подаче напряжения подпитки цепи основного напряжения должны быть закорочены, а цепи тока разомкнуты.

Выравнивание производится регулированием значения сопротивления резистора *R13* в рабочем контуре после настройки уставок, так как резисторы в цепях отпайки *TV1* заметно влияют на сопротивление тормозного контура и, следовательно, на балансировку контуров По этой же причине проверка реле комплекта *AKZ2* ведется для I и II ступеней ДЗ отдельно Следует заметить, что балансировка контуров на уставках II ступени может показаться излишней, так как некоторая потеря направленности ступени с выдержкой времени как будто не опасна Однако это не так Она может привести к излишней работе ДЗ «за спину», если выдержка времени на срабатывание II ступени ДЗ рассматриваемой ВЛ (например, 0,5 с) меньше, чем выдержка времени I ступени ДЗ (например, 1 с) другой ВЛ, отходящей от шин данной ПС При проверке реле по I ступени якорь реле переключения ступеней *KL1* заклинивается в сработавшем положении, при проверке по II ступени — в отпавшем

В реле подается напряжение подпитки 58—60 В и резистором *R13* регулируется в соответствии с [2] ток небаланса 0—10 мкА в сторону торможения Учитывая опасность ложного срабатывания защиты ВЛ в тупиковом ре-

жиме при КЗ на шинах питающей ПС, представляется более целесообразным регулировать ток в пределах 5—15 мкА Затем напряжение снимается В реле подается ток двухфазного КЗ номинальной величины  $I_{ном}$  (5 или 1 А), если  $Z_{уст, min}=1$  (5) Ом/фазу,  $2I_{ном}$ , если  $Z_{уст, min}=0,5$  (2,5) Ом/фазу,  $4I_{ном}$ , если  $Z_{уст, min}=0,25$  (1,25) Ом/фазу, резистором *R13* в соответствии с [2] регулируется ток небаланса в сторону торможения по I ступени 8—10 мкА, по II ступени 8—15 мкА Однако, учитывая трудность выполнения приведенных норм без дополнительных регулировок, представляется возможным регулировать ток в сторону торможения по I ступени 8—15 мкА, по II ступени 5—20 мкА Проверяется ток небаланса при подаче напряжения подпитки

Не всегда удается подобрать положение резистора *R13* так, чтобы токи небаланса и при подаче токов, и при подаче напряжений подпитки укладывались в норму В этом случае приходится менять отпайку в одной из вторичных обмоток трансреактора *TAV1* панели ЭПЗ 1636п или регулировать один из зазоров *TAV1* панели ЭПЗ-1636м. Если необходимо увеличить (уменьшить) торможение, следует уменьшить (увеличить) витки или ЭДС в рабочем контуре или увеличить (уменьшить) их в тормозном контуре При этом необходимо перепроверить ток небаланса при подаче напряжения подпитки, а также напряжение на выходе трансреактора *TAV1*, как описано выше Если и в этом случае добиться приемлемых токов небаланса не удастся, значит, поэлементная проверка была сделана некачественно и ее следует повторить

После этого повторно проверяется настройка уставок и, если уставку пришлось подправить, еще раз повторяются измерения токов небаланса

Для РС комплекта *AKZ1*, если задано смещение характеристики срабатывания в III квадрант, проверка по танному разделу не обязательна, но полезна для выявления неисправностей элементов реле Если проверка проводится, накладка *XB1* ставится в положение *б-в* (без смещения), накладка переключателя эллиптичности *XB8* ставится в положение *1* (круговая характеристика), контуры балансируются, как обычно, а после проверки накладку *XB1* ставится в положение *а-б*, тем самым в тормозной контур вводится дополнительный резистор *R14* для ослабления этого контура и создания нормируемого смещения в III квадрант

**Снятие угловых характеристик  $Z_{ср}=f(\varphi)$ .** Характери-

стики снимаются для каждого РС, для каждой ступени у проверяемого реле накладка *XB3* установлена, у остальных снята. При проверке по I ступени якорь реле переключения ступеней *KL1* комплекта *AKZ2* заклинивается в подтянутом положении, при проверке по II ступени — в отпавшем.

Характеристика снимается при неизменном токе двухфазного КЗ, выбираемого примерно посредине диапазона заданных токов настройки. Ток и напряжение КЗ подаются в фазы панели, соответствующие проверяемому РС (*AB*, *BC*, *CA* соответственно для реле *KZ1*, *KZ2*, *KZ3*). Напряжение подпитки отключается снятием и закорачиванием на нуль соответствующего провода цепей напряжения с испытательного устройства.

Для РС комплекта *AKZ2* угол между напряжением и током изменяется в пределах  $330-0-150^\circ$  степенями через  $30^\circ$ , вблизи угла, равного  $\varphi_{мч}$ , ступени можно делать меньше. При каждом выставленном угле измеряется напряжение срабатывания РС и по формуле (19) рассчитывается сопротивление срабатывания.

Напряжение срабатывания при каждом угле измеряется дважды: при снижении напряжения от 100 В до срабатывания и при повышении напряжения от нуля до срабатывания. Тем самым оценивается смещение характеристики в I квадрант. Нижнее значение сопротивления срабатывания при угле, равном  $\varphi_{мч}$ , должно составлять  $0,5-2\%$   $Z_{уст}$ . Меньшее значение опасно из-за возможности срабатывания реле при КЗ «за спиной», например на шинах ПС, большее — из-за отказа в срабатывании при КЗ в начале ВЛ. Если смещение в I квадрант лежит за пределами указанного диапазона, следует перепроверить выравнивание сопротивлений рабочего и тормозного контуров.

Для реле комплекта *AKZ1* характеристика снимается аналогично, если смещение в III квадрант не используется. Если смещение используется, характеристика снимается при изменении угла между током и напряжением от нуля до  $360^\circ$ . Сопротивление срабатывания реле при угле, равном  $\varphi_{мч} + 180^\circ$ , характеризует смещение характеристики в III квадрант. Это смещение должно лежать в пределах  $6-12\%$   $Z_{уст}$ . Смещение можно регулировать перепайкой резистора *R14*.

Если задана эллиптическая характеристика реле, снятая характеристика строится в комплексной плоскости, определяются величины малой и большой полуосей и эл-

липтичность оценивается как их отношение. Она должна соответствовать заданной.

Одновременно со снятием угловой характеристики удобно оценить угол  $\varphi_{мч}$  РС методом засечек. Для этого после определения напряжения срабатывания при угле настройки на РС подается напряжение, равное  $0,7-0,8$  напряжения срабатывания, изменением угла между током и напряжением в сторону меньших значений возвращают и вновь срабатывают реле. Получают угол  $\varphi_{1ср}$ . Затем повторяют измерение, изменяя угол в сторону больших значений. Получают угол  $\varphi_{2ср}$ . Сумма этих углов, деленная пополам, дает угол  $\varphi_{мч}$ , значение которого должно быть близко к заводским данным.

**Снятие зависимости сопротивления срабатывания от тока  $Z_{ср}=f(I)$**  Характеристики снимаются для каждого реле, для каждой зоны, при угле между током и напряжением, равном заданному углу настройки, или при угле  $\varphi_{мч}$ , если угол настройки не задан. В остальных условиях снятия этих характеристик повторяют условия снятия угловых характеристик.

Подавая в РС различные значения тока, определяют напряжения срабатывания РС и  $Z_{ср}$  по формуле (19) и строят зависимость  $Z_{ср}=f(I)$ . Из этой зависимости определяют тот минимальный ток, при котором  $Z_{ср}=0,9 Z_{уст}$ , или ток точной работы  $I_{тр}$ . Во всем заданном диапазоне токов настройки  $Z_{ср}$  должно превышать  $0,9 Z_{уст}$ ,  $I_{тр}$  должен быть не менее чем в 1,3 раза ниже минимального тока настройки. В некоторых пределах можно снизить  $I_{тр}$ , уменьшая смещение угловой характеристики в I квадрант, но оставляя характеристики выравнивания контуров в допустимых пределах. Заметное снижение  $I_{тр}$  достигается переходом на более высокое значение  $Z_{уст min}$ .

Определяется также максимальный ток, при котором  $Z_{ср}=0,9 Z_{уст}$ . Этот ток должен превышать максимальное значение тока настройки. Если для определения максимального значения  $I_{тр}$  требуются излишне большие токи, достаточно снять характеристику до тока настройки.

**Определение угла максимальной чувствительности в режиме органа направления мощности.** Это измерение не обязательно, но полезно для определения правильности настройки контура памяти, а также для облегчения анализа поведения реле при проверке под нагрузкой. Для РС комплекта *AKZ2* измерение выполняется следующим образом.

Закорачивают цепи основного напряжения РС, в па-

нель подают ток двухфазного КЗ, равный номинальному току панели, и соответственное напряжение подпитки (например, для блока КЗ1 — ток АВ и напряжение СО, равное 58—60 В). Изменяя угол между током и напряжением, определяют те два угла, при которых РС срабатывает, т. е. линию нулевых моментов в комплексной плоскости, линию, которая делит эту плоскость на зону срабатывания и зону торможения. Зона срабатывания должна составлять примерно 180°, среднее арифметическое из двух углов срабатывания (т. е. перпендикуляр к линии нулевых моментов) представляет собой угол  $\varphi_{м.ч}$ . Поскольку углы отсчитываются от напряжения подпитки, вектор которого опережает вектор основного напряжения на 90°, получающийся угол  $\varphi_{м.ч}$  в режиме РМ приблизительно равен углу  $\varphi_{м.ч}$  в режиме РС плюс 90° (т. е. 155—170°).

**Окончательная проверка.** Для завершения наладки ДЗ необходимо оценить поведение РС в полной схеме защиты, выставить времена срабатывания каждой ступени и проверить направленность РС под нагрузкой. Поскольку эти операции должны являться завершающими перед вводом защиты в работу, их целесообразно выполнять, когда будут налажены остальные элементы панели. Поэтому эти операции описаны в § 21, 23.

## 18. НАЛАДКА БЛОКИРОВКИ ПРИ КАЧАНИЯХ

Проверка состояния поляризованного реле, а также проверка фильтров второй и пятой гармоник описаны в § 14.

**Блокировка типа КРБ-126.** Схема блокировки представлена на рис 11, а.

**Настройка фильтра токов обратной последовательности (ФТОП)** Выводятся из работы схема торможения установкой переключки 6-8 в положение 4-6 и схема пуска по току  $3I_0$  установкой переключки 36-38 в положение 38-40. Остальные переключки и наклейки остаются установленными в соответствии с заданными уставками. Реле КЛЗ заклинивается в сработавшем состоянии.

Для проверки настройки ФТОП с входа панели измеряются токи срабатывания реле КА1 в режиме питания АВ, ВС, СА (двухфазное КЗ), затем АО, ВО, СО (однофазное КЗ). Если реле КА1 не настроено (вибрация контактов, разброс токов срабатывания при повторении измерений и т. п.), настройку ФТОП можно проверить, подавая токи в тех же режимах до определенного тока в мил-

лиамперметре с внутренним сопротивлением не более 75 Ом, включенном в рассечку накладки ХВ4. Среднее значение тока срабатывания реле КА1 при однофазных КЗ должно превышать среднее значение тока срабатывания при двухфазных КЗ в  $\sqrt{3}$  раз с точностью  $\pm 5\%$ . Токи срабатывания реле КА1 в каждом из режимов двухфазного КЗ не должны отличаться от среднего значения более чем на 3,5%, то же в режимах однофазного КЗ. Если разброс токов выходит за указанные пределы, производится настройка фильтра. Для этого от схемы фильтра отключаются трансформаторы ТА2, ТА3 снятием перемычек 29-31, 33-35 и отключается нагрузка фильтра снятием наклейки переключателя уставок по  $I_2$ . На фильтр подается переменное напряжение 100 В (между зажимом 35 и общей точкой переключателя уставок по  $I_2$ ), и резисторами R7, R10 регулируется соотношение напряжений

$$\frac{U_{C2}}{U_{R7+R8}} = \frac{U_{R9+R10}}{U_{C3}} = \sqrt{3}, \quad (23)$$

которое для обоих плеч должно выдерживаться с точностью 1,5—2%. Значения напряжений и зажимы подключения вольтметра приведены в табл. 6.

Таблица 6

Обозначение напряжения	Зажимы измерения		Напряжение, В
	КРБ-126	КРБ-125	
$U_{C2}$	31-35	18-32	86,5
$U_{R7+R8}$	31- $I_2$	20-32	50
$U_{R9+R10}$	35-39	18-36	86,5
$U_{C3}$	39- $I_2$	16-36	50

После этого необходимо восстановить заданное положение наклейки переключателя уставок по  $I_2$ , переключки 29-31, 33-35 и повторить проверку настройки фильтра подачи в панель токов АВ, ВС, СА, АО, ВО, СО. Если разброс токов срабатывания реле КА1 не укладывается в заданные пределы, проверяется исправность трансформаторов ТА2, ТА3.

Для проверки ТА2 вместо переключки 29-31 подключается миллиамперметр, на вход панели подаются номинальные токи (5 или 1 А) поочередно на зажимы СА, АО, СО. Вторичные токи, измеренные миллиамперметром, должны соотноситься как 3.2.1 и быть примерно равны-



ми 114, 76, 38 мА. Для проверки ТА3 миллиамперметр устанавливается вместо перемычки 33-35 и ток подается на зажимы ВС, ВО, СО. Соотношения токов и их абсолютные значения должны быть такими же.

*Проверка уставки по  $I_2$ .* Производится проверка соответствия измеренного на входе панели тока срабатывания поляризованного реле КА1 уставке, выставленной на переключателе уставок по  $I_2$ . Значение тока срабатывания КА1 при подаче тока на вход АВ должно быть связано с током уставки соотношением

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{I_{\text{AB с.р.}}}{\sqrt{3}}, \quad (24)$$

а при подаче тока на вход А0 — соотношением

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{I_{\text{A0 с.р.}}}{3}. \quad (25)$$

При отклонении измеренного на входе панели тока срабатывания реле КА1 от тока уставки на значение более  $\pm 10\%$  следует подрегулировать ток срабатывания изменением положения левого неподвижного контакта реле КА1.

В цепь ХВ4 включается миллиамперметр и при подаче тока на вход АВ (или ВС, СА) измеряются токи срабатывания и возврата самого поляризованного реле. Ток срабатывания должен лежать в пределах 2,4—2,6 мА, коэффициент возврата должен быть не менее 0,4, но близок к этому значению (иначе есть опасность ненадежной работы контактов). Регулирование тока возврата и, следовательно, коэффициента возврата производится изменением положения правого неподвижного контакта поляризованного реле. При этом необходимо помнить об обеспечении требуемого зазора между контактами реле.

Исключается миллиамперметр, устанавливается накладная ХВ4, якорь реле КЛЗ заклинивается в отпавшем положении. Измеряется ток на входе АВ (ВС, СА) панели при возврате поляризованного реле и вычисляется коэффициент возврата блокировки в полной схеме. Он должен быть в пределах 0,7—0,9 (лучше ближе к нижнему пределу), в противном случае следует проверить резистор R12 в цепи, шунтирующей рабочую обмотку реле КА1.

*Проверка чувствительности блокировки по току  $3I_0$*  может не производиться, если не задана уставка по  $3I_0$ , однако при наладке такая проверка весьма полезна ввиду возможности ввода этой приставки при изменениях уста-

вок сети. Если уставка задана, проверка производится на заданной уставке, если не задана, проверка производится для любого из трех положений переключателя по  $3I_0$ . Блокировка по  $3I_0$  включается снятием перемычки 38-40 и установкой перемычки 36—38 на зажимах АКВ1, отключается ФТОП размыканием накладки ХВ1, выводится торможение размыканием накладки ХВ2, реле КЛЗ фиксируется в сработанном положении и на панель подается любой из токов А0, В0, С0 до срабатывания поляризованного реле КА1. Измеренное значение должно отличаться от уставки не более чем на  $\pm 15\%$ . Восстанавливается исходное положение перемычек и накладок.

*Проверка коэффициента торможения.* Коэффициент торможения  $K_t$ , %, определяется из (16):

$$K_t = \frac{I_{\text{с.р.}} - I_{\text{с.р.0}}}{I_t} 100, \quad (26)$$

где все обозначения соответствуют обозначениям в (16).

При подаче на панель тока двухфазного КЗ (например, ВС) можно пользоваться более удобным выражением, %:

$$K_t = \frac{I_{\text{BC с.р.}} - I_{\text{BC с.р.0}}}{\sqrt{3} I_t} 100, \quad (27)$$

где  $I_{\text{BC с.р.}}$  — ток ВС на входе панели в момент срабатывания реле КА1 при минимальной уставке по  $I_2$  и при данном токе торможения, А;  $I_{\text{BC с.р.0}}$  — то же, но при отсутствии тока торможения, А; остальные обозначения соответствуют обозначениям в (16).

Для проверки  $K_t$  выставляется минимальная уставка по  $I_2$ , реле КЛЗ заклинивается в сработанном положении, размыкается перемычка 6-8 комплекта АКВ1, на зажимы 4-8 трансформатора ТА1 подается тормозной ток от постороннего источника тремя-четырьмя ступенями в диапазоне  $(2 \div 7) I_{\text{ном}}$ , на вход ВС панели подается ток до срабатывания КА1 при отсутствии и при наличии торможения. Вычисленный по формуле (27) коэффициент не должен отличаться от уставки, установленной на переключателе  $K_t$ , более чем на  $\pm 10\%$ .

Для удобства проведения последующих проверок выставляется заданная уставка по  $I_2$  и на этой уставке производятся аналогичные измерения. Значение  $K_t$ , которое при этих условиях пропорционально возрастает, фиксируется в протоколе и служит отправной точкой для оценки исправности элементов торможения без перехода на минимальную уставку по  $I_2$ .

В заключение полезно при перемычках и накладках, установленных в рабочее положение (по  $I_2$ ,  $3I_0$ ,  $K_7$ ), подавая токи на входы  $AB$ ,  $BC$ ,  $CA$ ,  $A0$ ,  $B0$ ,  $C0$ , измерить и записать в протоколе токи срабатывания реле  $KA1$ . Это окажется полезным для оценки исправности блокировки в целом при последующих проверках.

Проверка реле напряжения  $KV1$  в случае его использования производится в соответствии с [21].

**Блокировка типа КРБ-125.** Схема блокировки представлена на рис. 10, а.

*Настройка фильтра напряжения обратной последовательности (ФНОП).* Перемычки и накладки выполняются в соответствии с заданными уставками. Реле  $KL3$  заклинивается в сработавшем положении. К панели подводятся поочередно напряжения  $AB$ ,  $BC$ ,  $CA$ , причем для имитации режима двухфазного КЗ третья фаза замыкается со второй (в устройствах УПЗ-2 и У5053 это реализуется режимом «третья фаза отключена»), т. е. подводятся напряжения  $A—BC$ ,  $B—CA$ ,  $C—AB$  до срабатывания реле  $KV1$ . Если реле не настроено или есть сомнения в его настройке (вибрация контактов, разброс напряжений срабатывания при повторении измерений), настройку ФНОП можно вести подъемом напряжения до определенного, одинакового для всех измерений тока в миллиамперметре, включенном вместо накладки  $XB1$  (внутреннее сопротивление прибора — не более 75 Ом).

Напряжения срабатывания при всех трех измерениях не должны отличаться от среднего значения более чем на 1,5 %. Если разброс напряжений срабатывания выходит за указанные пределы, необходимо произвести настройку фильтра. Для этого отключается нагрузка фильтра размыканием перемычки 32-34 комплекта  $AKB1$  и к панели подводится напряжение  $U_{B-CA}$ , равное 100 В. Резисторами  $R7$ ,  $R10$  регулируется соотношение напряжений по выражению (23), которое для обоих плеч должно выдерживаться с точностью 1,5—2 %. Требуемые значения напряжений и зажимы подключения вольтметра приведены в табл. 6.

После этого восстанавливается перемычка 32-34 и повторно проверяется настройка ФНОП подачей напряжений  $A—BC$ ,  $B—CA$ ,  $C—AB$ .

*Проверка уставки по  $U_2$ .* Производится проверка соответствия измеренного на входе панели напряжения срабатывания реле  $KV1$  уставке, выставленной на переключателе уставок по  $U_2$ . Среднее значение напряжений срабаты-

вания  $KV1$ , полученное в результате измерений, выполненных при настройке ФНОП, должно быть связано с фазным напряжением уставки соотношением

$$U_{2c, p} = \frac{U_{c, p, \text{изм}}}{3}. \quad (28)$$

При отклонении измеренного напряжения срабатывания  $KV1$  от уставки более чем на  $\pm 10\%$  следует подрегулировать напряжение срабатывания изменением положения левого неподвижного контакта реле  $KV1$ .

В цепь  $XB1$  включается миллиамперметр и при подаче на вход одного из напряжений  $A—BC$ ,  $B—CA$ ,  $C—AB$  измеряются токи срабатывания и возврата самого поляризованного реле  $KV1$ . Ток срабатывания должен лежать в пределах 1,6—1,8 мА, а коэффициент возврата должен быть не менее 0,4. Регулировка тока возврата и, следовательно, коэффициента возврата производится изменением положения правого неподвижного контакта поляризованного реле. При этом необходимо помнить о сохранении требуемого зазора между контактами реле.

Затем исключается миллиамперметр, устанавливается накладка  $XB1$ , якорь реле  $KL3$  заклинивается в отпавшем положении. Измеряется напряжение  $A—BC$  ( $B—CA$ ,  $C—AB$ ) на входе панели при возврате реле  $KV1$  и вычисляется коэффициент возврата блокировки в полной схеме. Он должен быть в пределах 0,7—0,9 (лучше ближе к нижнему пределу), в противном случае следует проверить резистор  $R11$  в цепи обмотки реле  $KV1$ .

*Проверка чувствительности блокировки по току  $3I_0$  и реле напряжения  $KV2$*  производится так же, как для КРБ-126. Блокировка вводится установкой перемычки 6-8 комплекта  $AKB1$ . Ток подается в панель на один из входов  $A0$ ,  $B0$ ,  $C0$ . Реле  $KV2$  проверяется по [21].

## 19. ПРОВЕРКА БЛОКИРОВКИ ПРИ НЕИСПРАВНОСТЯХ В ЦЕПЯХ НАПЯЖЕНИЯ (ТИПА КРБ-12)

Проверяется настройка реле  $KV1$  (рис. 12, а). Вместо накладки  $XB7$  включается миллиамперметр. На вход  $3U_0$  панели, на зажимы 260—256 (см. рис. 15) подается регулируемое напряжение. Измеряется ток срабатывания и возврата реле  $KV1$ . Ток срабатывания регулируется в пределах 1,7—1,9 мА, коэффициент возврата — не менее 0,45.

Проверяется исправность ветвей звезды резисторов  $R33—R35$ . Для этого к панели подводятся поочередно три равных фазных напряжения 60 В на входы  $A0$ ,  $B0$ ,  $C0$

при замкнутых на нуль двух свободных фазах, т. е.  $A—BC0$ ,  $B—CA0$ ,  $C—AB0$ . Миллиамперметр, включенный в цепь  $KV1$ , при подаче напряжения  $A—BC0$  должен показать ток примерно в 2 раза больший, чем при подаче двух других напряжений.

Проверяется балансировка реле по обмоткам  $\omega 4$  и  $\omega 3$ . Отключаются провода на зажимах 42, 44, 46, 48, 38, 40, 75 комплекта  $AKZ2$ . На комплект  $AKZ2$  подаются напряжение 60 В на вход  $B0$  (44-48) и напряжение 100 В на вход ИН (75-40). Регулировкой резистора  $R37$  добиваются отсутствия тока в реле  $KV1$ . Проверяется балансировка по обмоткам  $\omega 3$  и  $\omega 2$ . На комплект  $AKZ2$  подается напряжение 100 В на входы ИН (75-40) и  $3U_0$  (38-40). Регулировкой резистора  $R39$  добиваются отсутствия тока в реле  $KV1$ .

Вышеуказанные испытания достаточно трудоемки, поэтому регулировку резисторов  $R37$ ,  $R39$  удобнее производить на этапе проверки защиты под нагрузкой после подключения панели к действующему ТН, как будет описано в § 23.

## 20. НАЛАДКА ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ И ТОКОВОЙ ОТСЕЧКИ

Проверяются реле тока по [21]. Настраиваются токи срабатывания  $I_{с,р}$  и возврата  $I_{в,р}$  реле на рабочих уставках, проверяется отсутствие вибрации контактов при поданном на панель постоянном напряжении. Проверка производится в диапазоне токов от  $1,05 I_{с,р}$  до максимального тока КЗ. Повторно проверяются  $I_{с,р}$  и  $I_{в,р}$ .

Затем проверяются РМ по [12]. Снимается контактная плата. Устраняется самоход по току при закороченной обмотке напряжения. В панель подается ток на вход  $A0$  или  $B0$ ,  $C0$  до максимального тока однофазного КЗ на землю или до тока срабатывания I ступени ТЗНП, если она ненаправленная. Устраняется самоход по напряжению при разомкнутой токовой обмотке. На вход  $HK$  ( $3U_0$ ) панели подается напряжение до 110 В. Затем перепроверяется самоход по току. Чтобы найти положение сердечника, когда оба самохода отсутствуют или действуют на размыкание, последний целесообразно поворачивать все время в одном и том же направлении. При проверке самоходов надо остерегаться перегрева обмоток РМ.

Устанавливается контактная плата. Проверяются зона работы РМ и угол  $\varphi_{м,ч}$  подачей на токовый вход  $A0$  или

$B0$ ,  $C0$  панели номинального тока и на вход  $3U_0$  номинального напряжения, регулируемого по углу относительно тока. При токе, равном номинальному, и угле между током и напряжением, равном углу  $\varphi_{м,ч}$ , проверяется минимальное напряжение срабатывания РМ и вычисляется минимальная мощность срабатывания. Она должна быть не более заданной, регулируется углом затяжки пружины. Проверяется отсутствие вибрации контактов при поданном на панель постоянном напряжении. Для этого в панель подаются ток и напряжение под углом  $\varphi_{м,ч}$  в диапазоне мощностей от  $1,2 P_{с,р}$  до заданной максимальной мощности  $P_{max}$ . Контролируется четкость работы контактов РМ и четкость работы реле-повторителей.

Если имеется направленная ступень защиты без выдержки времени, проверяется поведение реле при сбросе обратной мощности, т. е. при угле  $\varphi_{м,ч} + 180^\circ$ , от  $10 P_{с,р}$  до заданной максимальной обратной мощности. Не должно быть клевков до замыкания контактов. Клевки устраняются затяжкой пружины и регулировкой контактной системы. Остальные характеристики ТЗНП и отсеки оцениваются при последующих проверках (см. § 22, 23).

## 21. КОМПЛЕКСНАЯ ПРОВЕРКА ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

Проверка является одним из заключительных этапов работы, после которого недопустимо выполнять какие-либо перестройки в схеме ДЗ. Поэтому окончательно проверяется положение всех переключателей на панели и на лицевых платах комплектов. Для предотвращения сбоев в работе III ступени целесообразно оставить разомкнутой до проверки под нагрузкой накладку  $XB7$  в цепи реле  $KV1$  блокировки при неисправностях цепей напряжения, если блок питания НИ комплекта  $AKZ1$  запитан через размыкающий контакт упомянутого реле. Подключать указанный блок питания помимо этого контакта нежелательно, так как этот контакт становится неконтролируемым, его разомкнутое состояние остается незамеченным и III ступень ДЗ может оказаться выведенной из действия. При имитации несимметричных КЗ, когда на панель не подаются напряжения из схемы разомкнутого треугольника ТН, блокировка может сработать и запретить действие III ступени.

Комплексная проверка включает в себя ряд операций.

1. Имитируются режимы двухфазного КЗ в I, II и III зонах действия ДЗ, измеряются и настраиваются времена

каждой ступени. При этом оценивается поведение защиты в целом вблизи границ зон действия, при  $0Z_I$ ,  $0,9Z_I$ ,  $1,1Z_I$ ,  $0,9Z_{II}$ ,  $1,1Z_{II}$ ,  $0,9Z_{III}$ ,  $1,1Z_{III}$ . Для измерения времени срабатывания защиты секундомер пускается при подаче на панель токов и напряжений аварийного режима и устанавливается замыкающими контактами выходного реле ДЗ, действующими на отключение. Контакты должны быть отключены от остальной схемы панели. Для имитации аварийных режимов выбираются токи КЗ примерно посередине заданных диапазонов токов настройки. Напряжения рассчитываются исходя из выбранных токов по формуле (20). Угол между током и напряжением принимается равным заданному углу настройки. Поскольку необходимо оценить поведение каждого РС в составе ДЗ, режим двухфазного КЗ имитируется поочередно для всех трех возможных сочетаний поврежденных фаз: АВ, ВС, СА. Соответственно при имитации каждого КЗ, например АВ, в комплектах АКЗ1 и АКЗ2 размыкаются накладки ХВЗ в РС, не предназначенных для работы в этом режиме (КЗ2 и КЗ3 для нашего примера). Параметры аварийного режима удобно выставлять при снятом с панели оперативном напряжении. Следует подать на панель третью фазу цепей напряжения (напряжение подпитки). Переключением ключа режимов испытательного устройства в положение «Нормальный» отключается ток КЗ и в цепи напряжения панели подается примерно номинальное и симметричное напряжение. На панель подается постоянное напряжение, установкой ключа режимов в положение «Аварийный двухфазный» в панель подается предварительно настроенный ток КЗ, линейное напряжение между двумя фазами цепей напряжения снижается до предварительно выставленного и одновременно пускается секундомер. Время действия мгновенных ступеней ДЗ с выходным реле КЛ4 комплекта АКЗ2 обычно не превышает 40—65 мс, с выносным реле КЛ1 — 0,08—0,1 с. Время действия ступеней с выдержками времени выставляется обычно при имитации режима КЗ на уставках  $0,5Z_I$ ,  $1,1Z_I$ ,  $1,1Z_{II}$ . Целесообразно измерить также время ступеней, ускоряемых оперативно и после АПВ, для чего включается соответствующая накладка и заклинивается в сработавшем состоянии реле КЛ6 комплекта АКЗ2.

Для проверки времени срабатывания неблокируемой II ступени при наличии блокируемой II ступени целесообразно кратковременно подать аварийный режим, тем самым вывести из действия блокируемую ступень, а затем,

пока не истекло время возврата блокировки при качаниях, вновь подать аварийный режим вплоть до срабатывания выходного реле. Аналогично проверяется несрабатывание блокируемой I ступени при работающем реле времени блокировки.

2. Проверяется поведение ДЗ при близких двухфазных КЗ (напряжение между поврежденными фазами снижается до нуля), характеризующее правильность включения трансреакторов подпитки. При токе, направленном от шин (угол КЗ равен углу настройки РС), все РС должны четко срабатывать. При токе, направленном к шинам (угол КЗ равен углу настройки плюс  $180^\circ$ ), т. е. при КЗ вне зоны действия I и II ступеней ДЗ, должны срабатывать только РС III ступени, если задано смещение их характеристик в III квадрант. Имитация производится в режиме, когда направление тока, подаваемого в панель, изменено на  $180^\circ$  (фазометр показывает угол, равный углу настройки плюс  $180^\circ$ ), причем ток выбирается равным максимальному току по ВЛ при двухфазном КЗ на шинах ПС.

3. Проверяется поведение защиты при близких трехфазных КЗ на ВЛ, тем самым оценивается качество настройки контура «памяти» дистанционных органов. В панель поочередно подаются токи на входы АВ, ВС, СА, а все три линейные напряжения, подаваемые в панель, снижаются до нуля, для чего ключ режимов испытательного устройства из положения «Нормальное» переводится кратковременно в положение «Аварийный трехфазный». Выходные реле ДЗ должны при этом кратковременно сработать. Время действия защиты в режиме трехфазного КЗ близко к времени ее действия в режиме двухфазных КЗ, поэтому измерение этого времени вряд ли целесообразно. Зато время замкнутого состояния контактов выходного реле весьма важно, так как характеризует надежность работы защиты. Для измерения этого времени секундомер остается включенным так же, как в п. 1, только режим останова секундомера переключается: вместо «измерение срабатывания на замыкающих контактах» устанавливается «измерение срабатывания на размыкающих контактах». Время замкнутого состояния контактов выходного реле защиты не должно быть менее 40 мс при токе, равном максимальному току трехфазного КЗ в начале ВЛ. Для увеличения в случае необходимости этого времени целесообразно отключить демпферную обмотку выходного реле, уменьшить в пределах заданных норм смещение характе-

ристики дистанционных органов в I квадрант при отсутствии подпитки (ток в НИ не менее 8 мкА в сторону торможения), уменьшить уставку в цепях тока  $Z_{уст, min}$ , если это возможно по условиям обеспечения требуемого тока точной работы. При этом требуется повторить настройку РС.

4. Проверяется поведение защиты при трехфазных КЗ «за спиной» до максимального тока КЗ по ВЛ при КЗ на шинах ПС. Имитация КЗ выполняется аналогично предыдущему пункту, но направление тока меняется на обратное. При этом защита срабатывать не должна.

5. Проверяется поведение защиты при трехфазных КЗ «за спиной» в тупиковом режиме работы ВЛ. Имитация КЗ аналогична п. 4, но при отсутствии тока в панели Защита срабатывать не должна.

Следует отметить, что при имитации КЗ «за спиной» при двухфазных и трехфазных КЗ возможно весьма опасное кратковременное срабатывание НИ дистанционных органов при переключении этих органов с уставок I ступени на уставки II ступени. Проведенные измерения (инж. Студеникиным Н. Н.) показали, что контакты реле  $KL1$ — $AKZ2$ , тщательно отрегулированные на безобрывное переключение цепи тормозного контура РС, в динамике при возврате  $KL1$  фактически переключаются с разрывом цепи на время несколько миллисекунд. Происходит это потому, что нижние подвижные контактные пружины замыкающих контактов, имея большее натяжение, чем верхние, следуют за якорем быстрее. Этого, по-видимому, достаточно для срабатывания быстродействующего НИ (с учетом переходных процессов в схеме сравнения. Чтобы избежать действия дистанционных органов на отключение, целесообразно, во-первых, регулировать контакты  $KL1.1$  в цепи действия на отключение таким образом, чтобы его замыкающий контакт при возврате реле  $KL1$  размыкался раньше, чем размыкаются его замыкающие контакты в цепях переключения уставок РС, во-вторых, использовать выносное реле в качестве выходного, размыкая в цепях повышения быстродействия его демпферную обмотку.

## 22. КОМПЛЕКСНАЯ ПРОВЕРКА ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Эта проверка, аналогичная соответствующей проверке ДЗ, не требуется нормами, но весьма полезна в качестве одного из заключительных этапов работы. Перед комплекс-

ной проверкой следует окончательно убедиться в правильности установки всех перемычек панели и комплектов, а после проверки недопустимо выполнять какие-либо переделки в схеме.

Проверкой имитируются однофазные КЗ, например А0, в зонах действия I—IV ступеней ТЗНП, измеряются и настраиваются времена срабатывания каждой ступени, включая ускоряемые ступени. Целесообразно имитировать КЗ вблизи границ зон действия защиты при  $1,1I_{с, рп}$ ,  $0,9I_{с, рп}$ ,  $1,1I_{с, рп}$ ,  $0,9I_{с, рп}$  и т. д. вплоть до  $0,9I_{с, рп}$ .

Для наиболее правильной имитации одновременно с подачей тока в панель и пуском секундомера следует подавать напряжение в обмотки РМ под углом  $\varphi_{м, ч}$  к подаваемому току. Поскольку большинство выпускаемых испытательных устройств не позволяют этого делать, можно либо зашунтировать контакты разрешающего РМ, либо имитировать (не совсем строго) режим КЗ, так же как для ДЗ, снижением напряжения на обмотках РМ со 100 В до заданного, следя за тем, чтобы не перегреть обмотки напряжения РМ.

Имитация КЗ «за спиной» не требуется, так как она фактически выполнялась при настройке РМ.

## 23. ПРОВЕРКА ЗАЩИТЫ РАБОЧИМ ТОКОМ И НАПРЯЖЕНИЕМ

Проверка обязательно производится перед вводом защиты в работу, чтобы убедиться в правильности ее подключения по цепям тока и напряжения. Перед проверкой защита подключается по всем цепям. Опробуется действие сигнализации, действие защиты на отключение выключателей и на пуск УРОВ. Затем действие защиты на отключение и на пуск УРОВ выводится накладками.

Проверка защиты рабочим током и напряжением включает в себя ряд этапов.

1. Производится проверка правильности подключения цепей напряжения фазировкой с достоверно известными цепями, например на панели ТН. Если панель имеет индивидуальное переключение цепей напряжения с основного на резервный ТН (с помощью переключателя или реле повторителей положения разъединителей), такая фазировка производится дважды с цепями того и другого ТН. Измеряется небаланс между началом и концом цепей разомкнутого треугольника ТН (см. рис. 12, а), который должен быть близок к небалансу, измеренному на панелях ТН. Определяется, какой из двух зажимов является началом,

а какой концом. Для этого измеряется напряжение на этих зажимах относительно земли. Измеренное напряжение между концом и землей должно быть близко к нулю.

2. Уточняется настройка блокировки при неисправности цепей напряжения (см. рис. 12, а). Вместо накладки ХВ7-АКЗ2 включается миллиамперметр. Резистором  $R37$  устанавливается минимум тока через реле  $KV1$ . Имитируется режим однофазного КЗ: на ряде зажимов панели отключаются фаза  $A$  (в схеме звезды) и вывод  $H$  (в схеме разомкнутого треугольника) цепей напряжения; вход  $A$  панели закорачивается на нуль, на вход  $H$  подается вывод  $I$  (испытательная жила) от ТН. Резистором  $R39$  устанавливается минимум тока через реле  $KV1$ . В обоих случаях ток в реле  $KV1$  не должен превышать  $0,2—0,3$  мА. Восстанавливается нормальное подключение панели. Проверяется, чтобы при размыкании каждой фазы и нуля цепей напряжения ток в реле  $KV1$  становился больше тока срабатывания. Проверяется загорание неоновой лампы  $HL1$ -АКЗ2. После имитации обрывов проверяется ток небаланса и замыкается накладка  $XB7$ -АКЗ2.

3. Проверяется правильность включения блокировки при качаниях типа КРБ-125. Вместо накладки  $XB1$ -АКВ1 включается миллиамперметр (см. рис. 10, а). Измеряется ток небаланса при нормальном подключении панели (ток должен быть ниже тока возврата реле  $KV1$ ) и при перекрещивании любых двух фаз звезды цепей напряжения (ток должен быть больше тока срабатывания реле  $KV1$  во столько раз, во сколько раз фазное напряжение превышает значение заданной уставки). Восстанавливается нормальное подключение панели и контролируется ток небаланса. Замыкается накладка  $XB1$ -АКВ1.

4. Воздушная линия ставится под нагрузку с другой полноценной защитой (диффазной, защитой подставного щитка и т. п.). Снимается векторная диаграмма токов, сравнивается с заведомо достоверными показаниями ваттметров и варметров. При отсутствии таковых, например при включении новой ВЛ, создается тупиковый режим ее работы. Проверяется правильность включения блокировки при качаниях типа КРБ-126. Вместо накладки  $a$ -б  $XB1$ -АКВ1 (см. рис. 11, а) включается миллиамперметр. Измеряется ток небаланса при нормальном включении панели. Ток возврата реле  $KA1$  должен быть больше измеренного тока небаланса, умноженного на отношение максимально допустимого тока нагрузки по ВЛ к данному току нагрузки. Ток цепи закорачиваются на входе панели, пере-

крещиваются любые две фазы цепей тока и закоротка снимается. Ток в реле  $KA1$  должен превышать ток срабатывания во столько раз, во сколько данный ток нагрузки больше уставки блокировки по  $I_2$ . Восстанавливается нормальное подключение панели, проверяется ток небаланса и замыкается накладка  $XB1$ -АКВ1.

5. Проверяется правильность выбора направления ДЗ. Для этого достаточно оценить направленность одного РС из шести, так как при комплексной проверке должны были быть выявлены все ошибки монтажа внутри панели. Накладка  $XB3$  проверяемого реле (например, реле блока  $KZ1$  в комплекте  $AKZ2$ ) устанавливается в положение  $a$ -б. Между зажимами  $a$ -в включается микроамперметр (желательно с нулем посередине), все наклейки  $XB3$  проверяемого комплекта устанавливаются в положение  $b$ -в. Фиксируется значение тормозного тока в схеме сравнения и РС переводится в режим органа направления мощности, для чего фазы  $A$  и  $B$  цепей напряжения панели отключаются от внешних цепей и закорачиваются (рис. 22, а). Тем самым на реле  $KZ1$  остается поданным только напряжение подпитки  $C0$ , образующее в контурах РС напряжение  $E_n$ , вектор которого совпадает по направлению с век-

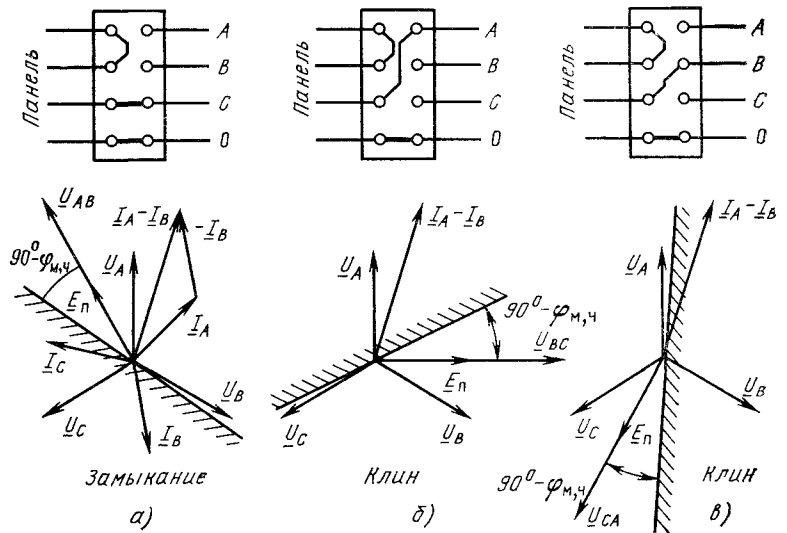


Рис. 22. Проверка под нагрузкой направленности РС при подаче на вход  $C0$  цепей напряжения панели:

$a$  — напряжения  $C0$ ;  $б$  — напряжения  $A0$ ;  $в$  — напряжения  $B0$

тором основного напряжения  $AB$ . При разных взаимных положениях векторов  $\underline{E}_n$  и тока в реле проверяется поведение РС и сравнивается с предполагаемым по векторной диаграмме. Изменить взаимное положение указанных векторов можно, либо подавая в проверяемое РС токи нагрузки от разных фаз, либо подавая на контур подпитки разные фазные напряжения. Последний способ легче, поэтому достаточно описать только его.

Оценивается направление тока в схеме сравнения реле  $KZ1$  при поданном напряжении подпитки  $CO$  и токе нагрузки в фазах  $AB$ . Если вектор  $\underline{I}_A - \underline{I}_B$  из векторной диаграммы токов попадает в зону срабатывания РС, построенную из ранее снятой для реле, включаемого на напряжение и ток  $AB$ , характеристики в режиме органа направления мощности, ток в НИ должен быть направлен в сторону срабатывания. Проверяется факт срабатывания выходного реле НИ.

Оцениваются ток в схеме сравнения и поведение НИ реле  $KZ1$  (включаемого на фазы  $AB$ ) при том же токе в реле ( $\underline{I}_A - \underline{I}_B$ ), но при поданных других напряжениях подпитки. Для этого фаза  $C$  панели отключается от схемы цепей напряжения и на нее поочередно подаются напряжения фаз  $A$  и  $B$  от ТН (рис. 22, б и в). Тем самым на реле  $KZ1$  подаются напряжения подпитки  $AO$  и  $BO$ , что соответствует схемам включения и зоне срабатывания реле  $KZ2$  (включаемого на фазы  $BC$ ) и  $KZ3$  (включаемого на фазы  $CA$ ). По трем вариантам поведения РС делается вывод о правильности ориентировки РС. Восстанавливается нормальная схема цепей напряжения и проверяется, вернулся ли тормозной ток к исходному значению. Все операции легко и быстро выполняются с помощью заранее подготовленных контрольных тест-блоков, вставляемых по схеме рис. 22 вместо рабочих крышек испытательных блоков цепей напряжения. При этом должна быть проверена фазировка зажимов этих блоков с зажимами панели.

6. Проверяется правильность выбора направления РМ в ТЗНП. Для этого имитируется однофазное КЗ: в токовую обмотку РМ подается ток  $3\underline{I}_0$ , а на обмотку напряжения РМ — напряжение  $3\underline{U}_0$ . Для подачи тока  $3\underline{I}_0$  в нулевой провод токовых цепей пропускаются поочередно токи фаз  $A$ ,  $B$  и  $C$  закорачиванием двух других фаз ( $BC0$ ,  $AC0$ ,  $AB0$ ) в соответствии с рис. 23. Для подачи напряжения

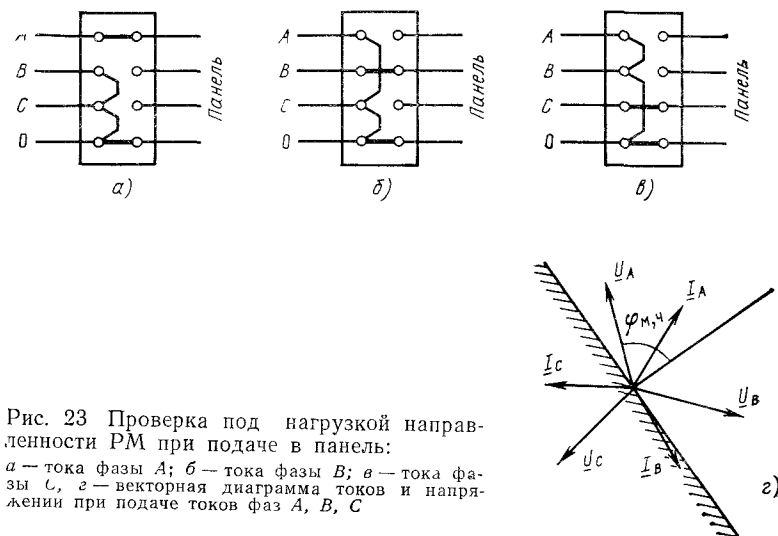


Рис. 23 Проверка под нагрузкой направленности РМ при подаче в панель:

а — тока фазы  $A$ ; б — тока фазы  $B$ ; в — тока фазы  $C$ , з — векторная диаграмма токов и напряжений при подаче токов фаз  $A$ ,  $B$ ,  $C$

$3U_0$  от панели отсоединяется фаза  $H$  разомкнутого треугольника ТН и вместо нее подключается фаза  $И$  (испытательная жила). Этим имитируется исключение одной фазы цепей напряжения (фазы  $A$  для рис. 12). При этом зона работы разрешающего РМ и его поведение при подаче токов на входы  $A$ ,  $B$  и  $C$  должны соответствовать диаграмме рис. 23, з. При другом способе исполнения цепей разомкнутого треугольника потенциальная диаграмма и диаграмма поведения будут иными, поэтому перед началом проверки направленности РМ следует точно знать потенциальную диаграмму цепей напряжения и место подключения испытательной жилы.

Проверяется, чтобы поведение блокирующего РМ было противоположно поведению разрешающего. Восстанавливается нормальная схема цепей тока и напряжения, проверяется небаланс в нулевом проводе и на обмотках напряжения РМ. При выполнении переключений тока на испытательных блоках следует проверить соответствие фаз тока на блоках и на рядах зажимов панели.

## 24. ОБСЛУЖИВАНИЕ ЗАЩИТЫ ОПЕРАТИВНЫМ ПЕРСОНАЛОМ

1. В режиме готовности защиты к действию следует следить за исправностью цепей напряжения и оперативных цепей. Свечение лампы  $HL1-AKZ2$  и выпадение флажка

указательного реле *КН1* панели свидетельствуют о неисправности цепей напряжения. Следует проверить состояние автоматических выключателей (предохранителей) ТН и положение переключателей. Если восстановить напряжение без персонала РЗА не удастся, следует вывести ДЗ из работы во избежание ложного срабатывания от токов нагрузки. Токовые защиты в этом случае ложно сработать не могут, но надо иметь в виду, что при КЗ на землю ступени ТЗНП с разрешающим РМ могут отказать в действии, а ступени с блокирующим РМ могут излишне сработать «за спину». Учитывая, что с блокирующими РМ выполняются обычно ступени ТЗНП, предназначенные для дальнего резервирования, и, следовательно, вероятность их излишнего действия невелика, выводить ТЗНП из работы нецелесообразно.

2. Одновременное выпадение флажков указательных реле *КН2*, *КН3* панели свидетельствует о неисправностях оперативного напряжения. Следует проверить состояние автоматических выключателей (предохранителей) защиты. Если восстановить оперативное напряжение не удастся, а рассматриваемая защита является для ВЛ единственной, следует завести ВЛ через обходной выключатель или последовательно с шиносоединительным выключателем (на котором ввести свои защиты) или односторонне отключить ВЛ.

3. Если выпал флажок одного из вышеуказанных реле, это может свидетельствовать либо об исчезновении оперативного напряжения на одном из комплексов, если каждый комплекс имеет свой автоматический выключатель, либо о неисправности одного из блоков питания НИ. Меры аналогичны приведенным в п. 2, но следует иметь в виду, что часть защит остается в работе, и вопрос о необходимости перевода ВЛ на обходной выключатель или о других мероприятиях следует решать дежурному диспетчеру по согласованию со службой РЗА.

4. При срабатывании защиты следует отметить мелом, а затем записать и сквитировать выпавшие флажки указательных реле. При срабатывании любой из защит I комплекса в комплекте *АКЗ2* должен также выпасть флажок указательного реле *КН6* «Отключение В1» (или флажки *КН6*, *КН7*, если имеются два выключателя на ВЛ). Аналогично при срабатывании любой из защит II комплекса должны выпадать также флажки указательных реле *КН4* или двух реле *КН4* и *КН5* панели. За выпадением этих флажков следует тщательно следить, поскольку

ку они являются единственными свидетелями исправности цепей отключения и при отказе в отключении ВЛ позволяют определить, отказала защита или выключатель. Квитируя указательные реле комплектов после их срабатывания, следует обращать внимание на то, возвратилась ли кнопка квитирования после нажатия на нее, так как известны случаи, когда этой кнопкой оказывались зажатыми и не могли выпасть все флажки указательных реле комплекта.

5. Обо всех неисправностях следует в соответствии с инструкцией по обслуживанию данной защиты немедленно доложить вышестоящему оперативному персоналу, руководству службы РЗАИ, а также записать в журнал дефектов.



при $Z_{уст, min}=0,25$ (1,25) Ом/фазу . . . . .	6,4—150	(1,28—30) А
при $Z_{уст, min}=0,5$ (2,5) Ом/фазу . . . . .	3,2—100	(0,64—20) А
при $Z_{уст, min}=1$ (5) Ом/фазу		
окружность без смещения . . . . .	1,6—50	(0,32—10) А
эллипс без смещения . . . . .	2,2—50	(0,44—10) А
эллипс или окружность со смещением . . . . .	2,75—42	(0,55—8,4) А
то же <sup>1</sup> . . . . .	1,8—42	(0,36—8,4) А
при $Z_{уст, min}=1,5$ (7,5) Ом/фазу		
окружность без смещения . . . . .	1,1—33,5	(0,22—6,7) А
эллипс без смещения . . . . .	1,5—33,5	(0,3—6,7) А
эллипс или окружность со смещением . . . . .	1,85—28	(0,37—5,6) А
то же <sup>1</sup> . . . . .	1,1—28	(0,22—5,6) А

<sup>1</sup> Нижний предел тока точной работы реле КРС 1 при характеристике со смещением в III квадрант может быть уменьшен перепайкой провода от  $XB6.1$  до вывода 2 трансреактора  $TAVI$  на вывод 9 этого трансреактора (см рис 5<sup>4</sup>, после чего требуется повторная настройка реле.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПАНЕЛИ ЭПЗ-1636м

1. Номинальный переменный ток: 5 А или 1 А (далее в скобках — данные по панелям с номинальным током 1 А).

2 Номинальное переменное напряжение: 100 В.

3 Номинальное постоянное оперативное напряжение 220 или 110 В.

4 Длительная перегрузочная способность: 110 % номинальных величин.

5. Потребляемая мощность при номинальных параметрах

5.1 по цепям переменного тока: не более 9 В·А на фазу (без реле тока),

5.2 по цепям переменного напряжения, подключенным к обмоткам ТН, собранным в звезду: не более 55 В·А на фазу для панели ЭПЗ-1636-67/1; не более 45 В·А на фазу для панели ЭПЗ-1636-67/2,

5.3. по цепям переменного напряжения, подключенным к обмоткам ТН, собранным в разомкнутый треугольник: не более 75 В·А на фазу для РМ с длительным режимом работы, не более 185 В·А на фазу для РМ с кратковременным режимом работы;

5.4 по цепям оперативного напряжения (без учета сигнализации) в режиме дежурства — около 110 Вт, в режиме сквозного КЗ — около 175 Вт, в режиме срабатывания — около 370 Вт.

6 Диапазоны регулировки уставок ДЗ.

6.1. минимальные сопротивления срабатывания,  $Z_{уст, min}$ , регулируемые в цепях тока для ДЗ-2 0,25(1,25); 0,5(2,5), 1,0(5,0) Ом/фазу с точностью  $\pm 10\%$ ; для КРС-1 1,0(5,0); 1,5(7,5) Ом/фазу с точностью  $\pm 10\%$ ;

6.2. максимальные уставки превышают минимальные, указанные в п. 6.1, в 20 раз (включены 5 % витков на  $TVI$ );

6.3. реле КРС-1 имеет возможность смещения характеристики срабатывания в III квадрант на 6—12 % от выполненной уставки (при этом минимальное сопротивление срабатывания по п. 6.1 может увеличиваться на 18 % по сравнению с указанным);

6.4. реле КРС-1 имеет возможность выполнения эллиптической характеристики срабатывания с соотношением осей 0,5; 0,65, 0,8 (с точностью  $\pm 10\%$  при токе, равном  $2I_{ном}$ );

6.5. угол максимальной чувствительности:  $65^\circ \pm 5^\circ$ ,  $80^\circ \pm 5^\circ$ .

8 Надежная работа ДЗ по «памяти» обеспечивается при токах, превышающих нижний предел токов по п. 7 не менее чем в 2 раза, но не более 150(30) А.

9 Время действия ДЗ:

9.1 не более 85 мс при работе через выходное реле  $KL4$  комплекта ДЗ 2 при сопротивлении не более 0,7 сопротивления уставки и при токе не менее удвоенного тока точной работы,

9.2 не менее 100 мс при работе через отдельно стоящее выходное реле  $KL1$  с включенной демпферной обмоткой

10 Чувствительность блокировки КРБ-126 регулируется ступенчато по току обратной последовательности 0,5/0,75/1,0/1,5 (0,1/0,15/0,2/0,3) А с отклонением не более  $\pm 12\%$ ; по утроенному току нулевой последовательности 1,5/3,0/6,0 (0,3/0,6/1,2) А с отклонением не более  $\pm 15\%$

11 Коэффициент торможения блокировки КРБ-126 регулируется ступенчато и при минимальной уставке по току обратной последовательности составляет 4/7/11 % с отклонением не более  $\pm 10\%$

12 Для пуска блокировки КРБ-126 достаточно появления на входе панели трехкратного от уставки тока обратной последовательности длительностью не менее 8 мс.

13 Чувствительность блокировки КРБ-125 регулируется ступенчато по напряжению обратной последовательности 2/3/4/6/8 В фазного напряжения с отклонением не более  $\pm 10\%$ ; по утроенному току нулевой последовательности 1/1,5/2 (0,2/0,3/0,4) А с отклонением не более  $\pm 15\%$

14. Для пуска блокировки КРБ-125 достаточно появления на входе панели трехкратного от уставки напряжения обратной последовательности длительностью не менее 5 мс.

15. Диапазон регулировки уставок ТЗНП и отсечки от многофазных КЗ определяется типом устанавливаемых реле тока.

16. Реле мощности комплекта КЗ-10 имеет следующие данные:

16.1. угол максимальной чувствительности:  $70^\circ \pm 5^\circ$ ;

16.2. минимальная мощность срабатывания при токе, равном номинальному: для кратковременного режима работы 1,5(0,3) В·А или для длительного режима работы 4,5(0,9) В·А.

17. Отдельно стоящее РМ имеет следующие данные:

17.1. угол максимальной чувствительности — как в п. 16.1;

17.2. минимальная мощность срабатывания при токе, равном номинальному: для реле с кратковременным режимом работы (РБМ-178) 1(0,2) В·А; для реле с длительным режимом работы (РБМ-177) 3(0,6) В·А.

18. Сопротивление изоляции всех электрически независимых цепей панели относительно корпуса и между собой не менее 5 МОм.

19. Масса панели около 260 кг.

20. Прочие технические данные, а также спецификации всех элементов следует смотреть в заводских описаниях панели и комплектов ДЗ-2, КРС-1, КРБ-125, КРБ-126 и КЗ-9.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### ТАБЛИЦЫ РЕЖИМНЫХ ПЕРЕМЫЧЕК

В табл. П2.1—П2.4 не указываются снимаемые переключки, кроме переключек, выполненных проводом, т. е. соединяющих удаленные друг от друга зажимы. Поэтому все переключки, примыкающие к приведенным в таблицах зажимам, но в таблицах не указанные, должны быть сняты.

Громоздкие таблицы переключений, связанные с включением ВЧБ, выходят за пределы рассматриваемой темы и поэтому здесь не приводятся. Вследствие значительного разнообразия схем центральной сигнализации в приложении не приводятся таблицы переключек в цепях сигнализации. Переключки комплектов могут быть установлены как внутри, так и снаружи. Для удобства обслуживания целесообразно размещать их снаружи.

Таблица П2.1. Переключения цепей питания оперативным напряжением на рядах зажимов панели (см. рис. 16 и 17)

Вариант по рис. 21	Вариант включения панели	Автоматический выключатель	Подключаемый комплекс	Зажимы подключения		Установлены переключки			Примечания
				+	—	питания	отключения	ускорения	
а	ЭПЗ—резервная, один выключатель	SF1	I, II, управление Q1	96	130	96-97, 97-98, 98-99	130-131, 130-131, 130-131, 130-131, 130-131, 130-131	95-96	129-130
		SF1	I, управление Q1	96	130	—	—	95-96	129-130
б	ЭПЗ—единственная, один выключатель	SF1	I, управление Q1	96	130	—	—	95-96	129-130
		SF1	II	99	131	—	—	—	—
в	ЭПЗ—резервная, выключатель секционный	SF1	I, II	96	130	95-99	130-131, 130-131, 130-131, 130-131, 130-131	95-96	129-130
		SF2	Управление QB	97	—	—	—	—	—
г	ЭПЗ—единственная, выключатель секционный	SF1	I	96	130	—	—	95-96	129-130
		SF2	II	99	131	—	—	—	—
		SF3	Управление QB	97	—	—	—	—	—

Вариант, по рис. 21	Вариант включения панели	Автоматический выключатель	Подключаемый комплекс	Защиты подключения		Установлены перемычки				Примечания	
				+	—	питания		отключения	ускорения		
						+	—		+		—
d	ЭПЗ—резервная, два выключателя	SF1	I, II	96	130	95-99	130-131, 193-194	—	95-96	129-130	Снята перемычка 129-131. См. п. а
		SF2	Управление Q1	97	—	—	—	97-60, 97-98, 98-197	—	—	
		SF3	Управление Q2	100	—	—	—	100-62, 100-101, 101-201	—	—	
e	ЭПЗ—единственная, два выключателя	SF1	I	96	130	—	—	—	95-96	129-130	Сняты перемычки 95-99, 129-131. См. п. в
		SF2	II	99	131	—	193-194	—	—	—	
		SF3	Управление Q1	97	—	—	—	97-60, 97-98, 98-197	—	—	
		SF4	Управление Q2	100	—	—	—	100-62, 100-101, 101-201	—	—	

Таблица П2.2. Переключения токовых цепей на рядах зажимов (см. рис. 14)

Вариант по рис. 21	Вариант включения панели	Питающий трансформатор тока	Защиты подключения	Установлены перемычки		
				Группа 1	Группа 2	Группа 3
a, в	ЭПЗ—резервная, один выключатель	TA1	1, 2, 3, 4	4-5 6-7, 8-9, 10-11, 12-13, 14-15, 16-17	22-133, 23-135, 24-137, 25-139, 148-149-150-151	18-19, 20-21, 144-145, 146-147
		TA1	1, 2, 3, 4		22-23-24-25	
		TA2	133, 135, 137, 139		148-149-150-151	
б, з	ЭПЗ—единственная, один выключатель	TA1	1, 2, 3, 4	4-5, 7-8-9, 11-12-13, 15-16-17	22-133, 23-135, 24-137, 25-139, 148-149-150-151	
		TA3	5, 6, 10, 14		22-23-24-25	
		TA1	1, 2, 3, 4		148-149-150-151	
d	ЭПЗ—резервная, два выключателя	TA1	1, 2, 3, 4	4-5, 7-8-9, 11-12-13, 15-16-17	22-133, 23-135, 24-137, 25-139, 148-149-150-151	
		TA3	5, 6, 10, 14		22-23-24-25	
		TA1	1, 2, 3, 4		148-149-150-151	
e	ЭПЗ—единственная, два выключателя	TA1	1, 2, 3, 4	133-134, 135-136, 137-138, 139-140	22-133, 23-135, 24-137, 25-139, 148-149-150-151	
		TA3	5, 6, 10, 14		22-23-24-25	
		TA2	133, 135, 137, 139		148-149-150-151	
		TA4	134, 136, 138, 140		148-149-150-151	

Т а б л и ц а П2.3. Переключения в логической части защиты, не задаваемые ЦС РЗА (см. рис. 16, 17 и 18)

№ п/п.	Режим	Комплект	Установлены перемычки	
			комплекта	панели
1	В качестве выходного реле I комплекса используется реле <i>KL4</i> комплекта <i>AKZ2</i>	—	—	59-60, 61-62, 111-113
2	В качестве выходного реле I комплекса используется реле <i>KL1</i>	—	—	45-46, 112-113
3	Используется замедление на срабатывание выходных реле	<i>AK1</i>	7-9	—
4	На ПС имеется УРОВ: I ступень ДЗ, блокируемая при качаниях, удерживается контактом <i>KL4.1</i> выходного реле (можно ставить и без УРОВ)	<i>AK2</i>	10-12	—
5	На ПС имеется УРОВ: разрешающее РМ шунтируется контактом <i>KL4.1</i> выходного реле комплекта <i>AK2</i> (можно ставить и без УРОВ)	<i>AKZ2</i>	21-23	—
6	ТН установлен на линии: разрешающее РМ шунтируется контактом <i>KL4.3</i> реле ускорения	—	—	181-182
7	Защита обратной последовательности не предусмотрена	<i>AKB1</i>	23-25	180-181
8	Блокировка при качаниях типа КРБ-126, отсутствуют реле-повторители	—	—	28-35
9	Включена световая сигнализация неисправности цепей напряжения	<i>AKZ2</i>	34-36	—
10	Номинальное напряжение панели 220 В, включен резистор <i>R2</i> (II комплекс)	—	—	189-190, 192-193
11	Обмотка указательного реле токовой отсечки зашунтирована контактом выходного реле (всегда)	<i>AK1</i>	10-12	—
12	Накладки <i>SX2</i> , <i>SX3</i> , <i>SX10</i> используются в цепях отключения	<i>AKZ2</i>	61-63, 43-45, 46-48	—
13	ВЛ присоединена к шинам одним выключателем, демонтирована накладка <i>SX11</i>	<i>AK2</i>	—	95-107

Т а б л и ц а П2.4. Перечень режимов, определяемых телефонограммой перемычек на зажимах комплектов реле и на ряде зажимов панели ЦС РЗА, и соответствующее им положение

№ п/п.	Режим	Комплект "	Установлены перемычки	
			комплекта	панели
1. Дистанционная защита				
1	I ступень без выдержки времени, блокируется при качаниях	AKZ2	21-23	43-44
2	I ступень без выдержки времени, не блокируется при качаниях		23-25	—
3	I ступень с выдержкой времени, блокируется при качаниях, II ступень с одной выдержкой времени, блокируется при качаниях (должны быть сняты перемычки 21-23-25-AKZ2, 43-44-X)		30-32, 33-35, 15-17	—
4	I ступень с выдержкой времени, блокируется при качаниях, II ступень с одной выдержкой времени, не блокируется при качаниях (сняты те же перемычки, как в п. 3)	AKZ2	30-32, 33-35, 17-19	—
5	I ступень с выдержкой времени, не блокируется при качаниях, II ступень при этом также не блокируется (сняты те же перемычки, как в п. 3)		30-32, 33-35, 15-17, 17-19	—
6	II ступень с двумя выдержками времени, с обеими выдержками блокируется при качаниях		15-17, 35-37	—
7	II ступень с меньшей выдержкой времени, используется для оперативного ускорения при выводе основной защиты	AKZ2	15-17	SX1
8	II ступень с двумя выдержками времени, с меньшей выдержкой блокируется при качаниях, с большей выдержкой не блокируется		17-19, 35-37	—
9	II ступень с меньшей выдержкой времени, используется для оперативного ускорения при выводе основной защиты		17-19	SX1
10	Переключение уставок дистанционных органов с I ступени на II:	AKZ2		
10.1	от РС III ступени			
10.2	от РС III ступени и от реле ускорения KL6 комплекта AKZ2		24-26 22-24	39-155, 40-162 39-155, 40-162

№ п/п.	Режим	Комплект	Установлены перемычки	
			комплекта	панели
10.3	от блокировки при качаниях типа КРБ-125 (плюс подводится по п. 11.4)	AKZ2	47-49	33-34
10.4	от блокировки при качаниях типа КРБ-126		47-49	34-35
11.1	Плюс оперативных целей подводится к РС I—II ступеней:		—	34-35
11.2	через контакты блокировки при качаниях типа КРБ-126 через контакты блокировки при неисправностях в цепях напряжения		—	32-33
11.3	через контакты блокировки при качаниях типа КРБ-126 и через контакты блокировки при неисправностях в цепях напряжения в параллель	—	—	32-33, 34-35
11.4	через контакты блокировки при качаниях типа КРБ-125 (должны последовательно включаться контакты блокировки при неисправностях в цепях напряжения)	—	—	33-34
12	Выполняется шунтирование контактов блокировки при качаниях контактом KL2 2 комплекта AKZ2 (при пуске ДЗ от РС III ступени)	—	—	31-32
13	Плюс оперативных целей подводится к РС III ступени:	—	—	154-158, 159-160
13.1	через контакты блокировки при неисправностях в цепях напряжения	—	—	154-156-72-73, 82-81-161-160
13.2	через контакты блокировки при качаниях типа КРБ-126	—	—	—
14	При включении выключателя ускоряется:	AKZ2 AK2 AK2	61-63	41-42
14.1	I—II ступени ДЗ		52-54	177-179
14.2	III ступень ускоряется до $t=0$		50-52	177-179
14.3	III ступень ускоряется до $t=0,5$ с		—	166-167
15	Введено оперативное ускорение III ступени ДЗ на время проверки I комплекса	—	—	—

Продолжение табл. П2.4

№ п/п.	Режим	Комплект	Установлены перемычки	
			комплекта	панели
16	Возврат блокировки при качаниях выполняется:	AKB1 — —	—	—
16.1	через заданное время		22-24	—
16.2	от реле напряжения		—	27-28
16.3	от реле ускорения		—	193-194-195, 163-164
17	Минус оперативных целей подводится к III ступени ДЗ	—	—	—
II. Токовая защита нулевой последовательности и токовая отсечка				
1	I ступень ненаправленная, без выдержки времени	AK2	21-23, 46-48	—
2	I ступень ненаправленная, с выдержкой времени		21-23, 48-50	—
3	II ступень ненаправленная		23-25	183-184
4	II ступень направленная, с блокирующим РМ		25-27, 61-63	183-184
5	III ступень ненаправленная	AKZ2	41-43	185-186
6	III ступень направленная, с блокирующим РМ		43-45, 61-63	185-186
7	IV ступень ненаправленная		43-45	28-29, 29-54
8	IV ступень направленная, с разрешающим РМ		43-45	53-54
9	IV ступень направленная, с блокирующим РМ	AK2	43-45	54-55
10	IV ступень ускоряется оперативно на время проверки II комплекса		43-45	47-48
11	II ступень ускоряется при включении выключателя до $t=0$		52-54	176-177
12	II ступень ускоряется при включении выключателя до $t=0,5$ с		50-52	176-177
13	III ступень ускоряется при включении выключателя до $t=0$	AK2	52-54	177-178
14	III ступень ускоряется при включении выключателя до $t=0,5$ с		50-52	177-178
15	III ступень ускоряется оперативно до $t=0$		37-39	—
16	Токовая отсечка введена постоянно		8-10	—
17	Токовая отсечка вводится оперативно или при включении выключателя	AK1 —	—	187-188

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

### ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ В ТЕКСТЕ

АПВ	— автоматическое повторное включение
ВЛ	— воздушная линия электропередачи
ВЧБ	— высокочастотная блокировка
ДЗ	— дистанционная защита
КЗ	— короткое замыкание
МЭР	— магнитоэлектрическое реле
НИ	— нуль-индикатор
ПС	— подстанция
РМ	— реле мощности
РС	— реле сопротивления
ТЗНП	— токовая защита нулевой последовательности (от замыканий на землю)
ТН	— трансформатор напряжения
ТО	— техническое обслуживание
ТТ	— трансформатор тока
ТТО	— трехфазный токовый орган
УРОВ	— устройство резервирования отказа выключателей
ФННП	— фильтр напряжения нулевой последовательности
ФНОП	— фильтр напряжения обратной последовательности
ФТНП	— фильтр токов нулевой последовательности
ФТОП	— фильтр токов обратной последовательности
ШСВ	— шиносоединительный выключатель
ЭДС	— электродвижущая сила

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4

### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

#### СХЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК И РЕЛЕЙНОЙ АППАРАТУРЫ

(В скобках даны прежние обозначения и обозначения по заводским схемам)

А	— система шин
AK1(КЗ1)	— комплект защиты типа КЗ-9
AK2(КЗ2)	— комплект защиты типа КЗ-10
AKB1(КРБ)	— устройство блокировки при качаниях
AKZ1(КРС)	— комплект реле сопротивления типа КРС-1
AKZ2(ДЗ)	— комплект дистанционной защиты типа ДЗ-2
ASF	— устройство блокировки при неисправностях в цепях напряжения (в комплекте ДЗ-2)
EA	— нуль-индикатор
HL(ЛС)	— лампа сигнальная
KA(РТ)	— реле тока (КР в комплекте типа КРБ-126)

KH(РУ)	— реле указательное
KL(РП)	— реле промежуточное, в том числе на панели:
KL1(РП1)	— реле выходное
KL2(РП2)	— реле-повторитель
KL3(РПУ1)	— реле ускорения
KL4(РПУ2)	— реле ускорения
KQC(РПВ)	— реле положения «Включено»
KQT(РПО)	— реле положения «Отключено»
KT(РВ)	— реле времени
KV(РН)	— реле напряжения (КР в комплекте КРБ-125)
KW(РМ)	— реле мощности
KZ(РС)	— реле сопротивления
L(Др)	— дроссель
Q(B)	— выключатель
QB(CB)	— выключатель секционный
QS(P)	— рубильник
SAC(П)	— переключатель
SF(AB)	— автоматический выключатель
SG(БИ)	— блок испытательный
SX(H)	— накладка, отключающее устройство
T	— силовой трансформатор
TA(ТТ)	— трансформатор тока
TAV(TP)	— трансреактор
TL(TП)	— трансформатор промежуточный
TV(ТН)	— трансформатор напряжения
UG(БП)	— блок питания полупроводниковых НИ
VD(Д, СТ)	— выпрямительный диод, стабилитрон
VS(ВМ)	— выпрямительный мост
VT(T)	— транзистор
W(ВЛ)	— воздушная линия электропередачи
XB(H)	— накладка внутри комплектов

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5

### КОМПЛЕКТ ИНСТРУМЕНТА И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

1. Комплект ремонтного инструмента релейщика служб РЗА.
2. Комплект регулировочного инструмента релейщика служб РЗА.
3. Набор отверток с диэлектрическими рукоятками, с лезвиями размерами (ширина×толщина) 9×1, 7×0,7, 5×0,5, 3×0,3 мм, длиной около 800 мм.
4. Плоскогубцы, круглогубцы, кусачки боковые и торцевые, пассатижи с диэлектрическими рукоятками длиной до 150 мм.
5. Набор надфилей (плоский, круглый, треугольный) длиной до 150 мм.

- 6 Нож монтерский складной
- 7 Пинцет хирургический
- 8 Щуп для измерения зазоров в контактах
- 9 Лупа с увеличением 4—6 крат
- 10 Зеркало размером 1,5—2 см<sup>2</sup> на длинной изолирующей ручке.
- 11 Паяльник электрический мощностью 90 Вт
- 12 Паяльник электрический мощностью не более 60 Вт, напряжением не более 36 В для пайки микросхем
- 13 Припой, канифоль, подставка для паяльника
- 14 Кисти щетинные мягкие
- 15 Лампа переносная 12 В с защитной сеткой, с гибким проводом в резиновой изоляции, с понижающим трансформатором
- 16 Установка У5053 или УПЗ-2
- 17 Комбинированный прибор типа Ц4341 или Ц4326
- 18 Мегаомметры М4100/3, М4100/4, М4100/5 или М4101/3, М4101/4, М4101/5 на напряжения 500, 1000 и 2500 В
- 19 Миллисекундомер Ф209.
- 20 Генератор низкочастотный ГЗ-112 или ГЗ 33, ГЗ-102
- 21 Вольтамперфазометр ВАФ 85М
- 22 Установка для испытания изоляции повышенным напряжением 1 кВ промышленной частоты
- 23 Микроамперметр любого типа с внутренним сопротивлением до 250 Ом, с нулем посередине, например М136
- 24 Потенциометр сопротивлением около 60 Ом и мощностью около 800 Вт для проверки панели при пониженном напряжении питания

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Фокин Г. Г., Хомяков М. Н. Панели дистанционных защит ПЗ-2/1 и ПЗ 2/2 М Энергия, 1975
- 2 Инструкция по наладке и эксплуатации дистанционных защит ПЗ-2/2 и ПЗ-2/1 М СПО ОРГРЭС, 1977
- 3 Фабрикант В. Л. Основы теории построения измерительных органов релейной защиты и автоматики М Энергия, 1959
- 4 Чернобровов Н. В. Релейная защита М Энергия, 1974
- 5 Сборник директивных материалов Главтехуправления Минэнерго СССР/ Электротехническая часть—3-е изд, перераб и доп М Энергоатомиздат, 1985
- 6 Эксплуатационный циркуляр № Ц 05 84 (Э), 30 05 84 О повышении стабильности эллиптической характеристики реле КРС-2 М СПО Союзтехэнерго, 1984
- 7 Нудельман Г. С. Реле сопротивления на операционных усилителях// Электрические станции 1982 № 3
- 8 Лысенко Е. В. Функциональные элементы релейных устройств на интегральных микросхемах М Энергоатомиздат, 1983
- 9 Фабрикант В. Л. Фильтры симметричных составляющих, М—Л Госэнергоиздат, 1950
- 10 Инструкция по проверке трансформаторов напряжения и их вторичных цепей М СПО Союзтехэнерго, 1979
- 11 Ульянов С. А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах М Энергия, 1970
- 12 Методические указания по техническому обслуживанию реле направления мощности серий РБМ и ИМБ М СПО Союзтехэнерго, 1983
- 13 Реле защиты/ В С Алексеев Г П Варганов, Б И Панфилов и др М Энергия, 1976
- 14 Правила технического обслуживания устройств релейной защиты, электроавтоматики дистанционного управления и сигнализации электростанций и линий электропередачи 35—330 кВ М СПО Союзтехэнерго, 1979
- 15 Решение № Э-4/83 О введении в действие единых форм протоколов испытаний электрооборудования и паспортов-протоколов устройств релейной защиты и электроавтоматики М СПО Союзтехэнерго, 1983
- 16 Указания по организации работ на панелях и в цепях устройств релейной защиты, электроавтоматики (системной и противоаварийной), управления и сигнализации на электрических станциях и подстанциях М СПО ОРГРЭС, 1977
- 17 Эксплуатационный циркуляр № Э-13/71 О выполнении сигнализации срабатывания выходных реле блокировки при качаниях, имеющей пуск от токов обратной последовательности М СПО ОРГРЭС, 1971

18. Правила устройства электроустановок. М.: Энергоатомиздат, 1985.

19. Эксплуатационный циркуляр № Ц-06-85 (Э), 30.04.85 О повышении надежности работы защит ЭПЗ-1636-67, ДФЗ-201 (ДФЗ-504) с нуль-индикаторами на интегральных микросхемах. М.: СПО Союзтехэнерго, 1985.

20. Общая инструкция по проверке устройств релейной защиты, электроавтоматики и вторичных цепей. М.: Энергия, 1975.

21. Инструкция по проверке и наладке реле тока и напряжения серий ЭТ, РТ, ЭН, РН. М.: СПО Союзтехэнерго, 1979.

22. Методические указания по наладке и проверке промежуточных, указательных реле и реле импульсной сигнализации. М.: СПО Союзтехэнерго, 1981.

23. Методические указания по проверке реле времени РВ-100, ЭВ-100, РВ-200, ЭВ-200. М.: СПО Союзтехэнерго, 1983.

24. Лысенко Е. В. Поляризованные реле и их регулировка для целей релейной защиты и автоматики. М.—Л.: Госэнергоиздат, 1960.

25. Противоаварийный циркуляр № Э-1/74. О предотвращении неправильной работы устройств релейной защиты из-за неисправности магнитоэлектрических реле М-237/054. М.: СПО ОРГРЭС, 1974.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	3
Глава первая. Принципы действия и устройство защиты	5
1. Назначение и составные части защиты . . . . .	5
2. Дистанционная защита . . . . .	6
3. Особенности дистанционной защиты с полупроводниковыми нуль-индикаторами . . . . .	22
4. Устройства блокировки при качаниях . . . . .	27
5. Устройства блокировки при неисправностях в цепях напряжения . . . . .	34
6. Защита от КЗ на землю. Токовая отсечка от многофазных КЗ . . . . .	37
7. Особенности панели, разделенной на два комплекса (модернизированный вариант) . . . . .	38
8. Цепи переменного тока и напряжения . . . . .	42
9. Цепи постоянного тока и сигнализации . . . . .	44
10. Взаимодействие элементов схемы . . . . .	66
11. Конструктивное выполнение . . . . .	74
12. Принципы выбора режимных перемычек . . . . .	75
Глава вторая. Техническое обслуживание . . . . .	83
13. Нормативный объем технического обслуживания . . . . .	83
14. Поэлементная проверка отдельных узлов . . . . .	85
15. Проверка состояния изоляции . . . . .	87
16. Проверка схемы постоянного тока и ее отдельных элементов . . . . .	88
17. Наладка реле сопротивления . . . . .	94
18. Наладка блокировки при качаниях . . . . .	108
19. Проверка блокировки при неисправностях в цепях напряжения (типа КРБ-12) . . . . .	113
20. Наладка токовой защиты нулевой последовательности и токовой отсечки . . . . .	114
21. Комплексная проверка дистанционной защиты . . . . .	115
22. Комплексная проверка токовой защиты нулевой последовательности . . . . .	118
23. Проверка защиты рабочим током и напряжением . . . . .	119
24. Обслуживание защиты оперативным персоналом . . . . .	123
Приложение 1. Основные технические данные панели ЭПЗ-1636м . . . . .	126
Приложение 2. Таблицы режимных перемычек . . . . .	128
Приложение 3. Перечень сокращений в тексте . . . . .	136
Приложение 4. Используемые обозначения элементов схем электрических установок и релейной аппаратуры . . . . .	136
Приложение 5. Комплект инструмента и измерительных приборов . . . . .	137
Список литературы . . . . .	139
	141



**В 1987 ГОДУ**  
**Энергоатомиздат выпускает в серии**  
**БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА**  
**следующие книги:**

- Агафонов С. С.** Передача телесигналов в УКВ радиосетях 5 л.  
**Айзенфельд А. И., Аронсон В. Н., Гловацкий В. Г.** Фиксирующий индикатор сопротивления ФИС. 4,5 л.  
**Андриевский Е. Н.** Диспетчерский пункт района распределительных сетей. 5 л.  
**Архипцев Ю. Ф., Котеленц Н. Ф.** Асинхронные электродвигатели.—2-е изд., перераб. и доп. 7 л.  
**Бажанов С. А.** Выбор аппаратуры для испытаний электрооборудования. 8 л.  
**Бранзбург Е. З., Каменский М. К., Хромченко Г. В.** Кабели с пластмассовой изоляцией и муфты для их монтажа. 8,5 л.  
**Вишневецкий Л. М., Левин Л. Г.** Я — электроналадчик. 9 л.  
**Гордон С. В.** Монтаж заземляющих устройств. 6 л.  
**Комаров Д. Т.** Автоматизация электрических сетей 0,38—35 кВ в сельских районах. 6 л.  
**Молчанов В. В., Голанцов Е. Б.** Панели ПЗ—5/1 и ПЗ—5/2 дистанционных защит трансформаторов. 4,5 л.  
**Соколов Р. И.** Эксплуатация и ремонт крупных вертикальных электродвигателей. 6 л.  
**Трифонов А. Н., Черноусов А. И.** Твой инструмент.—3-е изд., перераб. и доп. 6 л.  
**Шабад М. А.** Защита и автоматика электрических сетей агропромышленных комплексов. 7,5 л.  
**Штемпель Е. П.** Полупроводниковый передатчик высокочастотной защиты АВЗК—80. 6,5 л.  
**Юськив М. А.** Электрооборудование внутризаводского транспорта. 6 л.

**ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!**

ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ готовит к изданию в 1988 году в серии «Библиотека электромонтера» следующие книги:

- Андриевский Е. Н.** Эксплуатация электроустановок в сельском хозяйстве.—7 л.—(В обл.): 35 к.  
**Боязный Я. М.** Комплексная механизация прокладки силовых кабелей напряжением до 110 кВ.—7 л.—(В обл.): 35 к.  
**Голоднов Ю. М.** Контроль за состоянием трансформаторов.—5,5 л.—(В обл.): 30 к.  
**Евзеров И. Х., Ткаченко А. А., Перельмутер В. М.** Тиристорные электроприводы КТЭУ мощностью до 2000 кВт.—6 л.—(В обл.): 30 к.  
**Каминский В. М.** Инструменты и приспособления для монтажа систем автоматизации.—7,5 л.—(В обл.): 40 к.  
**Корнилович О. П.** Безопасность производства электромонтажных работ на высоте.—6 л.—(В обл.): 30 к.  
**Мигаль А. В.** Монтаж и эксплуатация электропроводок на приусадебных и садовых участках.—6,5 л.—(В обл.): 35 к.  
**Рыжавский Г. Я., Штемпель Е. П.** Наладка ВЧ каналов защиты. 2-е изд., перераб. и доп.—7 л.—(В обл.): 35 к.  
**Таубес И. Р.** Устройство резервирования при отказе выключателя (УРОВ) в сетях 110—220 кВ.—5 л.—(В обл.): 25 к.  
**Торопцев Н. Д.** Трехфазный асинхронный двигатель в схеме однофазного включения с конденсатором.—4-е изд., перераб. и доп.—5 л.—(В обл.): 25 к.  
**Устройства** дистанционной и токовой защит типов ШДЭ2801, ШДЭ2802/ А. Н. Бирг, Г. С. Нудельман, Э. К. Федоров и др.—7 л.—(В обл.): 35 к.  
**Целебровский Ю. В., Микитинский М. Ш.** Измерение сопротивления заземления опор ВЛ.—5 л.—(В обл.): 25 к.  
**Якобсон И. А.** Испытания при наладке электрооборудования.—7 л.—(В обл.): 35 к.

Производственное издание

**УДРИС АНДРЕЙ ПЕТРОВИЧ**

**Релейная защита воздушных линий 110—220 кВ типа  
ЭПЗ-1636**

Редактор *Т. Н. Дороднова*

Редактор издательства *Л. Л. Жданова*

Художественные редакторы *В. А. Гозак-Хозак,  
Ю. В. Созанская*

Технический редактор *В. В. Хапаева*

Корректор *Н. А. Войтенко*

ИБ № 1393

---

Сдано в набор 11.06.87

Подписано в печать 27.10.87

Формат 84 × 108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>

Бумага типографская № 2

Гарнитура

литературная Печать высокая Усл. печ. л. 7,56 Усл. кр.-отт. 7,71

Уч.-изд. л. 8,36

Тираж 20 000 экз.

Заказ 6149

Цена 40 к.

---

Энергоатомиздат. 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

---

Ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного  
Знамени МПО «Первая Образцовая типография имени А. А. Жданова»  
Союзполиграфпрома при Госкомиздате СССР. 113054, Москва, Вало-  
вая, 28.