

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра электроснабжения

УДК 621.316.95(07)
ББК 31.27-05я7
Р36

Составители:
кандидат технических наук, доцент *И. В. Протосовицкий*,
ассистент *Е. А. Тюнина*

Рецензенты:
зав. кафедрой электроснабжения БНТУ, кандидат технических наук,
доцент *В. Б. Козловская*;
декан факультета непрерывного и дистанционного обучения БГУИР, кандидат
технических наук, доцент *В. М. Бондарик*

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением высших
учебных заведений Республики Беларусь по образованию в области
сельского хозяйства в качестве лабораторного практикума для
студентов высших учебных заведений специальности 1-74 06 05-01
Энергетическое обеспечение сельского хозяйства
(электроэнергетика)*

Релейная защита и автоматизация : лабораторный практикум
/ сост. : *И. В. Протосовицкий, Е. А. Тюнина*. – Минск : БГАТУ,
2011. – 120 с.: ил.
ISBN 978-985-519-343-3.

Содержит комплекс материалов для проведения лабораторных занятий. В прак-
тикуме представлены типовые примеры и рассмотрена методика их решения.

Предназначено для студентов электротехнических специальностей вузов и
учащихся колледжей сельскохозяйственного профиля, может быть полезно сту-
дентам, выполняющим дипломные работы, а также инженерно-техническому пер-
соналу.

УДК 629.331.08(07)
ББК 39.33-08я7

Минск
БГАТУ
2011

ISBN 978-985-519-343-3

© БГАТУ, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Лабораторная работа № 1. ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ РЕЛЕ.....	5
Лабораторная работа № 2. ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ РЕЛЕ РП-18.....	12
Лабораторная работа № 3. РЕЛЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ.....	16
Лабораторная работа № 4. ИСПЫТАНИЕ ФИЛЬТР-РЕЛЕ НАПРЯЖЕНИЯ.....	25
Лабораторная работа № 5. РЕЛЕ ВРЕМЕНИ РВ 01.....	32
Лабораторная работа № 6. ЗАЩИТА ОТ НЕИСПРАВНОСТИ ЦЕПЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ.....	36
Лабораторная работа № 7. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ РЕЛЕ С БЫСТРОНАСЫЩАЮЩИМСЯ ТРАНСФОРМАТОРОМ СЕРИИ РНТ-560.....	42
Лабораторная работа № 8. ЗАЩИТА ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ.....	49
Лабораторная работа № 9. МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ЛИНИЙ 10 КВ.....	55
Лабораторная работа № 10. ТРЕХСТУПЕНЧАТАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ЛИНИЙ.....	63
Лабораторная работа № 11. МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ НАПРАВЛЕННАЯ ЗАЩИТА ЛИНИЙ С ДВУХСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ.....	71
Лабораторная работа № 12. ПОПЕРЕЧНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ НАПРАВЛЕННАЯ ЗАЩИТА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ.....	77
Лабораторная работа № 13. СОГЛАСОВАНИЕ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ.....	84
Лабораторная работа № 14. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРА.....	93
Лабораторная работа № 15. ЗАЩИТА АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1 КВ.....	100
Лабораторная работа № 16. УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЗЕРВА.....	106
Лабораторная работа № 17. УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОВТОРНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ.....	113

ВВЕДЕНИЕ

Системы электроснабжения – это сложные производственные системы, все элементы которых участвуют в едином производственном процессе. Основные специфические особенности процесса – это быстротечность явлений и неизбежность повреждений аварийного характера.

Надежное и экономичное функционирование систем электроснабжения возможно только при автоматическом управлении ими. Для этой цели используется комплекс автоматических устройств, среди которых первостепенное значение имеют устройства релейной защиты и автоматики.

При проектировании и эксплуатации любой электроэнергетической системы приходится учитывать возможность возникновения в ней повреждений и ненормальных режимов работы. Наиболее распространенными и наиболее опасными видами повреждений в них являются короткие замыкания (КЗ).

В большинстве случаев развитие аварий может быть предотвращено быстрым отключением поврежденного участка электрической установки или сети при помощи устройств релейной защиты и автоматики.

Назначение релейной защиты и автоматики следующее:

– выявление места короткого замыкания и быстрое автоматическое отключение поврежденного оборудования или участка сети от остальной неповрежденной части электрической установки или сети;

– выявление нарушений ненормальных режимов работы оборудования и подача предупредительных сигналов обслуживающему персоналу или отключение оборудования с выдержкой времени.

В данном практикуме рассмотрены вопросы назначения, устройства и принципа работы систем автоматики, расчета и настройки релейной защиты.

В практической работе инженера-электрика для решения основных задач, связанных с релейной защитой и автоматизацией, необходимо их знать досконально.

ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ РЕЛЕ

Цель занятия – изучить устройство промежуточных реле, измерить напряжение и время срабатывания и возврата промежуточных реле.

План занятия

1. Ознакомиться с устройством различных типов промежуточных реле.
2. Измерить напряжение срабатывания и возврата промежуточных реле.
3. Измерить время срабатывания промежуточных реле.

Методические указания к самостоятельной работе студента

Основным назначением промежуточных реле в устройствах релейной защиты и автоматики является:

- размножение контактов, когда при срабатывании реле требуется одновременно замкнуть или разомкнуть несколько цепей;
- разгрузка контактов реле при коммутации цепей большой мощности, на которую контакты основного реле не рассчитаны;
- создания небольших выдержек времени.

Промежуточные реле различают:

- по количеству обмоток (одна, две);
- по типу обмоток (токовая, напряжения) в зависимости от схемы включения реле в цепь оперативного тока;
- по числу и мощности контактов;
- по времени срабатывания и возврата (быстродействующие, с замедлением).

Реле постоянного тока изготавливаются на напряжение 24, 48, 110, 220 В, а переменного тока – 127, 220 и 380 В.

Промежуточные реле выполняют на электромагнитном принципе с поворотным якорем на оперативном постоянном и переменном токе, с одной или несколькими обмотками, которые могут включаться на полное напряжение источника оперативного тока (обмотки напряжения) или последовательно с обмоткой какого-либо реле или аппарата (обмотки тока).

Промежуточные реле выполняют с минимальным потреблением мощности обмотками напряжения, особенно для реле переменного тока, чтобы снизить мощность источника переменного тока. Данные реле выполняются с использованием шихтованного магнитопровода, состоящего из отдельных листов электротехнической стали. Полнос магнитной системы снабжен короткозамкнутым витком для предотвращения вибрации контактной системы.

Как правило, двухобмоточные промежуточные реле используются для подхвата и запоминания кратковременного импульсного сигнала (рис. 1.1).

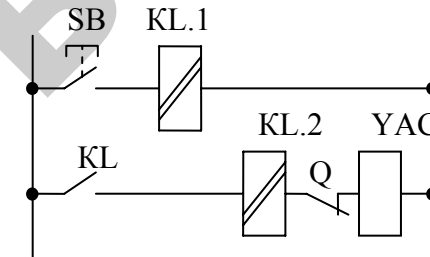


Рис. 1.1. Схема включения промежуточного реле с последовательной удерживающей обмоткой

При кратковременном нажатии кнопки *SB* получает питание обмотка напряжения *KL.1* реле *KL*. Контакт *KL* замыкается, и далее реле *KL* самоудерживается благодаря своей токовой обмотки *KL.2* до тех пор, пока полностью не завершится процесс включения выключателя *Q* электромагнитом включения *YAC*.

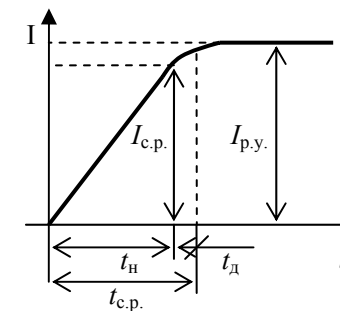


Рис. 1.2. Зависимость протекаемого тока в обмотке реле от времени

Полное время действия реле t_{cp} складывается из времени нарастания тока в обмотке t_n до значения тока срабатывания I_{cp} при включении обмотки реле под напряжение и времени движения якоря t_d (рис. 1.2). Время t_n зависит от скорости нарастания тока I_p в обмотке реле, которая определяется отношением индуктивного сопротивления обмотки, т. е. постоянной времени T . Составляющая t_d зависит от величины хода якоря и скорости его перемещения. Она, как правило, мала, поэтому полное время действия реле t_{cp} практически определяется t_n .

Для получения быстродействующих промежуточных реле необходимо уменьшать T , ослаблять противодействующую пружину реле, т. е. уменьшать I_{cp} , увеличивать отношение $I_{p,y}/I_{cp}$.

В ряде случаев в схемах защиты и автоматики требуются промежуточные реле, замыкающие или размыкающие свои контакты с некоторым замедлением. В этом случае замедление в реле получается за счет повышения составляющей t_n путем увеличения постоянной времени T обмотки. С этой целью на магнитопроводе реле размещают медные шайбы. В момент включения в шайбах возникает ток и создается магнитный поток, который противодействует нарастанию тока в обмотке реле. В результате этого скорость нарастания тока в основной обмотке реле уменьшается, а время действия – увеличивается. Замедление отпадания якоря при обесточивании реле достигается за счет того, что при отключении реле резко уменьшается его магнитный поток. Вследствие этого в шайбах индуцируется ток, который создает свой поток, направленный согласно основному потоку, и подмагничивает сердечник. Суммарный магнитный поток поддерживается некоторое время на уровне, близком к начальному значению, что и обуславливает задержку реле при возврате.

Другим способом замедления реле является использование активного сопротивления R и конденсатора C (рис. 1.3, а, б). Конденсатор C разряжается на обмотку KL при размыкании кнопки SB , благодаря чему время возврата реле увеличивается (рис. 1.3, а). В момент замыкания кнопки SB конденсатор C заряжается, вследствие чего напряжение на обмотке реле KL уменьшается и, следовательно, уменьшается ток в обмотке KL , что приводит к замедлению действия реле (рис. 1.3, б).

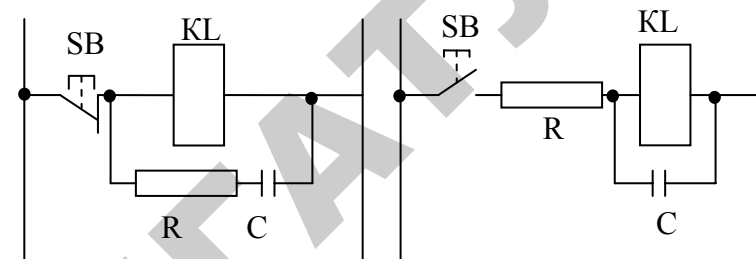


Рис. 1.3. Схемы замедления промежуточных реле

Указания к выполнению работы

1. Ознакомиться с промежуточными реле и их паспортными данными, начертить схемы внутренних соединений каждого реле.
2. Определить напряжение (тока) срабатывания, возврата реле, согласно схеме (рис. 1.4). Для определения напряжения (тока) срабатывания надо плавно поднимать напряжение (ток) на реле до момента срабатывания. Для определения напряжения (тока) возврата уменьшают напряжение (ток) на реле. Максимальное напряжение (ток), при котором реле возвратится в исходное положение, и будет напряжение (ток) возврата. Определить коэффициент возврата, результаты занести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

Определение времени срабатывания реле РП-252

Реле РП-252, время срабатывания t , с	
Расположение шайб	
перед обмоткой	за обмоткой

3. Измерить время срабатывания реле РП-252 с шайбами, расположенными перед обмоткой и за обмоткой (рис. 1.5), результаты занести в таблицу 1.2.

Таблица 1.2

Определение коэффициента возврата

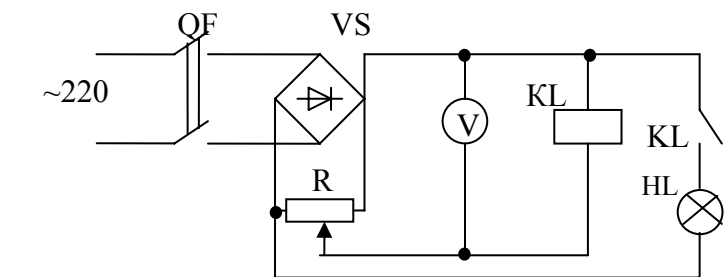
Реле РП-16					
U_{cp}	$U_{вп}$	K_v	I_{cp}	$I_{вп}$	K'_v

4. Измерить время срабатывания РП-23 (рис. 1.5):
 а) с включенным контуром RC с замедлением на срабатывание;
 б) с включенным контуром RC с замедлением на возврат;
 с) без контура RC , результаты занести в таблицу 1.3.

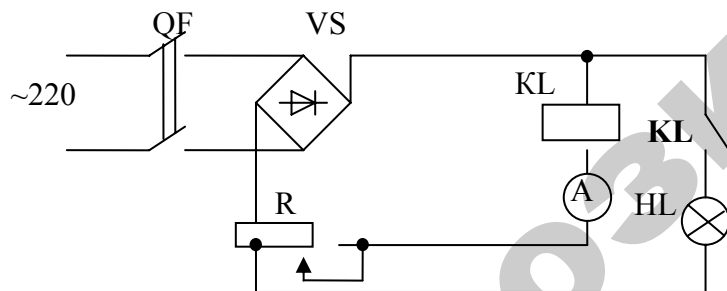
Таблица 1.3

Определение времени срабатывания реле РП-23

Реле РП-23, время срабатывания t , с	
Контур замедления	
срабатывания	возврата



а



б

Рис. 1.4. Схема определения параметров срабатывания и возврата реле:
 а – реле с обмоткой напряжения; б – реле с обмоткой тока

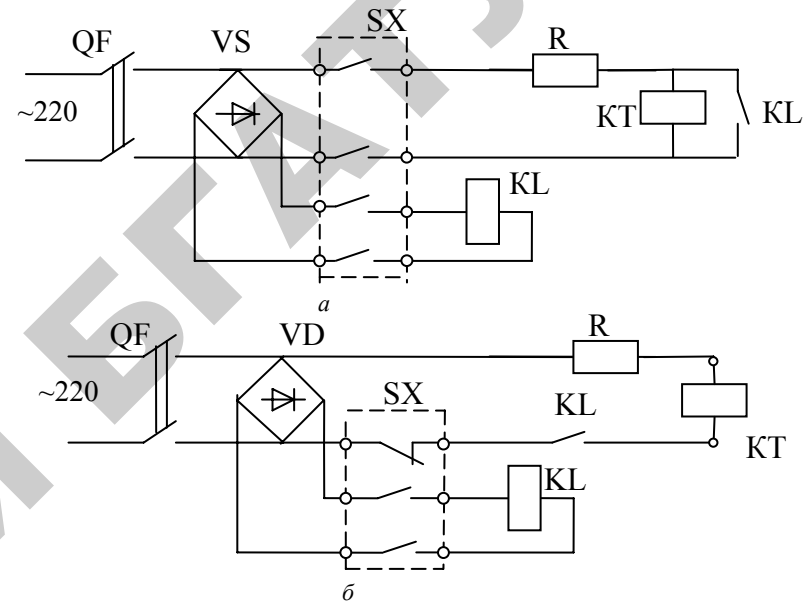


Рис. 1.5. Схема измерения времени замедления контактной системы промежуточных реле:
 а – при срабатывании реле; б – при возврате реле

Содержание отчета

1. Паспортные данные реле.
2. Схема испытаний.
3. Таблицы с результатами испытаний.

Контрольные вопросы

1. Назовите области применения промежуточных реле.
2. Как регулируются параметры срабатывания реле?
3. Объясните принцип действия промежуточных реле с выдержкой времени на срабатывание.
4. Какое назначение удерживающих обмоток у промежуточных реле?

ПРОМЕЖУТОЧНОЕ РЕЛЕ РП-18

Цель занятия – изучить устройство и принцип действия промежуточного реле.

План занятия

1. Ознакомиться с устройством и принципом действия промежуточного реле.
2. Измерить напряжения срабатывания и возврата промежуточных реле.
3. Измерить время срабатывания промежуточных реле.

Методические указания к самостоятельной работе студента

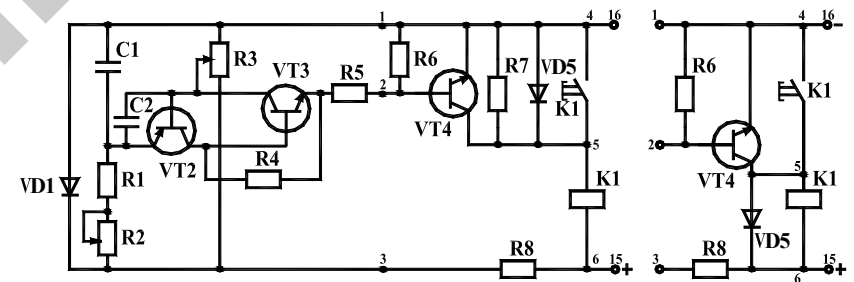


Рис. 2.1. Схема блока замедления при срабатывании реле РП 18:
 а – схема для исполнения реле на 110 и 220 В; б – фрагмент схемы для исполнения реле на 24 и 48 В

Реле РП-18 имеют полупроводниковые блоки замедления. Схема блока замедления при срабатывании приведена на рисунке 2.1. Схема содержит времязадающий элемент на конденсаторе *C1* и резисторах *R1* и *R2*, пороговый элемент на транзисторах *VT2* и *VT3* (аналог однопереходного транзистора), регулировочный резистор *R3*, стабилизатор напряжения на стабилитроне *VD1* и резисторе *R8*, ключевой элемент на транзисторе *VT4* и выходное электромагнитное реле *K1*.

5. Можно ли электромагнитное промежуточное реле на постоянном токе использовать в цепи с переменным током и наоборот?

6. Каковы конструктивные отличия промежуточных реле постоянного тока и переменного?

Литература

1. Чернобровов, Н. В. Релейная защита энергетических систем / Н. В. Чернобровов, В. А. Семенов. М., 2007.
2. Александров, А. М. Обзор руководящих материалов по релейной защите РАО «ЕЭС России» за 1990–1999 гг. / А. М. Александров. СПб., 2000.
3. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электропитания / В. А. Андреев. М., 2007.

При подаче напряжения начинается заряд конденсатора $C1$ через резисторы $R1$ и $R2$, а на базе транзистора $VT2$ устанавливается напряжение, определяемое положением движка резистора $R3$. При достижении напряжения на конденсаторе $C1$ значения, превышающего напряжение на базе транзистора $VT2$, аналог однопереходного транзистора отпирается и к базе транзистора $VT4$ через резистор $R5$ прикладывается напряжение конденсатора $C1$. Транзистор $VT4$ отпирается, что приводит к срабатыванию выходного реле $K1$. Время замедления на срабатывание реле регулируется с помощью резистора $R2$, расположенного на печатной плате. После срабатывания реле $K1$ удерживается по цепи своего замыкающего контакта. Резистор $R7$ служит для ограничения напряжения на транзисторе $VT4$, а диод $VD5$ – для защиты от перенапряжений. Для повышения помехоустойчивости транзисторов применены конденсатор $C2$ и резистор $R4$. В схеме реле с номинальным напряжением 24 и 48 В отсутствует ограничительный резистор $R7$, а защитный диод $VD5$ включен параллельно обмотке реле.

Указания к выполнению работы

1. Ознакомиться с устройством промежуточного реле, начертить схему соединений.
2. Собрать схему, представленную на рисунке 2.2.
3. Измерить значения времени срабатывания реле при различных уставках. Данные занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

Значения времени срабатывания реле

t_y, c	1			2			3		
	$0,8U_n$	U_n	$1,2U_n$	$0,8U_n$	U_n	$1,2U_n$	$0,8U_n$	U_n	$1,2U_n$
$t_{cp, c}$									

4. Рассчитать погрешность по формуле:

$$\delta = \left(100 - \frac{t_{cp}}{t_y} \right) 100.$$

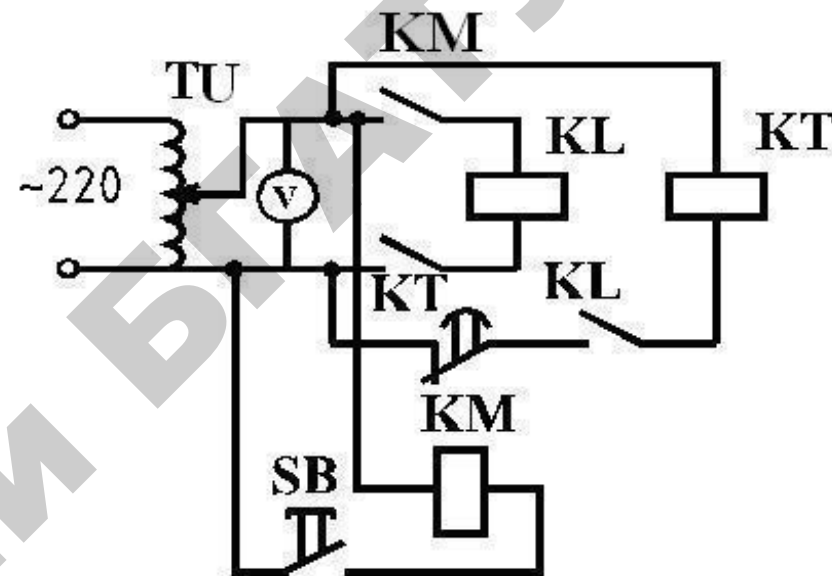


Рис. 2.2. Схема испытания реле

Содержание отчета

1. Паспортные данные реле.
2. Схема испытаний.
3. Таблицы с результатами испытаний.

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип действия реле РП-18.
2. Укажите назначение конденсатора $C2$ и резистора $R4$ в схеме блока замедления при срабатывании реле РП-18.
3. Перечислите достоинства и недостатки полупроводниковых промежуточных реле по сравнению с электромагнитными.

Литература

1. *Андреев, В. А.* Релейная защита и автоматика систем электро-снабжения / В. А. Андреев. М., 2007.
2. *Басс, Э. И.* Релейная защита электроэнергетических систем : учебное пособие / Э. И. Басс , В. Г. Дорогунцев. М., 2006.

Лабораторная работа № 3

РЕЛЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ

Цель занятия – изучить устройство и принцип работы реле направления мощности.

План занятия

1. Ознакомиться с устройством и принципом работы реле направления мощности.
2. Проверить у реле отсутствие самохода.
3. Измерить мощность, потребляемую реле при номинальных значениях.
4. Снять вольтамперные характеристики.
5. Определить коэффициент возврата реле.

Методические указания к самостоятельной работе студента

Реле направления мощности является измерительным органом с двумя воздействующими электрическими величинами, сравниваемыми по фазе. Они могут выполняться в виде реле на индукционном принципе, или в виде устройств с использованием полупроводниковых элементов. В основном они используются в поперечных направленных дифференциальных защитах параллельных линий.

Индукционное реле направления мощности типа РБМ имеет две обмотки. Одна из них подключается к трансформаторам тока, а вторая – к трансформаторам напряжения. Токи, протекаемые по этим обмоткам, создают свои магнитные потоки. Поскольку один из магнитных потоков пропорционален току I_p , а второй – напряжению U_p , то вращающий момент, возникающий на подвижной части реле, оказывается пропорциональным мощности на зажимах реле, а его направление зависит от направления этой мощности.

Реле направления мощности типа РБМ-170 (рис. 3.1) состоит из замкнутого стального магнитопровода с четырьмя выступающими внутрь полюсами, на которых расположены обмотки реле. Токовая обмотка 1 расположена на двух противоположных полюсах и создает проходящий через них магнитный поток Φ_l . Обмотка напряжения 2 расположена на ярме и состоит из четырех секций, которые

создают магнитный поток Φ_U . При таком выполнении обмоток магнитные потоки Φ_I и Φ_U оказываются сдвинутыми в пространстве относительно друг друга на угол 90° .

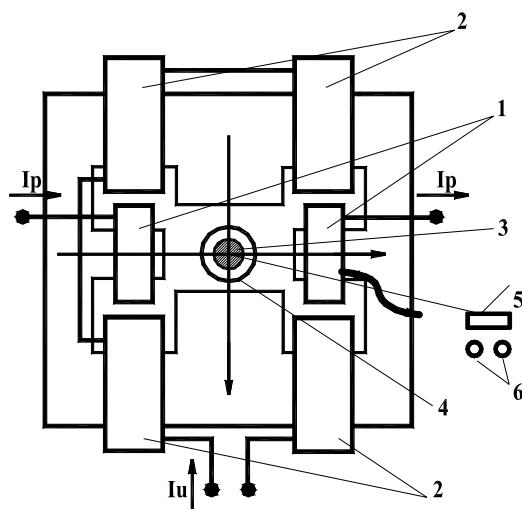


Рис. 3.1. Устройство реле направления мощности

Для уменьшения магнитного сопротивления системы между полюсами магнитопровода помещают неподвижный цилиндрический сердечник 3. Подвижным элементом системы является выполненный из алюминия полный цилиндрический ротор 4, на котором закреплены подвижные контакты реле 5, которые при срабатывании реле замыкают неподвижные контакты 6.

Взаимодействия магнитных потоков Φ_I и Φ_U создают на роторе вращающийся момент, который определяется выражением:

$$M_{вр} = k\Phi_U\Phi_I\sin\varphi,$$

где Φ_I – магнитный поток, создаваемый токовой обмоткой реле;

Φ_U – магнитный поток, создаваемый обмоткой напряжения реле;

φ – электрический угол между магнитными потоками Φ_I и Φ_U .

На рисунке 3.1 приведена векторная диаграмма, поясняющая принцип действия рассматриваемого реле. На диаграмме U_p и I_p – векторы напряжения и тока, подведенные к соответствующим об-

моткам реле; φ_p – угол сдвига между U_p и I_p , определяемый параметрами сети и схемой включения реле; I_n – вектор тока в обмотке напряжения реле; λ_n – угол между U_p и I_n , определяемый соотношением активного и реактивного сопротивлений цепи напряжения. При отсутствии насыщения магнитной системы поток Φ_I будет пропорционален току в токовой обмотке I_p , а поток Φ_U – напряжению U_p , тогда получим общее выражение для вращающего момента на подвижной части индукционного реле:

$$M = kIU \sin(\lambda - \varphi).$$

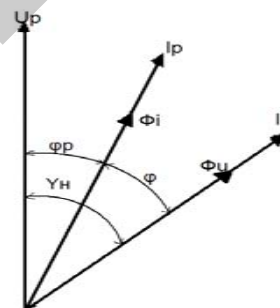


Рис. 3.2. Векторная диаграмма реле направления мощности

В этом выражении $S_p = I_p U_p \sin(\lambda_n - \varphi_p)$ – мощность на зажимах реле, следовательно $M_{вр} = kS_p$, т. е. реле реагирует на мощность.

В зависимости от параметров цепи напряжения, от значения угла λ_n различают три типа реле:

– реле активного типа (косинусное реле), когда в цепи напряжения реле активное сопротивление намного меньше реактивного, в этом случае $\lambda_n = 90$,

$$M_{вр} = kI_p U_p \sin(90 - \varphi_p) = kI_p U_p \cos \varphi_p;$$

– реле реактивного типа (синусное реле), когда в цепи напряжения реле активное сопротивление намного больше реактивного, в этом случае $\lambda_n = 0$,

$$M_{вр} = kI_p U_p \sin(0 - \varphi_p) = -kI_p U_p \sin \varphi_p;$$

– реле смешанного типа, реагирующее на обе составляющие мощности, в этом случае $0 < \lambda_n < 90$.

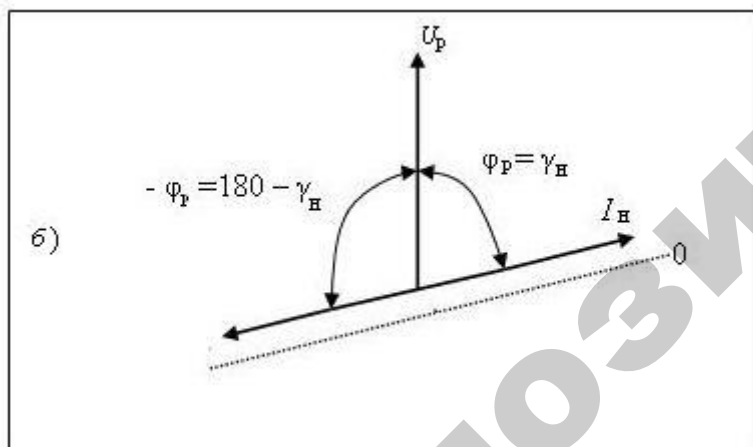
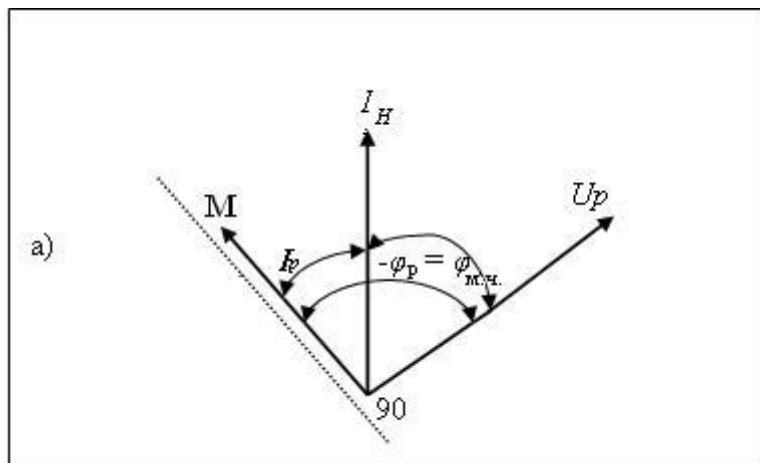


Рис. 3.3. Векторные диаграммы реле направления мощности смешенного типа при различных углах между током I_p и напряжением U_p , подводимыми к реле:
 а – при $\lambda_n - \varphi_p = 90$; б – при $\lambda_n - \varphi_p = 0$ и 180

Согласно выражению вращающийся момент на подвижной системе реле достигает максимального значения $M_{вр\max} = kI_p U_p$, когда $\sin(\lambda_n - \varphi_p) = 1$, что имеет место при $-\varphi_p = 90 - \lambda_n$, т. е. когда вектор тока I_p опережает вектор напряжения U_p (рис. 3.3). Угол φ_p , при котором вращающийся момент имеет максимальное значение, называется углом максимальной чувствительности и он равен:

$$\varphi_{м.ч} = \lambda_n - 90.$$

Один из недостатков реле – это возможность появления самохода. Самоходом называется возникновение дополнительного вращающегося момента, вызывающего перемещение подвижной системы реле при наличии питания только одной обмотки, когда основной вращающий момент отсутствует. Различают самоход от тока (при обрыве цепи напряжения) и самоход от напряжения (при отсутствии тока защищаемой линии). Причиной возникновения дополнительного момента является асимметрия магнитной системы. При идеально выполненном реле, когда воздушный зазор между всеми полюсами и сердечником на всем участке одинаковый и сердечник находится в центре, самоход отсутствует. Направление момента, обусловленного самоходом, может быть в сторону как замыкания контактов, так и размыкания. В первом случае самоход может привести к неселективному действию защиты, например, при близком расположении КЗ на смежном участке, когда U_p стремится к нулю, а мощность КЗ направлена от линии к шинам. Во втором случае вследствие заглупления реле возможен отказ в действии защиты. Самоход в реле должен быть устранен полностью или сведен к минимуму.

Для проверки отсутствия витковых замыканий в обмотках тока и напряжения определяется мощность, потребляемая обмотками реле при номинальных данных (обмотки тока и обмотки напряжения):

$$S_U = U_n IU; \quad S_I = I_n IU.$$

Реле направления мощности типов PM11 и PM12

Принцип работы реле основан на сравнении времени совпадения двух электрических сигналов (в данном случае тока и напряжения) со временем их несовпадения.

С целью повышения отстройки от аperiodических составляющих во входных сигналах в реле раздельно сравниваются время совпадения положительных знаков со временем их несовпадения и время совпадения отрицательных знаков со временем их несовпадения. Входные величины подводятся через разделительные трансформаторы напряжения TU и тока TAI (рис. 3.4) к фазопоротным устройствам 1 и 12, с помощью которых обеспечивается заданное значение характеристического угла реле. Отдельные модификации реле отличаются выполнением фазопоротных блоков.

С выхода фазопоротных устройств сигналы поступают на схему совпадения положительных знаков сравниваемых величин 2, формирующую прямоугольное напряжение $U_{п+}$ и схему совпадения отрицательных знаков 11, формирующую прямоугольное напряжение $U_{п-}$. Далее напряжения $U_{п+}$ и $U_{п-}$ интегрируются соответствующими интеграторами 3 и 10, совмещенными с двусторонними ограничителями 4, 2; в результате формируются напряжения $U_{н+}$ и $U_{н-}$, которые суммируются сумматором 5. Выходное напряжение сумматора U_{Σ} контролируется триггером Шмидта 6, ширина петли которого несколько больше разницы между максимальным и минимальным значениями U_{Σ} . Триггер Шмидта управляет работой исполнительных органов 7 и 8. Основная часть структурной схемы реле является общей для всех типоразмеров и включает в себя фазосравнивающую схему со всеми ее элементами и делителем напряжений питания.

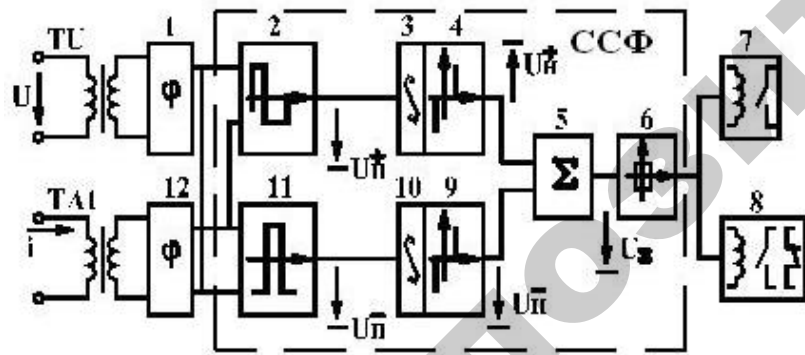


Рис. 3.4. Блок схема реле PM11

Указания к выполнению работы

1. Изучить технические данные и устройство реле, начертить схему внутренних соединений.
2. Собрать схему испытаний реле (рис. 3.5).

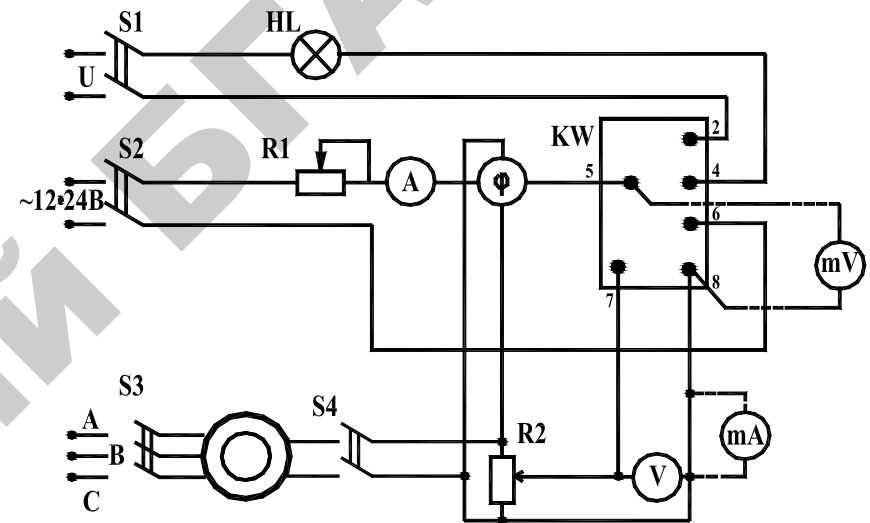


Рис. 3.5. Схема проверки реле направления мощности

3. Проверить отсутствие «самохода» реле на ток и напряжение. Самоход от напряжения проверяется при отключенной токовой обмотке реле. На обмотку напряжения от регулируемого реостата подается напряжение и плавно изменяется в пределах от 0 до $1,1U_n$. Самоход от тока проверяется при замкнутой накоротко обмотке напряжения и токах в токовой обмотке реле в пределах от I_n до $2I_n$. Если контакты реле при проведении опыта остаются разомкнутыми, то самоход отсутствует. Для устранения самохода поворачивают сердечник, а так же смещают обмотки напряжения вдоль их оси.
4. Снять угловые характеристики реле:

а) $U_{cp} = f(\varphi_p)$ при $R_{доб} = 0, I_p = const$;

б) $U_{cp} = f(\varphi_p)$ при $R_{доб} \neq 0, I_p = const$.

В токовой обмотке реле устанавливается ток порядка $(0,6 - 1)I_n$, величина которого остается постоянной на протяжении всего опыта. Фазорегулятором устанавливается значение угла через 10 градусов (от 0 до 360). Для снятия характеристики:

- а) питание подается на зажимы 7–8;
- б) на зажимы 1–8.

Результаты измерений занести в таблицу 3.1. По результатам измерений построить характеристики в общих координатах и определить угол максимальной чувствительности $\varphi_{м.ч}$ реле.

Таблица 3.1

Определение угловых характеристик реле

I_p, A	$R_{доб}, Ом$	φ_p	$U_{ср}, В$

5. Снять вольтамперные характеристики реле:

- а) $U_{ср} = f(\varphi_p)$ при $R_{доб} = 0$, $\varphi_p = \varphi_{м.ч}$;
- б) $U_{ср} = f(\varphi_p)$ при $R_{доб} \neq 0$, $\varphi_p = \varphi_{м.ч}$.

Фазорегулятором устанавливается значение угла $\varphi_{м.ч}$ по данным опыта. Определяется напряжение срабатывания реле при изменении тока в токовой обмотке реле в пределах от $0,2I_n$ до $2I_n$. Результаты измерений занести в таблицу 3.2.

Таблица 3.2

Определение вольтамперных характеристик реле

φ_p	$R_{доб}, Ом$	I_p, A	$U_{ср}, В$

По результатам измерений построить вольтамперные характеристики реле и определить минимальное напряжение срабатывания реле.

6. При $I = I_n$ и $\varphi_p = \varphi_{м.ч}$ проверить чувствительность реле (мощность срабатывания и коэффициент возврата). Для этого плавно изменять напряжение.

Содержание отчета

1. Принципиальная схема реле мощности.
2. Схема испытаний.

3. Таблицы с результатами испытаний.
4. Векторные диаграммы.
5. Угловые и вольтамперные характеристики.

Контрольные вопросы

1. Укажите область применения реле мощности.
2. В чем причина самохода реле и к чему это может привести?
3. Для каких целей внутри подвижного ротора реле помещается стальной цилиндр?
4. Каким образом можно изменить угол максимальной чувствительности?
5. Будет ли срабатывать реле мощности при трехфазном КЗ в начале защищаемой линии?

Литература

1. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электропитания / В. А. Андреев. М., 2007.
2. Основы техники релейной защиты / А. М. Беркович [и др.]. М., 1984.

ИСПЫТАНИЕ ФИЛЬТР-РЕЛЕ НАПРЯЖЕНИЯ ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Цель занятия – изучить устройство фильтр-реле напряжения обратной последовательности, приобрести навыки построения векторных диаграмм фильтр-реле.

План занятия

1. Изучить устройство фильтр-реле напряжения обратной последовательности РНФ-1М.
2. Построить векторные диаграммы фильтр-реле при подаче напряжения прямой последовательности и обратной.
3. Измерить напряжения небаланса фильтр-реле.
4. Измерить напряжения срабатывания и возврата реле при двухфазных КЗ.
5. Определить коэффициенты чувствительности и холостого хода.

Методические указания к самостоятельной работе студента

Фильтр-реле предназначено для использования в схемах защиты и автоматики в качестве органа, реагирующего на напряжение обратной последовательности при возникновении несимметричного КЗ и в начальный момент времени при трехфазном КЗ.

Фильтр-реле состоит из фильтра напряжения обратной последовательности, к выходным зажимам которого присоединено реагирующее реле

Фильтр-реле напряжения обратной последовательности – это такое устройство, при подведении к которому системы трехфазных несимметричных напряжений на выходе появляется напряжение, пропорциональное только составляющей напряжения обратной последовательности на входе фильтра:

$$U_{\text{вых.х}} = m_x U_{\text{вх2}},$$

где $U_{\text{вых.х}}$ – напряжение холостого хода на выходе фильтра;

$U_{\text{вх2}}$ – составляющая обратной последовательности напряжения, подводимого к входным зажимам фильтра;

m_x – коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом холостого хода.

Схема фильтр-реле РНФ-1М представлена на рисунке 4.1. Устройство использует двухплечий активно-емкостный фильтр. К входным зажимам фильтра 2, 4, 6 подводятся междуфазные напряжения U_{AB} и U_{BC} , не содержащие составляющей нулевой последовательности. К выходным зажимам 9, 12 посредством выпрямительного моста VS подключается исполнительный орган KV – реле типа РН-50. Шкала реле отградуирована в значениях междуфазных напряжений обратной последовательности.

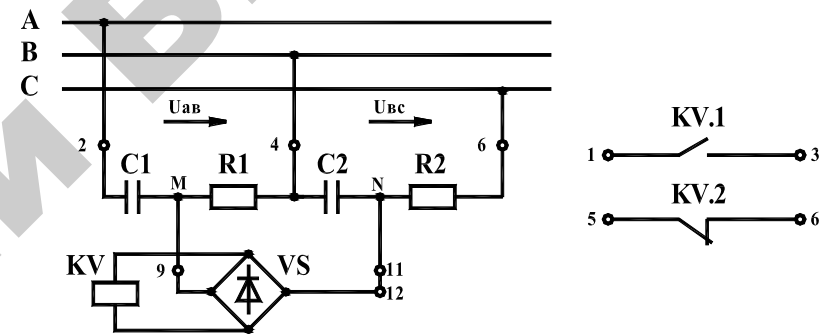


Рис. 4.1. Схема фильтр-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1М

Под действием системы напряжений прямой последовательности U_{A1}, U_{B1}, U_{C1} , подведенных соответственно к входным зажимам фильтра 2, 4, 6, по его активным и емкостным сопротивлениям будут проходить определенные токи. Векторная диаграмма, на которой показано распределение напряжений по элементам фильтра, приведена на рисунке 4.2, а. Рассмотрим эту диаграмму, учитывая, что активные и емкостные сопротивления, используемые в фильтре, имеют следующие соотношения:

$$R_1 = \sqrt{3} X_{c1}; \quad R_2 = \frac{X_{c2}}{\sqrt{3}}.$$

Под действием напряжения U_{AB} , приложенного к плечу фильтра $C1-R1$, т. е. между зажимами 2 и 4, через эти сопротивления проходит ток I_{AB} , имеющий емкостный характер и опережающий напря-

жение U_{AB} на угол 30° . Этот ток на элементах RI и CI создает падающее напряжение U_{R1} , совпадающее по направлению с вектором I_{AB} и U_{C1} , отстающее от этого тока на 90° .

Аналогичный треугольник напряжений может быть построен и для второго плеча фильтра, к которому подведено напряжение U_{BC} .

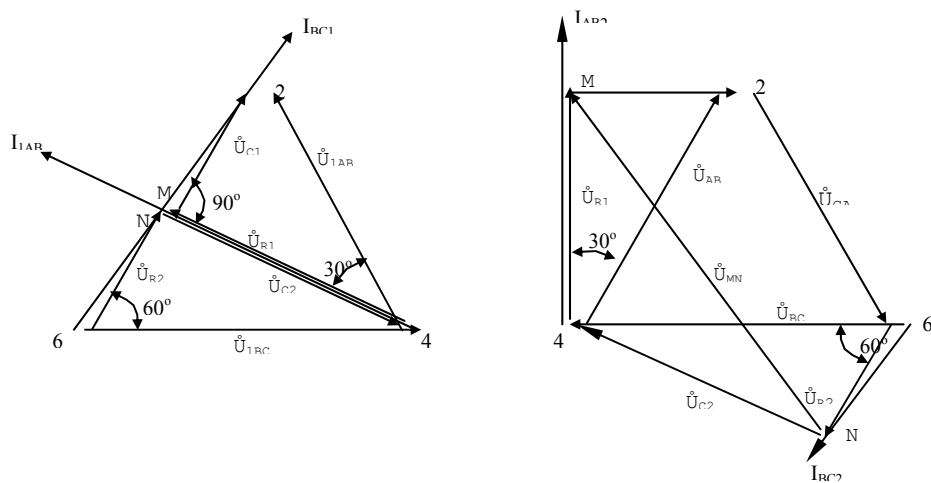


Рис. 4.2. Векторная диаграмма фильтра напряжения обратной последовательности при подведении системы межфазных напряжений: а – прямой последовательности; б – обратной последовательности

Ток, проходящий в этом плече I_{BC} , будет опережать напряжение U_{BC} на угол 60° , так как емкостное сопротивление больше активного. В результате выходные зажимы фильтра m и n имеют одинаковый потенциал. Таким образом, напряжение на зажимах реле при подаче на вход фильтра напряжения обратной последовательности также равно нулю.

Практически напряжение на выходе фильтра при подведении к нему системы напряжений прямой последовательности бывает отличным от нуля. Это напряжение принято называть напряжением небаланса ($U_{нб}$). Наличие напряжения небаланса обусловлено несоответствием параметров фильтра их расчетным значениям или наличием высших гармонических составляющих в подаваемых на фильтр напряжениях. Напряжение небаланса ограничивает применение чувствительных реле на выходе фильтра. При напряжении

небаланса, соизмеримом с напряжением срабатывания реле, оно может сработать в нормальном режиме. При напряжении небаланса, соизмеримом с напряжением возврата, реле не вернется в исходное положение при исчезновении несимметрии в сети после срабатывания реле. Следовательно, напряжение возврата реле должно быть больше напряжения небаланса.

Диаграмма, характеризующая работу фильтра при подаче на его вход напряжения обратной последовательности, приведена на рисунке 4.2, б. В этом случае векторная диаграмма напряжений изменяется, так как изменяется чередование фазных напряжений на входе фильтра U_{A2} , U_{B2} , U_{C2} , подведенных к зажимам 2, 4, 6. При этом между зажимами m и n появляется некоторое напряжение U_{mn} . Если за исходное в качестве входного напряжения принять $U_{вх2} = U_{AB2}$, то:

$$U_{mnx} = 1,5e^{j60} U_{AB2},$$

где $1,5e^{j60} = m_x$ – коэффициент, показывавший, что на выходе фильтра при подведении к нему системы межфазных напряжений обратной последовательности появляется напряжение, в 1,5 раза больше межфазного напряжения U_{AB2} и сдвинутое по фазе относительно него на угол 60° (в сторону опережения).

Указания к выполнению работы

1. Ознакомиться с устройством фильтр-реле напряжения обратной последовательности, начертить схему внутренних соединений.
2. Проверить с помощью фазоуказателя порядок чередования фаз питающей цепи.
3. Измерить значения трех межфазных напряжений. Измеренные значения в пунктах 3, 4, 5 занести в таблицу 4.1.
4. Измерить значение напряжения небаланса ненагруженного фильтра $U_{нб.ф}$ (перемычка 11–12 снята) при подведении к нему системы межфазных напряжений прямой последовательности. Регулировка напряжения небаланса осуществляется с помощью регулируемых резисторов $R1$, $R2$. Без разрешения преподавателя настройку фильтра не производить. Полученное значение не должно превышать 1 В (рис. 4.3, а).

Таблица 4.1

Значения межфазных напряжений

U_{AB}, B	U_{BC}, B	U_{CA}, B	$U_{нб}, B$	U_{1C1}, B	U_{1R1}, B	U_{1C2}, B	U_{1R2}, B

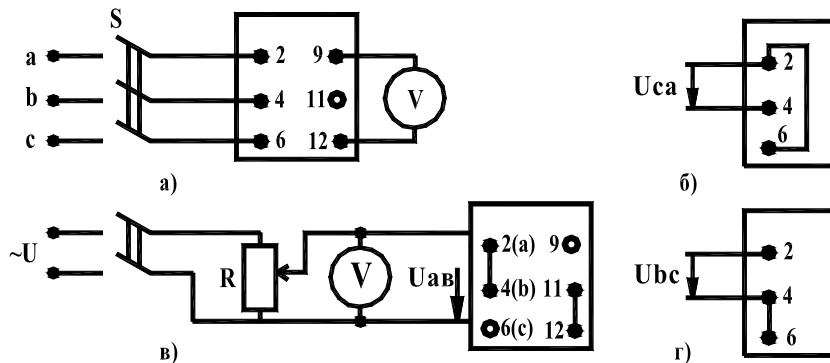


Рис. 4.3. Схема испытания фильтр-реле напряжения обратной последовательности (ФНОП):

а – определение напряжения небаланса ФНОП; б – имитация двухфазного КЗ между фазами CA; в – то же, AB; г – то же, BC

5. По той же схеме питания фильтра измерить распределение напряжений на его элементах (C1, R1, C2, R2) поочередным подключением вольтметра соответственно к зажимам 2–9, 9–4, 4–12, 12–6; с помощью прибора ВАФ-85 определить фазу каждого из измеренных напряжений относительно вектора U_{AB} .

6. По полученным значениям построить в масштабе векторную диаграмму.

7. Подать на фильтр систему межфазных напряжений обратной последовательности и измерить те же значения, что в пункте 5, и измерить значение и фазу напряжения на его выходе. Определить значение коэффициента m_x , построить векторную диаграмму. Измеренные значения занести в таблицу 4.2.

Таблица 4.2

Значения межфазных напряжений

U_{AB}, B	U_{BC}, B	U_{CA}, B	$U_{нб}, B$	U_{1C1}, B	U_{1R1}, B	U_{1C2}, B	U_{1R2}, B	m_x

8. Проверить напряжение срабатывания и возврата реле подачи на вход фильтра напряжения, имитирующего двухфазное КЗ в месте установки защиты между фазами АВ, ВС, СА (рис. 4.3, б, в, г). Напряжение срабатывания определяется при плавном повышении напряжения от нуля до срабатывания реле, напряжение возврата – при плавном снижении напряжения от номинального значения до возврата реле. Определить значение коэффициента возврата. Настройка фильтра напряжений обратной последовательности РНФ-1М оценивается по идентичности его работы при имитации различных сочетаний двухфазных КЗ. Фильтр считается настроенным удовлетворительно, если полученные значения напряжений срабатывания при этих режимах не будут отличаться от своего среднего значения более чем на 2–3 %. Полученные значения занести в таблицу 4.3.

Таблица 4.3

Значения напряжения срабатывания и возврата реле

Короткое замыкание между фазами									Среднее отклонение
АВ			ВС			СА			
$U_{ср}, B$	$U_{ср}, B$	K_v	$U_{ср}, B$	$U_{ср}, B$	K_v	$U_{ср}, B$	$U_{ср}, B$	K_v	%

Содержание отчета

1. Принципиальная схема устройства РНФ-1М.
2. Схемы испытаний.
3. Таблицы результатов испытаний.
4. Векторные диаграммы фильтра напряжений обратной последовательности для напряжений прямой последовательности и обратной.

Контрольные вопросы

1. В каких защитах используется фильтр-реле обратной последовательности?

2. Почему при отклонении частоты от 50 Гц напряжение небаланса активно-емкостного фильтра возрастает?
3. Как влияет напряжение небаланса на чувствительность реле?
4. На каком принципе работает реле РНФ-1М?
5. Каким образом осуществляют регулировку реле по напряжению небаланса?
6. Почему к фильтру напряжения обратной последовательности целесообразно подавать систему межфазных, а не фазных напряжений?

Литература

1. *Андреев, В. А.* Релейная защита и автоматика систем электропитания / В. А. Андреев. М., 2007.
2. Основы техники релейной защиты / А. М. Беркович [и др.]. М., 1984.
3. *Чернобровов, Н. В.* Релейная защита энергетических систем / Н. В. Чернобровов, В. А. Семенов. М., 1998.

Лабораторная работа № 5

РЕЛЕ ВРЕМЕНИ РВ 01

Цель занятия – изучить устройство и принцип действия реле времени.

План занятия

1. Ознакомиться с устройством и принципом действия реле времени.
2. Измерить напряжения срабатывания и возврата промежуточных реле.
3. Измерить время срабатывания промежуточных реле.

Методические указания к самостоятельной работе студента

Реле РВ 01 имеют исполнения по напряжению постоянного тока на 24, 48, 60, 110, 220 В и напряжению переменного тока на 100, 127, 220 и 380 В (с включением внешнего резистора, входящего в комплект поставки). Реле имеет два диапазона регулирования уставок: 0,1–5,0 с и 0,1–50,0 с, регулирование уставок ступенчатое. Основная погрешность – 2,2 % от уставки в первом диапазоне и 3,6 % – во втором. Дополнительная погрешность от изменения оперативного напряжения в рабочем диапазоне 0,8–1,1 от номинального не превышает 1,5 %. Время возврата – 0,075 с. Время повторной готовности – 0,11 с.

Реле имеет два исполнительных контакта, переключающихся с одинаковой выдержкой времени, способных коммутировать напряжение постоянного и переменного тока от 24 до 250 В. Коммутационная способность контактов в цепи постоянного тока до 30 Вт с индуктивной нагрузкой при постоянной времени до 0,02 с или 50 Вт с индуктивной нагрузкой при постоянной времени до 0,05 с и до 250 ВА в цепи переменного тока при коэффициенте мощности выше 0,4. Минимальный ток контактов 0,01 А при напряжении от 24 до 110 В, длительно допустимый ток контактов – 2,5 А. Контакты реле способны замыкать постоянный ток до 20 А на время 0,5 с при общем числе замыканий не более 100. Импульсы генератора заполняют счетчик. При совпадении числа импульсов, заполняющих счетчик, с числом, набранным с помощью переключателей ус-

тавок, прекращается дальнейшая работа генератора и срабатывает выходное реле $K1$. При снятии напряжения пороговый элемент приводит схему в исходное положение. Регулировка выдержки времени осуществляется с помощью переключателей уставок $5B1-5B9$. Уставка выдержки времени (c) определяется суммированием цифр, соответствующих замкнутым положениям переключателей и начальной уставки по формуле:

$$T_{уст} = 0,1 + N,$$

где $0,1$ – значение начальной уставки,

N – сумма чисел на шкале уставок, около которых шлицы переключателей $SB1-SB9$ установлены горизонтально.

Принцип действия и устройство

Принципиальная схема реле приведена на рисунке 5.1. Стабилитрон $VD1$ предназначен для стабилизации напряжения и исключения влияния возможных колебаний напряжения в сети на выдержки времени напряжения срабатывания реле. Конденсатор $C1$ предназначен для сглаживания пульсаций напряжения. При подаче напряжения на входные выводы реле срабатывает пороговый элемент $DD1.4$, разрешающий работу счетчика $DD2$, и через выдержку, задаваемую элементами $DD1.2$, $R7$, RQ , $C2$ и определяющую первую уставку, разрешает работу генератора, выполненного на элементах $DD1.1$, $DD1.2$, $R2$, $R3$, $C3$. При этом питание схемы осуществляется по двум цепям: $VD13$, $R10$ и $VT3$, $VD14$, $R11$. Импульсы генератора заполняют счетчик $DD2$. При совпадении числа импульсов, заполняющих счетчик, с числом, набранным с помощью переключателей уставок $5B1-5B9$, открывается транзистор $VT1$ и через диод $VD12$ запрещает дальнейшую работу генератора. Током, протекающим через резистор $R12$, открывается транзистор $VT2$, при этом срабатывает выходное реле $K1$. Цепь, состоящая из $VT3$, $R5$, служит для стабилизации нагрузки входного делителя $R16-R19$ при срабатывании реле $K1$, что необходимо для нормальной работы порогового элемента напряжения. При прекращении работы генератора его потребление падает, для питания схемы достаточно одной цепи $VD13$, $R10$. Цепь $VT3$, $VD14$ прекращает работу с закрытием транзистора $VT3$. При снятии напряжения пороговый элемент напряжения приводит схему в исходное положение.

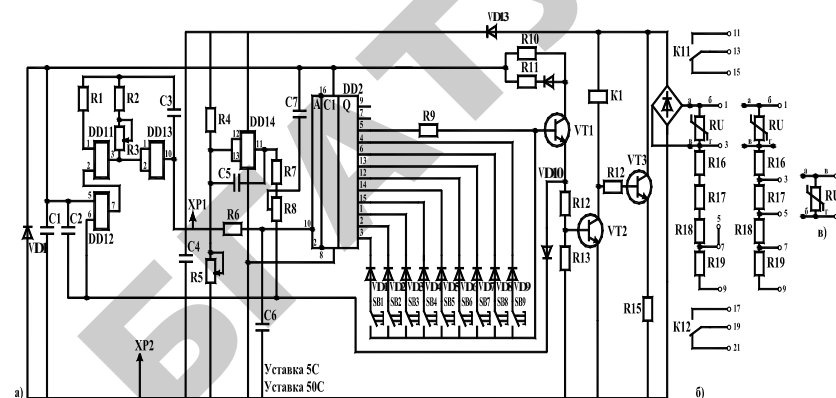


Рис. 5.1. Схема электрических соединений реле времени РВ 01:
 а – принципиальная схема исполнения реле на 100, 127, 220 (380) В переменного тока; б – схема входной цепи для исполнения реле на 48, 60, 110, 220 В

Выпрямительный мост $V51$ предназначен для обеспечения работы реле независимо от полярности напряжения питания на постоянном токе и для работы реле на переменном токе. Кроме того, для обеспечения работы на переменном токе и при кратковременных перерывах питания введены элементы $VD13$, $C4$. Элементы $C5$, $C6$, $R6$, $R7$ предназначены для обеспечения помехоустойчивости схемы реле. Варистор RU служит для защиты схемы реле от перенапряжений.

Указания к выполнению работы

1. Ознакомиться с устройством реле времени, начертить схему соединений.
2. Собрать схему, представленную на рисунке 5.2.
3. Измерить значения времени срабатывания реле при различных уставках. Данные занести в таблицу 5.1.
4. Рассчитать погрешность по формуле:

$$\delta = \left(100 - \frac{t_{сп}}{t_y} \right) 100.$$

Таблица 5.1

t, c	1	2	3	4	5	6	7
t_{cp}, c							

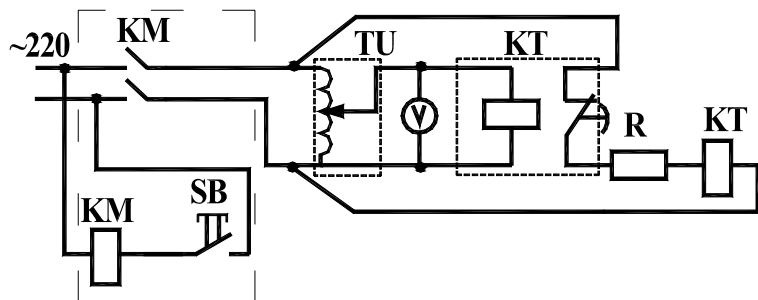


Рис. 5.2. Схема испытания реле

Содержание отчета

1. Паспортные данные реле.
2. Схема испытаний.
3. Таблицы с результатами испытаний.

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип действия реле времени РВ 01.
2. Укажите назначение конденсатора в схеме электрических соединений реле времени.
3. Как определить погрешность измерений?

Литература

1. *Андреев, В. А.* Релейная защита и автоматика систем электроснабжения / В. А. Андреев. М., 2007.
2. *Александров, А. М.* Обзор руководящих материалов по релейной защите РАО «ЕЭС России» за 1990–1999 гг. : учебное пособие / В. А. М. Александров. СПб., 2000.
3. *Чернобровов, Н. В.* Релейная защита энергетических систем / Н. В. Чернобровов, В. А. Семенов. М., 1998.

ЗАЩИТА ОТ НЕИСПРАВНОСТИ ЦЕПЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

Цель занятия – изучить схемы защиты от неисправности цепей напряжения.

План занятия

1. Изучить схему защиты устройства КРБ-12, КРБ-13.
2. Проверить правильность срабатывания устройств при имитации различных режимов.

Методические указания к самостоятельной работе студента

Для защиты измерительных трансформаторов напряжения от КЗ в их вторичных цепях устанавливаются предохранители или автоматические выключатели. В случае перегорания предохранителя или срабатывания автоматического выключателя защита, подключенная к цепям напряжения, может оказаться в условиях, аналогичным КЗ в первичной сети, сопровождаемому понижением или исчезновением напряжения, что может привести к ложному отключению защищаемого объекта, т. е. при неисправности цепей управления произойдет отключение силовой сети. Во избежание этого ряд защит снабжается специальным устройством – блокировкой при неисправности цепей напряжения, которое при возникновении такой неисправности снимает оперативный ток с исправного органа защиты и одновременно подает сигнал обслуживаемому персоналу. Работа этих блокировок основана на трех принципах.

Первый принцип выполнения блокировки предусматривает установку для защиты вторичных цепей трансформаторов напряжения быстродействующих автоматических выключателей, снабженных вспомогательными контактами. Эти контакты при срабатывании выключателя размыкают оперативный ток защиты и таким образом выводят ее из действия.

Второй принцип основан на том, что в большинстве случаев повреждение вторичных цепей трансформаторов напряжения, соединенных в «звезду», сопровождаются появлением напряжения нулевой последовательности.

Третий принцип предусматривает выявление повреждения вторичной цепи трансформатора напряжения путем сравнения между собой уровней напряжения разных фаз трансформатора напряжения или уровней напряжения одноименных фаз двух вторичных обмоток трансформаторов напряжения, подключенных к общему питающему источнику.

На первом принципе выполняются защиты минимального напряжения электродвигателей собственных нужд электрических станций и для пускового органа устройства АВР.

Второй принцип используется в устройствах дистанционной защиты сетей 220 кВ и ниже, а третий принцип – для дистанционных защит сетей 500 кВ.

На втором принципе работают устройства типов КРБ-12 и КРБ-13. Схема устройства блокировки при неисправностях цепей напряжения типа КРБ-12 приведена на рисунке 6.1.

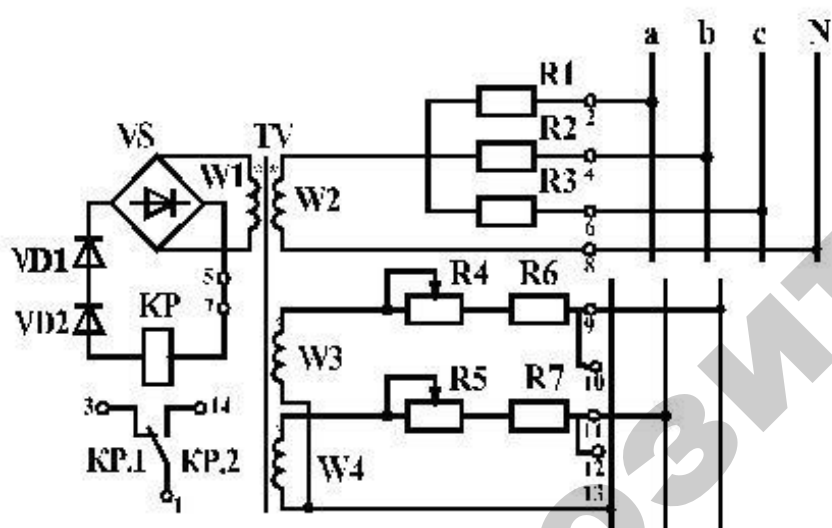


Рис. 6.1. Схема устройства блокировки типа КРБ-12

Устройство состоит из четырехобмоточного трансформатора TV , одна из обмоток которого W_1 через кремниевый выпрямительный мост VS подключена к поляризирующему реле KP типа РП-7. Последовательно

с обмоткой поляризованного реле включены два диода $VD1$, $VD2$, нелинейная характеристика которых позволяет снизить ток небаланса, не уменьшая кратности тока в реле KP , так как при малых токах сопротивление диодов возрастает. Вторая обмотка W_2 трансформатора TV подключена через резисторы R_1 – R_3 к фазным напряжениям. Сопротивление резистора R_1 , включенного в фазу А, в два раза меньше сопротивления резисторов, включенных в фазы В и С.

Третья компенсирующая обмотка W_3 включена на напряжение фазы А от трансформатора напряжения с соединением обмоток в разомкнутый треугольник.

Четвертая обмотка W_4 включена на напряжение нулевой последовательности $3U_0$.

В нормальном режиме к зажимам 2, 4, 6 подводится симметричная трехфазная система напряжений $100/\sqrt{3}$ В. Сопротивление контуров и число витков обмоток выполнены так, что в нормальном нагрузочном режиме и при всех видах межфазных КЗ магнитные потоки в магнитопроводе трансформатора TV компенсируются, вследствие чего напряжение на реле отсутствует. При обрывах в одной или двух фазах результирующий магнитный поток в сердечнике не будет равен нулю, на обмотке W_1 появится напряжение и реле срабатывает. Устройство также будет действовать и при одновременном обрыве трех фаз. Магнитный поток в сердечнике при этом появляется вследствие наличия напряжения на дополнительной компенсирующей обмотке W_3 .

При замыкании на землю в сети высокого (первичного) напряжения устройство не срабатывает, так как магнитный поток, создаваемый обмотками W_2 и W_3 , компенсируется потоком, созданным обмоткой W_4 , вследствие появления на ней в этом режиме напряжения $3U_0$. При нарушениях в цепях напряжения размыкающий контакт реле $KP.1$ разрывает оперативную цепь защиты, чем предотвращается ее ложное срабатывание. Замыкающий контакт реле $KP.2$ используется для сигнализации действия блокировки.

Схема устройства КРБ-13 приведена на рисунке 6.2. Фильтр напряжения нулевой последовательности выполнен с помощью трех одинаковых конденсаторов C_1 , C_2 , C_3 , включенных по схеме «звезда». Исполнительным органом устройства служит реле напряжения KV , включаемое между нулевой точкой звезды конденсаторов и нейтралью вторичной обмотки измерительного трансформатора при

помощи выпрямительного моста VS . В этой же цепи установлен реактор L и регулировочный резистор R , которым осуществляется регулировка срабатывания реле KV . Для предотвращения ненужного действия блокировки при замыканиях на землю в сети высокого напряжения, сопровождающихся появлением напряжения нулевой последовательности, в цепь исполнительного реле включен размыкающийся контакт реле тока нулевой последовательности KA_0 . Это реле подключено к трем параллельно соединенным вторичным обмоткам трансформатора тока, установленным на защищаемой линии электропередачи. При замыканиях на землю на защищаемом объекте реле KA_0 срабатывает и разрывает цепь питания реле KV .

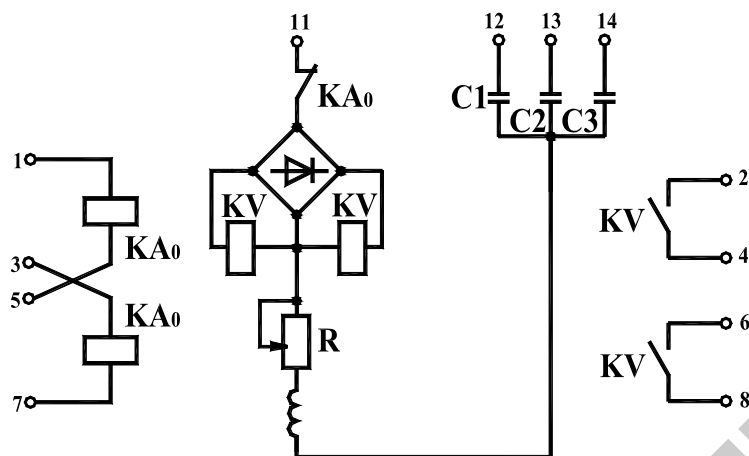


Рис. 6.2. Схема устройства блокировки типа КРБ-13

Устройство КРБ-13 срабатывает при обрывах в одной или двух фазах. Действие устройства при одновременном обрыве трех фаз вторичной цепи трансформатора напряжения может быть обеспечено включением конденсатора параллельно одному из автоматических выключателей.

Указания к выполнению работы

1. Ознакомьтесь с устройством блокировки при неисправностях цепей напряжения типа КРБ-12, КРБ-13. Начертить схему их внутренних соединений.

2. При испытании устройства типа КРБ-13 собрать схему по рисунку 6.3. Убедиться, что в нормальном режиме (замкнуты рубильники $S1-S10$) устройство не срабатывает.

3. Проверить работу блокировки при имитации срабатывания автоматических выключателей в одной и двух фазах (отключены соответственно рубильники $S7, S8$ и $S9$).

4. Убедиться, что испытуемое устройство не будет срабатывать при однофазном КЗ в первичной цепи. Режим однофазного КЗ на фазе А имитировать одновременным отключением рубильников $S2, S3, S5$.

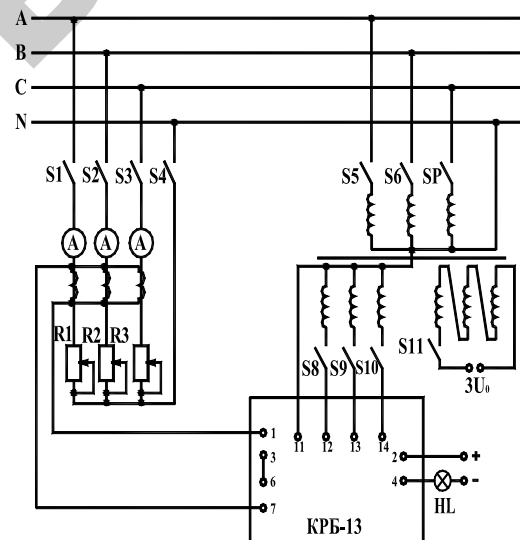


Рис. 6.3. Проверка работы блокировок при неисправностях цепей напряжения

Содержание отчета

1. Схемы устройства блокировки КРБ-12, КРБ-13.
2. Схема испытаний.
3. Таблицы с результатами испытаний.

Контрольные вопросы

1. Укажите назначение и область применения блокировок защит при неисправностях цепей напряжения.

**ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ РЕЛЕ
С БЫСТРОНАСЫЩАЮЩИМСЯ ТРАНСФОРМАТОРОМ
СЕРИИ РНТ-560**

Цель занятия – изучить принцип работы и устройство реле серии РНТ-560 и способы регулировки тока срабатывания.

План занятия

1. Изучить принцип работы и устройство реле серии РНТ-560.
2. Изучить способы регулировки тока срабатывания.
3. Определить магнитодвижущую силу срабатывания реле, используя дифференциальную и совместно дифференциальную и уравнительную обмотки.
4. Определить коэффициент чувствительности реле.

Методические указания к самостоятельной работе студента

Дифференциальные реле с быстро насыщающимся трансформатором серии РНТ-560 предназначаются для использования в схемах дифференциальных токовых защит двух- и трехобмоточных трансформаторов, генераторов и сборных шин.

Реле данной серии (рис. 7.1) состоит из промежуточного быстро насыщающегося трансформатора (БНТ), исполнительного органа КА, резистора $R_{ш}$ для регулирования тока срабатывания и резистора R_k для плавной регулировки отстройки от апериодической составляющей. Реле серии РНТ-560 отличаются друг от друга только количеством рабочих обмоток. Магнитная система быстро насыщающегося трансформатора выполнена трехстержневой и имеет следующие обмотки: первичную – дифференциальную W_d , расположенную на среднем стержне, и две уравнительные $W_{ур1}$ и $W_{ур2}$, к которым подводится ток от трансформаторов тока; вторичную обмотку W_2 , расположенную на левом стержне, к которой подключено токовое реле КА типа РТ-40, и короткозамкнутые обмотки $W_{к1}$ и $W_{к2}$, расположенные на среднем и правом стержнях БНТ.

Принцип работы БНТ такого типа состоит в следующем. При прохождении по дифференциальной обмотке симметричного периодического тока I_p магнитный поток в среднем стержне наводит

2. Опишите принцип работы устройств КРБ-12, КРБ-13.

3. Почему устройства блокировок типа КРБ-12 и КРБ-13 не срабатывают при однофазных замыканиях в сети высокого напряжения?

4. Каково назначение дополнительной компенсирующей обмотки W_3 в устройстве типа КРБ-12?

5. Для чего служат конденсаторы $C1$, $C2$, $C3$ в устройстве КРБ-13?

Литература

1. *Андреев, В. А.* Релейная защита и автоматика систем электроснабжения / В. А. Андреев. М., 2007.
2. Основы техники релейной защиты / А. М. Беркович [и др.]. М., 1984.
3. *Чернобровов, Н. В.* Релейная защита энергетических систем / Н. В. Чернобровов, В. А. Семенов. М., 1998.

в обмотке $W_{к1}$ ток $I_{к}$, который проходя по обмотке $W_{к2}$ создает в правом стержне магнитный поток $\Phi_{к}$. Магнитный поток $\Phi_{р}$ и магнитный поток $\Phi_{к}$, замыкающиеся через левый стержень, наводят во вторичной обмотке ток I_2 , который проходит по обмотке KA и вызывает срабатывание реле. Таким образом, ток из дифференциальной обмотки трансформируется во вторичную обмотку W_2 как непосредственно, так и путем двойной трансформации из обмотки $W_{д}$ в обмотку $W_{к1}$ и затем из обмотки $W_{к2}$ в обмотку W_2 . При этом чем больше число витков короткозамкнутых обмоток или чем меньше их сопротивление, тем больше магнитный поток и тем сильнее проявление действия двойной трансформации.

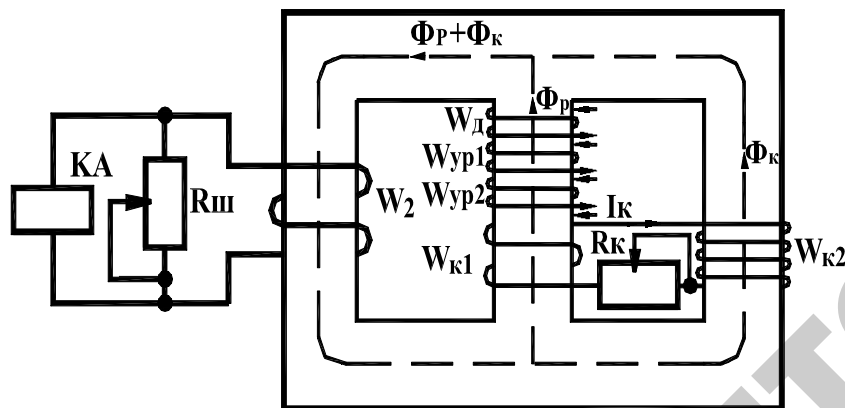


Рис. 7.1. Устройство реле типа РНТ-565

При протекании через дифференциальную обмотку тока с несимметричной формой кривой, в БНТ происходит смещение кривой тока относительно оси времени, так как полный ток во времени переходного процесса состоит из периодической и аperiodической составляющих и равен их сумме (рис. 7.2, б). Токи намагничивания силовых трансформаторов в переходном режиме имеют несимметричную форму кривой, поэтому магнитная индукция в сердечнике БНТ изменяется от B_{\max} до B_0 . На вторичной обмотке БНТ создается небольшая ЭДС и недостаточный для работы реле ток. Это свойст-

во БНТ используется для того, чтобы отличить токи КЗ от токов намагничивания силовых трансформаторов и токов небаланса в первичные периоды КЗ, сопровождающих переходный процесс.

Токи КЗ могут иметь несимметричную форму лишь в первый момент времени и по истечении нескольких периодов, когда затухает переходный процесс, становятся симметричными, как показано на рисунке 7.2, а. Поэтому токи КЗ хорошо трансформируются через БНТ и приводят в действие реле.

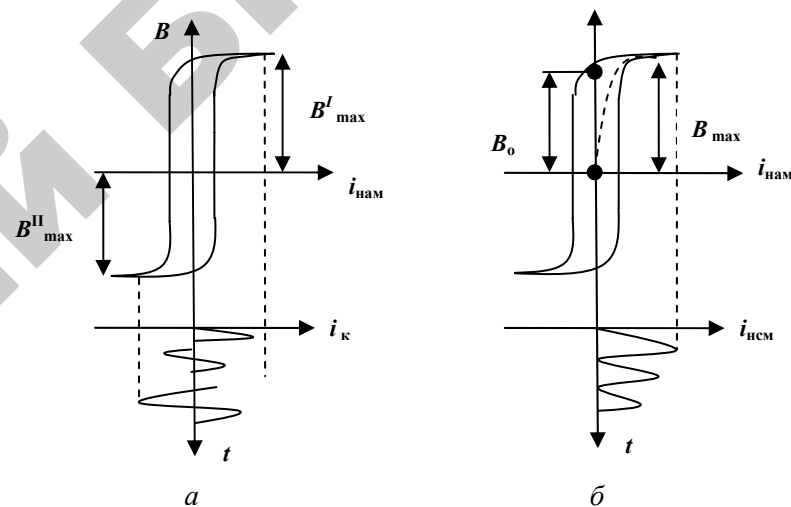


Рис. 7.2. Графики мгновенных величин:

а – с симметричной формой кривой; б – с несимметричной формой кривой.

Степень отстройки, т. е. заглубление действия выходного реле, можно изменять регулированием сопротивления резистора $R_{к}$, включенного последовательно в цепь короткозамкнутой обмотки. С уменьшением $R_{к}$ увеличивается степень насыщения магнитопровода промежуточного трансформатора и увеличивается надежность отстройки от переходных токов с аperiodической составляющей, содержащейся в токе КЗ.

Уравнительные обмотки реле используются для выравнивания магнитных потоков, обусловленных токами, проходящими в плечах дифференциальной защиты. В защите двухобмоточных трансфор-

маторов достаточно использовать одну уравнительную обмотку. В защите трехобмоточных трансформаторов, как правило, необходимо использовать обе обмотки.

Дифференциальная и уравнительная обмотки имеют ответвления и секционированы. Изменение числа витков осуществляется регулировочными винтами, установленными в разъемные гнезда. Числа, нанесенные у гнезд, соответствуют количеству витков.

Регулирование тока срабатывания рассматриваемых реле производится изменением числа витков дифференциальной обмотки. Так как параметры исполнительного элемента не изменяются, значение минимального магнитного потока, при котором реле надежно замыкает контакты, постоянно.

Вследствие того, что $F_{cp} = \frac{100}{W_d}$, значение тока срабатывания зависит от числа используемых витков дифференциальной обмотки:

$$I_{cp} = \frac{100}{W_d}.$$

Значение тока срабатывания при включении только дифференциальной обмотки может изменяться от 2,86 А (замкнуты гнезда 32, 3) до 12,5 А (замкнуты гнезда 8, 0).

При включении в дифференциальную цепь последовательно уравнительной обмотки ток срабатывания уменьшается до 1,45 А.

Проверка МДС срабатывания реле производится по схеме, приведенной на рисунке 7.2.

Коэффициент чувствительности реле определяется по току в исполнительном реле. Для этого подвижная система реле закрепляется в отпавшем положении, соответствующем разомкнутому состоянию контактов. Учитывая, что насыщение магнитопровода БНТ наступает при токах в первичных обмотках, равных $(4,5 - 5)I_{cp}$, производится измерение тока в исполнительном органе при МДС: $F = F_{cp}; 2F_{cp}; 5F_{cp}$.

Количество витков дифференциальной обмотки должно быть максимальным. Коэффициент чувствительности определяется как отношение токов в исполнительном органе при $2F_{cp}$ и $5F_{cp}$ к току при F_{cp} , т. е.

$$K_{ч2} = \frac{I_{ио(2F_{cp})}}{I_{ио(F_{cp})}},$$

$$K_{ч5} = \frac{I_{ио(5F_{cp})}}{I_{ио(F_{cp})}}.$$

Коэффициент чувствительности должен быть $K_{ч2} = 1,2 - 1,3$; $K_{ч5} = 1,3 - 1,5$.

Указания к выполнению работы

1. Собрать схему, изображенную на рисунке 7.2, определить ток срабатывания реле при различном числе витков, используя вначале дифференциальную обмотку, а затем совместно дифференциальную и уравнительную. Для этого при заданных количествах витков плавно увеличивать ток до срабатывания реле. По полученным данным подсчитать значение МДС F_{cp} . Результаты занести в таблицу 7.1.

Таблица 7.1

Определение тока срабатывания реле

Количество витков			Измеряемые величины	
W_d , вит	$W_{ур}$, вит	$W_{уст.} = W_d + W_{ур}$, вит	I_{cp} , А	$F_{cp} = I_{cp} W_{уст.}$ А

2. Закрепить подвижную систему исполнительного органа. Установить суммарное число витков $W_{уст.} = W_d + W_{ур}$, равное 50. Изменить ток в цепи исполнительного органа $I_{ио}$ при токах в реле, равных 2 А, 4 А, 10 А. При этом значение намагничивающих сил соответственно будут составлять 100 А (F_{cp}), 200 А ($2F_{cp}$), 500 А ($5F_{cp}$). По полученным результатам измерений определить значение коэффициентов чувствительности.

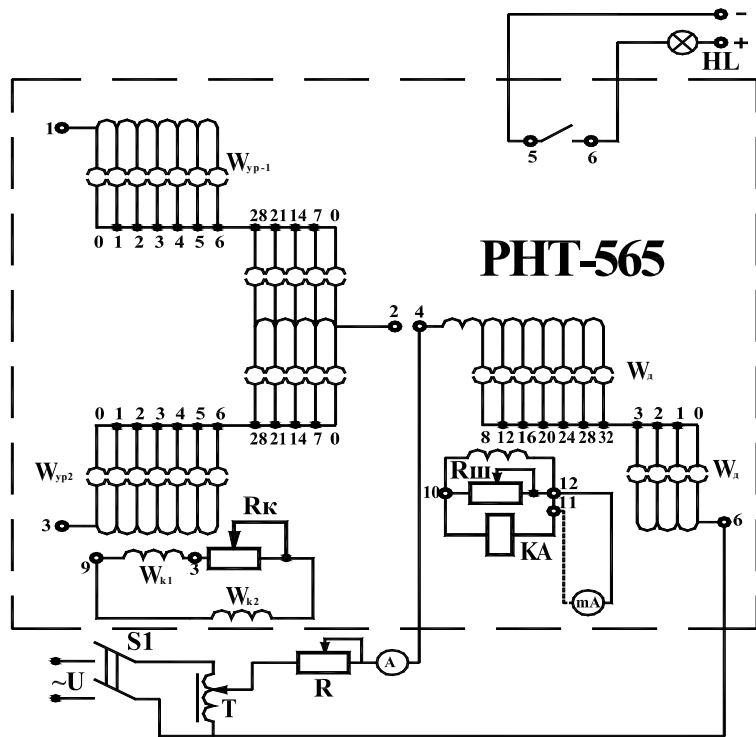


Рис. 7.2. Схема испытания и схема внутренних соединений реле РНТ-565

Содержание отчета

1. Паспортные данные реле.
2. Схема испытаний и схема внутренних соединений реле.
3. Таблицы с результатами испытаний.

Контрольные вопросы

1. Как настроить реле РНТ-565 на заданный ток срабатывания?
2. Укажите назначение всех обмоток в реле РНТ-565.
3. Можно ли в реле типа РНТ-565 использовать уравнивательные обмотки без дифференциальной?
4. Каким образом в реле типа РНТ-565 производится отстройка от бросков намагничивающего тока?
5. Какое назначение резисторов $R_{ш}$, $R_{к}$ в схеме реле РНТ-565?

6. Как и почему изменяются параметры реле, если разомкнута короткозамкнутая обмотка?

Литература

1. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электропитания / В. А. Андреев. М., 2007.
2. Басс, Э. И. Релейная защита электроэнергетических систем : учебное пособие / Э. И. Басс, В. Г. Дорогунцев. М., 2006.
3. Основы техники релейной защиты / А. М. Беркович [и др.]. М., 1984.

ЗАЩИТА ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ

Цель занятия – изучить устройство трансформатора тока нулевой последовательности и реле УС32/2, приобрести навыки определения тока срабатывания защиты.

План занятия

1. Изучить устройство трансформатора тока нулевой последовательности и реле УС32/2.
2. Измерить токи в цепях первичных и в цепях защиты при различных видах коротких замыканий.
3. Определить ток срабатывания защиты и коэффициент чувствительности.
4. Снять характеристику зависимости тока срабатывания защиты от частоты тока.

Методические указания к самостоятельной работе студента

Замыкание на землю одной фазы в сетях с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор нейтралью не является аварией. Потребители, включенные на межфазные напряжения, продолжают нормально работать. Это дает возможность выполнять защиту от замыканий на землю действующей на сигнал. Длительная работа сети при замыкании одной фазы на землю недопустима из-за возможности нарушения межфазной изоляции в месте повреждения и перехода однофазного замыкания в многофазное. Поэтому работа сети в таком режиме допускается не более 2 часов.

Для защиты кабельной линии 10 кВ от однофазных замыканий на землю используются трансформаторы тока нулевой последовательности типов ТЗ, ТЗР, ТЗЛ, ТЗЛР, монтируемые вблизи воронок на головном участке.

Принципиальное устройство трансформаторов тока нулевой последовательности этих типов одинаково. Первичной обмоткой трансформатора является трехфазный кабель. Магнитные потоки, обусловленные токами трех фаз, замыкаются по общей магнитной системе. Геометрическая сумма первичных токов в нормальном режиме и при межфазных коротких замыканиях равна нулю, по-

этому результирующий магнитный поток в таких режимах также равен нулю и тока в обмотке реле, подключенного ко вторичной обмотке трансформатора нет.

В случае замыкания на землю в защищаемом кабеле вследствие появления составляющей тока нулевой последовательности результирующий поток не будет равен нулю. Во второй обмотке будет индуцироваться ЭДС, в реле появится ток и защита сработает.

Во избежание работы защиты под влиянием токов, проходящих по броне кабеля, кабельную воронку и заземляющий провод воронки изолируют от земли, и заземляющий провод пропускают через трансформатор тока. В этом случае токи, замыкающиеся по броне кабеля и по заземлению, проходят в трансформаторе в разных направлениях, а следовательно, компенсируются.

Для осуществления селективности сигнализации при однофазных замыканиях на землю на поврежденной линии ко вторичным зажимам трансформатора тока нулевой последовательности подключается реле типа УС32/2. Принципиальная электрическая схема реле представлена на рисунке 8.1.

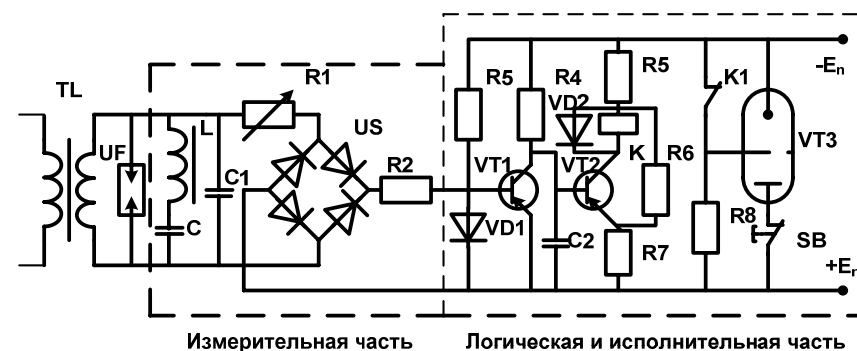


Рис. 8.1. Принципиальная схема реле типа УС32/2

Принцип действия реле УС32/2 основан на том, что при однофазных замыканиях на землю в сетях 10 кВ в токе замыкания кроме токов промышленной частоты 50 Гц содержатся составляющие токов высших гармоник, причем содержание высших гармонических в токе нулевой последовательности поврежденной линии во много раз больше, чем в токах нулевой последовательности неповрежденной линии.

Основными элементами реле являются согласующий трансформатор, измерительная и исполнительная части. Для защиты реле от пиковых напряжений при двойных замыканиях на землю установлен разрядник UF .

Согласующий трансформатор TL служит для согласования работы устройства с различными трансформаторами тока нулевой последовательности.

Измерительная часть предназначена для выделения высших гармонических в токе нулевой последовательности. Она состоит из фильтра LC , настроенного на резонансную частоту 50 Гц, конденсатора $C1$, переменного резистора $R1$ и выпрямителя VS . Конденсатор $C1$ отфильтровывает гармонические составляющие более 2 кГц. Переменный резистор $R1$ служит для регулирования суммарного емкостного тока срабатывания: 25 А, 50 А, 100 А, 250 А.

Логическая и исполнительная части содержат транзисторы $VT1$, $VT2$, диоды $VD1$, $VD2$, тиратрон с холодным катодом $VT3$, конденсатор $C2$, выходное реле K и резисторы $R2$ - $R8$.

В исходном состоянии при отсутствии сигнала от измерительного органа транзистор $VT1$ открыт благодаря наличию напряжении смещения, т.к. сопротивление $R3$ больше сопротивления $R4$. Транзистор $VT2$ закрыт, так как потенциал его базы в связи с открытым состоянием транзистора $VT1$ оказывается более положительным, нежели потенциал эмиттера. В этом случае реле K обесточено и его контакт $K1$ замкнут.

При появлении сигнала от измерительного элемента потенциалы эмиттера и базы транзистора $VT1$ оказываются одинаковыми и транзистор закрывается. Транзистор $VT2$ продолжает оставаться закрытым в течение времени, определяемого временем заряда конденсатора $C2$ до напряжения, равного падению напряжения на резисторе $R7$. Время задержки, определяемое постоянной времени контура $R4$ - $C2$, составляет около 30–50 мс, что вполне достаточно для правильного действия защиты при перемежающихся замыканиях и отстройки ее от переходных процессов. При открытии транзистора $VT2$ срабатывает реле K , размыкающий контакт которого $K1$ обеспечивает загорание тиратрона $VT3$. При устранении повреждения транзисторы $VT1$ и $VT2$ и реле K возвращаются в исходное состояние, тиратрон $VT3$ продолжает гореть до размыкания его цепи кнопочным выключателем SB . Ток срабатывания защиты должен

быть отстроен от емкостного тока защищаемой линии при однофазном замыкании на землю.

$$I_{с.з} = 3K_{отс}K_бU_ф\omega C_л,$$

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

$K_б$ – коэффициент, учитывающий бросок емкостного тока ($K_б = 4-5$ при расчете без выдержки времени, $K_б = 2-3$ – с выдержкой времени);

$U_ф$ – номинальное фазное напряжение сети;

$C_л$ – емкость линии ($C_A = C_B = C_C = C_0 = 1$, для воздушных линий, $C_0 = 5,41 \cdot 10^{-3}$ мкФ/км, кабельных линий $C_0 = (190-220)10^{-3}$ мкФ/км);

ω – угловая частота переменного тока, $\omega = 2\pi f = 314$.

Чувствительность защиты определяется коэффициентом $K_ч$:

$$K_ч = \frac{I_{сп} - I_{сл}}{I_{сз}},$$

где $I_{сп}$ – полный емкостной ток сети;

$I_{сл}$ – емкостной ток защищаемой линии, $C_л = 3 U_ф\omega C_л$.

Для воздушных линий коэффициент чувствительности не должен быть меньше 1,5, а кабельных – 1,25.

Указания к выполнению работы

1. Ознакомиться с устройством трансформатора тока нулевой последовательности и устройством реле типа УС32/2 и начертить схему реле.

2. Для проверки трансформатора тока нулевой последовательности собрать схему, представленную на рисунке 8.2. Имитируя различные виды повреждений, записать все показания приборов. Данные занести в таблицу 8.1.

Таблица 8.1

Показания приборов

Вид повреждения	I_a , А	I_b , А	I_c , А	I_n , А	I_p , А
Трёхфазное КЗ					
Двухфазное КЗ					
Двухфазное КЗ на землю					
Однофазное КЗ на землю					

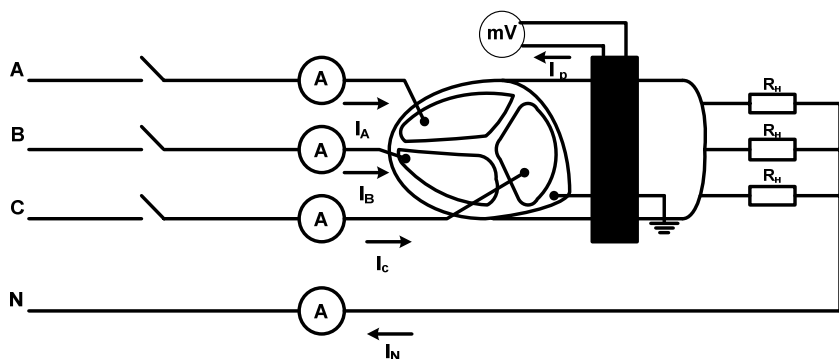


Рис. 8.2. Схема испытания кабельного трансформатора тока нулевой последовательности

3. Для заданного преподавателем варианта из таблицы 8.2 произвести расчет защиты от замыканий на землю кабельных линий 10 кВ.

Таблица 8.2

Данные для расчета защиты от замыканий на землю

Вариант	$I_{\text{каб}}, \text{кА}$	$I_{\text{с.п.}}, \text{А}$
1	6	50
2	5	40
3	4	30

4. Собрать схему по рисунку 8.3, снять характеристику зависимости тока срабатывания защиты от частоты тока для заданной установки на частотах 50, 250, 350, 550, 2000 Гц. Момент срабатывания фиксируется по зажиганию тиратрона.

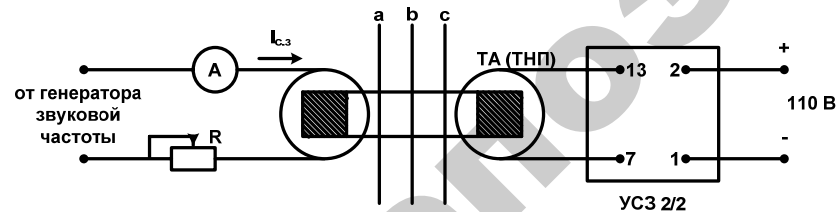


Рис. 8.3. Схема проверки тока срабатывания защиты с реле типа УСЗ2/2

Содержание отчета

1. Принципиальная схема реле УСЗ2/2.
2. Схема испытаний.
3. Таблицы с результатами испытаний.
4. Расчет защиты от замыканий на землю кабельной линии.

Контрольные вопросы

1. Почему защита кабельных линий от замыканий на землю должна действовать на сигнал, а не на отключение?
2. Из каких основных элементов состоит реле УСЗ2/2?
3. Чем изменяется уставка тока срабатывания устройства?
4. С какой целью заземляющий провод от воронки кабеля пропускают через окно трансформатора нулевой последовательности?
5. Чем определяется значение тока повреждения при однофазном замыкании на землю в сети с изолированной нейтралью?

Литература

1. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электропитания / В. А. Андреев. М., 2007.
2. Основы техники релейной защиты / А. М. Беркович [и др.]. М., 1984.

МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ЛИНИЙ 10 кВ

Цель занятия – изучить схемы МТЗ линий 10 кВ, приобрести навыки расчета параметров срабатывания защит и настройки защиты.

План занятия

1. Ознакомиться со схемой защит приведенной на лабораторном стенде.
2. Рассчитать параметры срабатывания защит для данной схемы.
3. Настроить защиты по расчетным уставкам.
4. Проверить работу схем защит при коротких замыканиях в различных точках сети.

Методические указания к самостоятельной работе студента

В сельских электрических сетях широкое распространение получили максимальные токовые защиты, выполненные на реле прямого действия серии РТВ. Эти реле встраиваются в приводы выключателей и механически воздействуют на расцепляющий механизм привода, обеспечивая отключение соответствующего коммутационного аппарата. Пример защиты с реле прямого действия приведен на рисунке 9.1.

Защиты с реле прямого действия просты, надежны, дешевы. Они не имеют размыкающих контактов, содержат минимальное количество аппаратов и соединительных проводов. К недостаткам таких защит следует отнести пониженную чувствительность, так как реле прямого действия имеют большой разброс по току и низкий коэффициент возврата, поэтому ток срабатывания защиты получается выше, чем у защит, выполненных реле косвенного действия. Реле прямого действия потребляют сравнительно большую мощность, что увеличивает нагрузку на трансформаторы тока. Большие погрешности во времени срабатывания реле прямого действия увеличивают время действия максимальных токовых защит.

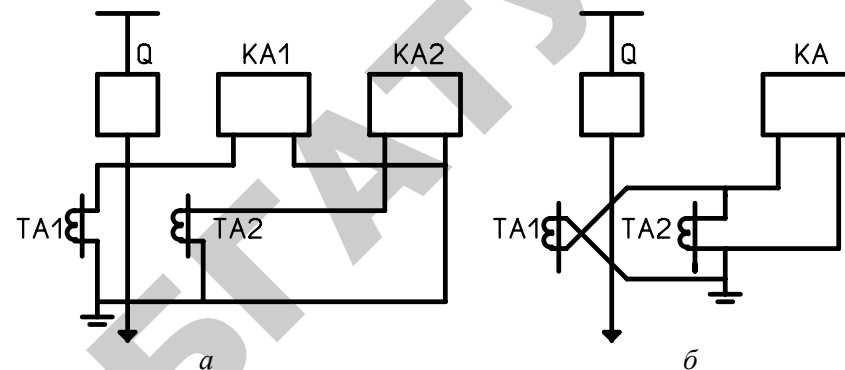


Рис. 9.1. Принципиальные схемы двухфазной максимальной токовой защиты с реле прямого действия типа РТВ:
а – двухрелейная; б – однорелейная

Следующими по распространению являются защиты с дешунтированием отключающего электромагнита (рис. 9.2, 9.3). Эти защиты выполняются токовыми реле косвенного действия.

В защитах с дешунтированием при срабатывании последовательно с обмоткой токового реле включается во вторичную цепь трансформатора тока электромагнит отключения, а так как вторичные цепи трансформатора тока нельзя разрывать, для переключений в них используются контакты безобрывного переключения. В нормальном режиме обмотка токового реле включена в цепь трансформатора тока через размыкающий контакт, затем шунтирующий контакт электромагнита отключения выключателя размыкается, происходит отключение выключателя.

Защиты с дешунтированием могут иметь ограниченно-зависимую характеристику (выполняются на основе реле типа РТ-80, рис. 9.2) или независимую характеристику (выполняются на реле РТ-40, рис. 9.3).

На рисунке 9.3 приведена максимальная токовая защита с независимой характеристикой времени срабатывания, на оперативном переменном токе. Схема включает в себя: токовые реле $KA1$, $KA2$, реле времени KT , указательное реле KH , промежуточные реле $KL1$ и $KL2$. Токовые реле при срабатывании замыкают цепь вторичных обмоток промежуточных трансформаторов реле времени TLa , $TЛс$ на обмотку реле времени KT . При этом во избежание отказа реле

времени при двухфазном КЗ между фазами А и С цепь обмотки TLc разрывается размыкающим контактом $KA1.2$.

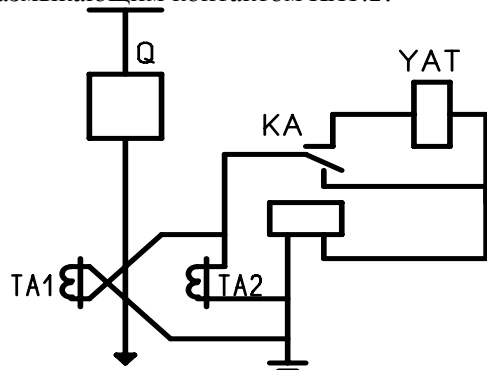


Рис. 9.2. Принципиальная схема максимальной токовой защиты с дешунтированием отключающего электромагнита с ограниченно-зависимой характеристикой

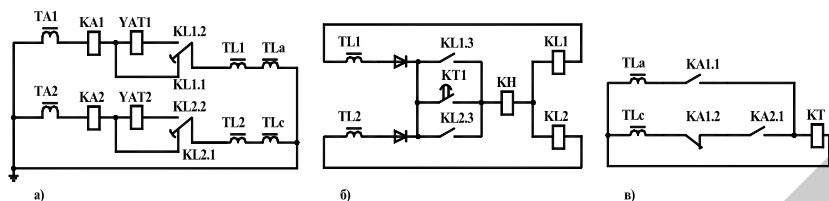


Рис. 9.3. Схема защиты с дешунтированием отключающего магнита с независимой характеристикой на переменном оперативном токе:
а – цепь тока; б – цепь промежуточных реле; в – цепь реле времени

Реле времени, сработав, своим контактом $KT.1$ замыкает цепи вторичных обмоток промежуточных трансформаторов на обмотки промежуточных реле $KL1$ и $KL2$. Промежуточные реле, сработав, своими контактами $KL1.2$ и $KL2.2$ включают соответствующие отключающие катушки $YAT1$ и $YAT2$ в цепь $TA1$ и $TA2$, а контактами $KL1.3$ и $KL2.3$ шунтируют контакт реле $KT.1$.

На рисунке 9.4 приведена схема максимальной токовой защиты с независимой характеристикой времени срабатывания на оперативном постоянном токе. Схема включает в себя два пусковых токовых реле $KA1$ и $KA2$ типа

РТ-40, реле времени KT и указательное реле KH . При срабатывании любого контакта токового реле подается питание на обмотку реле времени. Реле времени, сработав с установленной выдержкой времени, подает своим контактом плюс оперативного тока на отключающую катушку YAT привода выключателя через указательное реле KH и вспомогательный контакт SQ , связанный с приводом выключателя. Указательное реле фиксирует срабатывание защиты и похождение тока через YAT .

Рассмотренные схемы максимальной токовой защиты используются в основном для защиты сетей 10 кВ.

Расчетный первичный ток срабатывания защиты находится по формуле:

$$I_{с.з} = \frac{K_H K_{сзп}}{K_B} I_{pmax},$$

где K_H – коэффициент надежности, 1,2–1,25;

K_B – коэффициент возврата, 0,8–0,9;

$K_{сзп}$ – коэффициент самозапуска, учитывающий увеличение тока в линии при самозапуске нагрузки, принять равным 1,1–1,2;

I_{pmax} – рабочий максимальный ток линии, определяется по суммарной установленной мощности потребительских трансформаторов $S_{уст}$, питающихся от данной линии.

$$I_{pmax} = \frac{S_{\Sigma уст}}{\sqrt{3}U_H} K_c,$$

где K_c – коэффициент спроса, учитывающий неполноту загрузки потребительских трансформаторов, принять равным 0,5–0,6.

Расчетный ток срабатывания реле $I_{ср}$ определяется по формуле:

$$I_{ср} = \frac{I_{сз}}{K_I} K_{сх},$$

где $K_{сх}$ – коэффициент схемы, зависит от схемы соединения трансформаторов тока и реле;

K_I – коэффициент трансформации трансформаторов тока.

По значению тока подбирается уставка по току I_y . Если I_y отличается от $I_{ср}$, то необходимо уточнить значение первичного тока срабатывания $I_{сз}$:

$$I_{сз} = \frac{I_y K_I}{K_{сх}}$$

Чувствительность защиты оценивается коэффициентом чувствительности $k_{ч}$, величина которого должна быть не менее 1,2 в зоне резервирования.

$$K_{ч} = \frac{I_{к\min}}{I_{сз}}$$

Значение $I_{к\min}$ берется для двухфазного КЗ в наиболее удаленной точке линии.

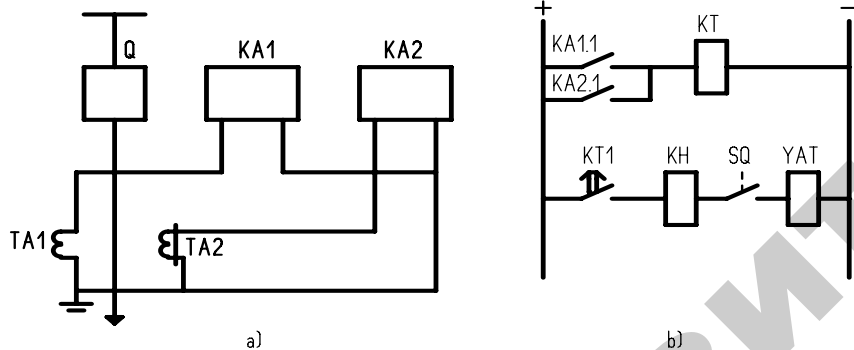


Рис. 9.4. Принципиальная схема двухфазной максимальной токовой защиты с независимой характеристикой времени срабатывания на постоянном токе: а – цепь переменного тока; б – цепь постоянного тока

Время уставки определяется графическим путем (рис. 9.5). Выдержки времени максимальной токовой защиты с независимой характеристикой времени срабатывания выбираются по ступенчатому принципу, который состоит в том, что каждая последующая защита в направлении от потребителей электроэнергии к источнику питания имеет выдержку времени больше предыдущей. Выбор выдер-

жек времени должен начинаться с самых удаленных от источника питания потребителей. Степень селективности t должна быть такой, чтобы успели сработать защиты и отключиться выключатель на поврежденном участке, прежде чем истечет выдержка времени защиты на следующем неповрежденном участке. Как правило, он обычно составляет 0,5 с.

Указания к выполнению работы

1. Ознакомьтесь с моделью электрической сети, релейной аппаратурой, смонтированной согласно рисунку 6.5.

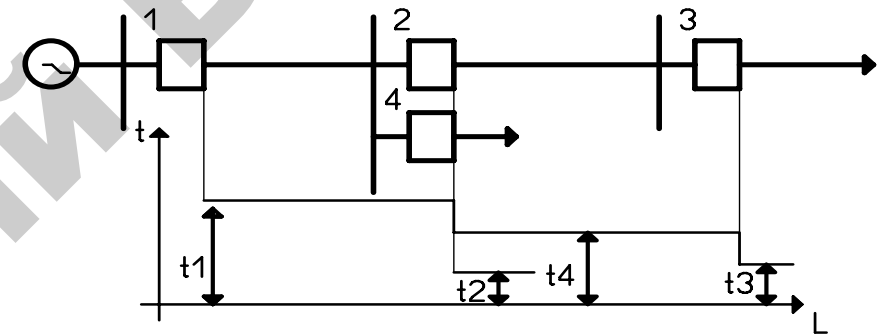


Рис. 9.5. Характеристика выдержек времени максимальной токовой защиты

2. Рассчитать параметры срабатывания защит по заданным исходным данным (параметры приведены в таблице 9.1). Результаты расчетов и построения карты селективности свести в таблицу 9.2.

3. Выставить уставки тока и времени на реле защит.

4. Имитируя КЗ в точках $K1-K4$ линии электропередачи, убедиться в правильности действия защит.

Таблица 9.1

Исходные данные для расчета параметров срабатывания защит								
Вариант	$T1$, кВА	$T2$, кВА	$T3$, кВА	$T4$, кВА	I_1 , А	I_2 , А	I_3 , А	I_4 , А
1	1600	400	250	160	900	300	155	90
2	1600	250	100	630	880	250	110	400
3	2200	250	630	400	1600	600	400	300

Таблица 9.2

Расчет параметров срабатывания защит

Номер защит	$I_{сз}, A$	Тип реле	k_m	I_y, A	$k_{ч}$	t_y, c
1						
2						
3						
4						

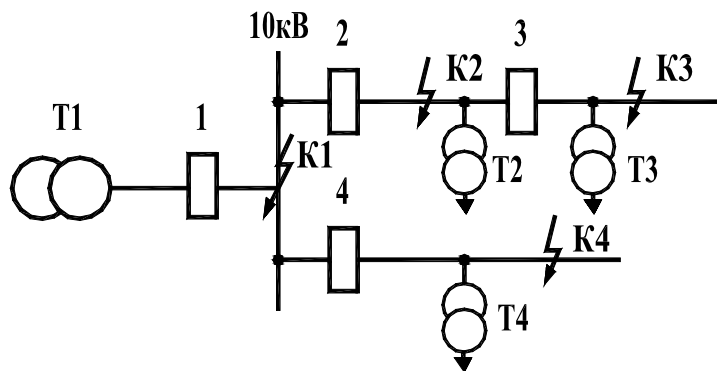


Рис. 9.6. Схема электрической сети, приведенная на стенде

Содержание отчета

1. Схема сети.
2. Схема релейной защиты.
3. Расчет защит.
4. График согласования защит.

Контрольные вопросы

1. Перечислите достоинства и недостатки основных типовых схем защит линий 10 кВ от коротких межфазных замыканий.
2. Как согласуются максимальные токовые защиты по току и времени?
3. В чем заключается принцип действия защит с дешунтированием?
4. Из каких условий определяется ток срабатывания максимальной токовой защиты?
5. Объясните принцип работы приведенных схем защит.

Литература

1. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электро-снабжения / В. А. Андреев. М., 2007.
2. Басс, Э. И. Релейная защита электроэнергетических систем : учебное пособие / Э. И. Басс, В. Г. Дорогунцев. М., 2006.

ТРЕХСТУПЕНЧАТАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ЛИНИЙ

Цель занятия – изучить схемы трехступенчатой токовой защиты линий, приобрести навыки расчета параметров срабатывания защит.

План занятия

1. Ознакомиться со схемой защит, приведенной на лабораторном стенде.
2. Рассчитать параметры срабатывания защит для данной схемы.
3. Настроить защиты по расчетным уставкам.

Методические указания к самостоятельной работе студента

Первая ступень токовой защиты – это токовая отсечка без выдержки времени. Селективность данной защиты обеспечивается за счет величины тока срабатывания защиты, которая принимается больше максимального тока короткого замыкания (КЗ), проходящего через защиту при повреждении вне защищаемого участка сети.

Током срабатывания токовой отсечки защиты А обычно является трехфазное короткое замыкание у шин подстанции Б и определяется по выражению:

$$I_{сз}^I = K_{отс}^I I_{к.вн.маxA}^{(3)}$$

Ток срабатывания реле:

$$I_{рп}^I = K_{отс}^I I_{к.вн.маxA}^{(3)} K_{сх}^{(3)} / K_I,$$

где $I_{к.вн.маxA}^{(3)}$ – внешнее короткое замыкание от шины А;

$K_{отс}^I$ – коэффициент отстройки, учитывающий влияние апериодической составляющей тока внешнего короткого замыкания, для реле РТ-40 принимается 1,2–1,3, для реле РТ-80 – 1,5–1,6, для реле РТМ – 1,8–2,0;

$K_{сх}$ – коэффициент схемы, в зависимости от схемы соединения трансформаторов тока и реле равен 1, 2, $\sqrt{3}$;

K_I – коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Отсечка срабатывает, когда ток, проходящий по защищаемой линии АБ, больше или равен току срабатывания защиты. Это условие выпол-

няется при КЗ в пределах участка ℓ_A^I защищаемой линии, т. е. ℓ_A^I является зоной, защищаемой токовой отсечкой защиты А^I (первая ступень токовой защиты). Следовательно, отсечка защищает не всю линию, а только некоторую ее часть и длина ее зависит от режимов работы, а также видов короткого замыкания.

Вторая ступень токовой защиты – это токовая отсечка с выдержкой времени.

На рисунке 10.1 показана схема сети с двумя последовательно соединенными участками АБ и БВ, для защиты которых установлены токовые отсечки без выдержки времени А^I и Б^I с токами срабатывания

$I_{сзА}^I$ и $I_{сзБ}^I$. Отсечки имеют защищаемые зоны соответственно ℓ_A^I и ℓ_B^I , которые охватывают только часть линий. Линии за пределами зон ℓ_A^I и ℓ_B^I остаются незащищенными, в связи с этим вводится вторая ступень токовой защиты, которая вместе с первой ступенью должна обеспечить защиту всей линии и шины приемной подстанции Б (участок $\ell = \ell_A^I + \ell_B^I$).

Для исключения излишних срабатываний защиты при коротких замыканиях в зоне ℓ_B^I токовой отсечки Б^I линии БВ выдержка времени срабатывания второй ступени токовой защиты ($t_{сзА}^{II}$) устанавливается больше времени срабатывания выключателя токовой отсечки защиты А^I на некоторое время Δt ; в расчетах, как правило, Δt принимается равным 0,5 с.

Для выполнения условия селективности защиты по току необходимо, чтобы ток срабатывания $I_{сзА}^{II}$ второй ступени был больше максимального тока КЗ, проходящего по линии АБ при повреждении в конце защищаемой зоны ℓ_B^I отсечки линии БВ, поэтому этот ток определяется по выражению:

$$I_{сзА}^{II} = K_{отс}^{II} I_{сзБ}^I,$$

где $K_{сзА}^I = 1,1–1,05$ – коэффициент отстройки.

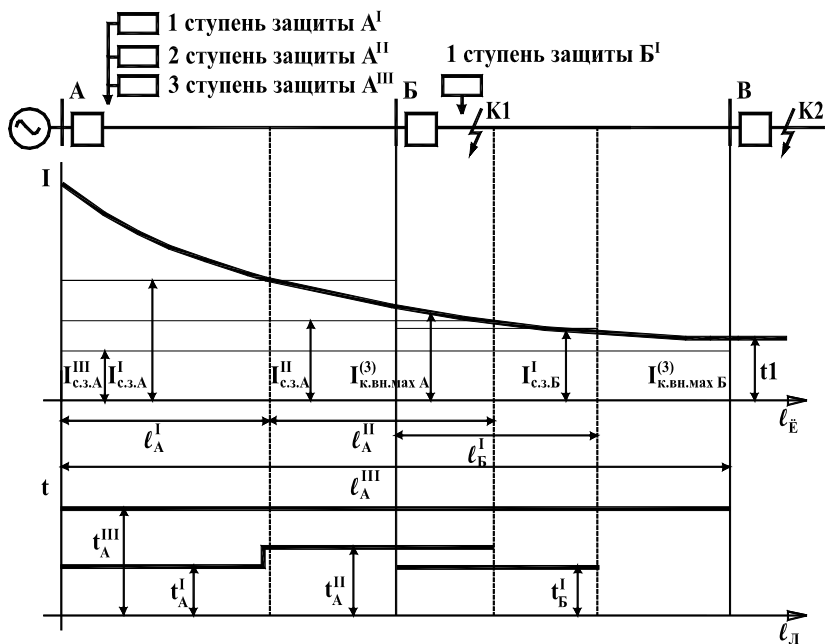


Рис. 10.1. Защищаемые зоны и время действия токовой защиты со ступенчатой характеристикой выдержки времени

При таком выборе тока срабатывания $I_{сзА}^{II}$ и выдержки времени t_A^{II} в зону действия второй ступени защиты линии АБ входят участок l_A^I и шины приемной подстанции (участок l_A^{II}), и обеспечивается дальнейшее резервирование в случае отказа отсечки B^I при КЗ на линии БВ вблизи шин подстанции Б и ближнее резервирование в случае отказа A^I первой ступени защиты линии АБ.

Ток срабатывания реле второй ступени защиты определяется по выражению

$$I_{ср}^{II} = K_{отс}^{II} (K_{отс}^I I_{к.вн.махБ}^{(3)} K_{сх}^{(3)}) / K_I,$$

где $I_{к.вн.махБ}^{(3)}$ – внешнее короткое замыкание от шины Б.

Третья ступень токовой защиты – максимальная токовая защита (МТЗ).

При выборе тока срабатывания пусковых токовых реле МТЗ необходимо обеспечить следующее условие – защита не должна приходиться в действие при прохождении по защищаемому элементу максимального тока нагрузки.

Исходя из данного условия, ток срабатывания МТЗ определяется из максимального тока линии, обусловленного режимом самозапуска, и имеет следующий вид:

$$I_{ср}^{III} = K_{отс}^{III} K_{сзп} K_{сх}^{(3)} I_{раб.мах} / K_B K_I,$$

где $K_{сх}^{(3)}$ – коэффициент схемы, учитывает схему соединения трансформаторов и реле, в зависимости от схемы соединения $K_{сх}^{(3)} = 1, 2, \sqrt{3}$;

K_I – коэффициент трансформации трансформаторов тока;

$K_{отс}^{III}$ – коэффициент отстройки, учитывает погрешность реле

и расчетов, $K_{отс}^{III} = (1,1-1,2)$;

$K_{сзп}$ – коэффициент самозапуска, учитывает увеличение тока за счет самозапуска электродвигателей для промышленных сетей (2,5–3), для сельскохозяйственных (1,2–1,3).

Время срабатывания МТЗ (t_A^{III}) устанавливается больше времени срабатывания второй ступени токовой защиты (t_A^{II}) для осуществления селективной работы со второй ступенью токовой защиты. Его значение должно быть больше времени срабатывания третьей ступени токовой защиты подстанции Б.

При верном выборе тока $I_{ср}^{III}$ и времени срабатывания t_A^{III} в зону действия МТЗ входит участок линии l_A^{III} .

Принципиальная схема трехступенчатой токовой защиты на постоянном оперативном токе представлена на рисунке 10.2. Она выполнена по двухрелейной схеме, трансформаторы тока ТА1 и ТА2 установлены в фазах А, С и соединены по схеме «неполная звезда».

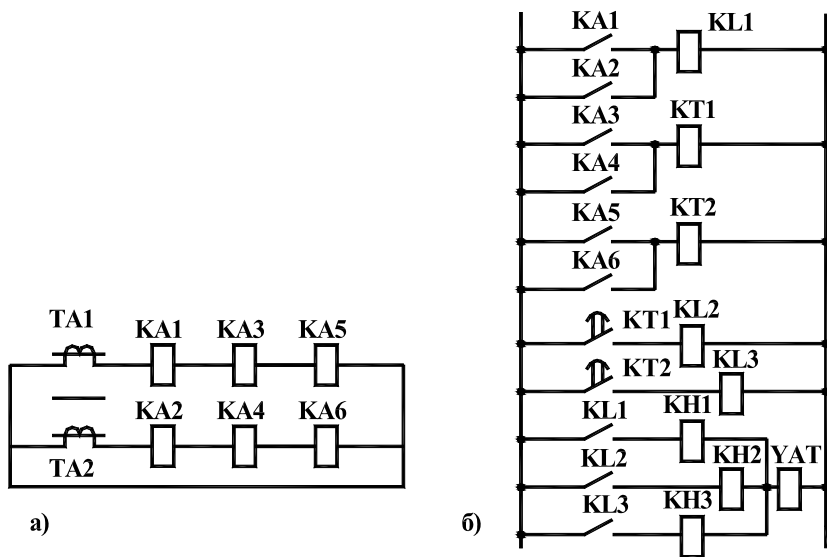


Рис. 10.2. Трехступенчатая токовая защита:
 а – схема токовых цепей; б – схема цепей оперативного тока

Первая ступень защиты состоит из токовых реле $KA1$ и $KA2$, промежуточного реле $KL1$. При срабатывании токовых реле, получает питание промежуточное реле $KL1$ и его контакты замыкают цепь катушки YAT выключателя через указательное реле $KH1$.

Вторая ступень защиты состоит из токовых реле $KA3$ и $KA4$, промежуточного реле $KL2$, реле времени $KT1$. Срабатывание токовых реле вызывает срабатывание реле времени $KT1$, которое, замыкая с выдержкой времени свои контакты, запитывает промежуточное реле $KL2$, которое через указательное реле $KH2$ питает катушку YAT выключателя.

Третья ступень защиты – входят токовые реле $KA5$ и $KA6$, промежуточное реле $KL3$, реле времени $KT2$. Схема действует аналогично второй ступени.

Указания к выполнению работы

1. Ознакомиться с моделью электрической сети, релейной аппаратурой, представленной на рисунке 10.3.

2. Рассчитать параметры срабатывания защит по заданным исходным данным, выбрать трансформаторы токов (параметры приведены в таблице 10.1). Результаты расчетов свести в таблицу 10.2.

Таблица 10.1

Исходные данные для выбора трансформаторов тока

Вариант	$K1, A$	$K2, A$	$I_{\text{раб.макс}}, A$
1	600	400	155
2	540	250	110
3	450	220	90

Таблица 10.2

Результаты расчета параметров срабатывания защит

Защиты	$I_{\text{сз}}, A$	Тип реле	K_I	$I_{\text{ср}}, A$	I_y, A	t_y, c
1-я ступень						
2-я ступень						
3-я ступень						

3. Выставить уставки тока и времени на реле защит.

4. Имитируя короткие замыкания на приведенной лабораторной установке (линии электропередачи), убедиться в правильности действия защит, результаты испытаний занести в таблицу 10.3.

Таблица 10.3

Результаты испытаний

Место повреждения	Показания амперметра, А	Действие защиты		
		1 ступень	2 ступень	3 ступень
SB1				
SB2				
SB3				

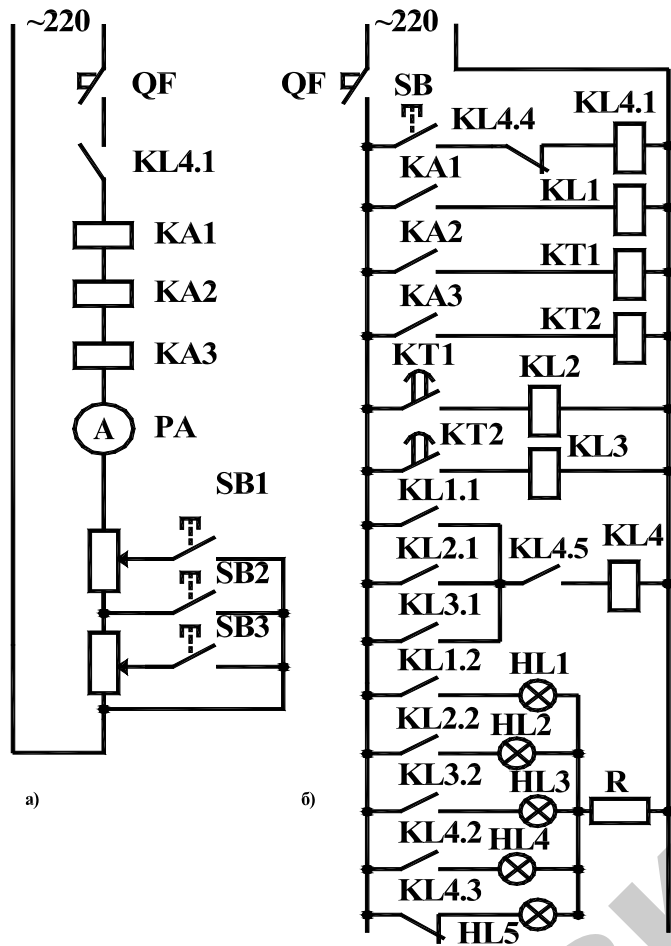


Рис. 10.3. Электрическая схема лабораторной установки:
a – силовая; *б* – управления

Содержание отчета.

1. Схема сети.
2. Схемы релейной защиты.
3. Расчет защит.
4. График согласования защит.

Контрольные вопросы

1. По каким условиям определяется ток срабатывания первой ступени токовой защиты?
2. По каким условиям определяется ток срабатывания второй ступени токовой защиты?
3. По каким условиям определяется ток срабатывания максимальной токовой защиты?
4. Объясните принцип работы приведенной схемы защиты.
5. Как обеспечивается селективность работы трех ступеней защиты?

Литература

1. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электропитания / В. А. Андреев. М., 2007.
2. Чернобровов, Н. В. Релейная защита энергетических систем / Н. В. Чернобровов, В. А. Семенов. М., 1998.

МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ НАПРАВЛЕННАЯ ЗАЩИТА ЛИНИЙ С ДВУХСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ

Цель занятия – изучить схемы максимальной токовой направленной защиты линий с двухсторонним питанием, приобрести навыки расчета параметров срабатывания защит и настройки защиты.

План занятия

1. Ознакомиться со схемой защит, приведенной на лабораторном стенде.
2. Рассчитать параметры срабатывания защит для данной схемы.
3. Настроить защиты по расчетным уставкам.
4. Проверить селективность работы защит линий.

Методические указания к самостоятельной работе студента

Для селективного действия в сетях с двухсторонним питанием токовая защита дополняется измерительным органом направления мощности KW . Такая защита называется токовой направленной. Токовая направленная защита благодаря реле KW реагирует не только на абсолютное значение тока в защищаемом элементе, но и на его фазу относительно напряжения на шинах у места установки защиты, т. е. действует в зависимости от направления мощности при коротких замыканиях. Орган направления мощности позволяет при выборе токов срабатывания учитывать только режимы, при которых мощность направлена от шин в линию, когда реле направления мощности позволяет действовать защите на отключение. Селективное действие защиты обеспечивается соответствующим включением органа направления мощности и выбором выдержки времени.

Токовая направленная защита со ступенчатой характеристикой выдержки времени обеспечивает селективное отключение поврежденного участка в радиальных сетях с несколькими источниками питания и в кольцевых сетях с одним источником питания.

Чувствительность защиты определяется не только измерительным реле тока, но и органом направления мощности. При этом защита отказывает в действии при трехфазных коротких замыканиях

в мертвой зоне, когда остаточного межфазного напряжения у места включения реле недостаточно для срабатывания реле мощности.

Наиболее распространена схема токовой направленной защиты на переменном оперативном токе с дешунтированием электромагнитов отключения выключателей (рис. 11.1).

В защите используются промежуточные реле KL_1 и KL_2 типа РБМ-341, реле времени KT , два реле направления мощности KW_1 и KW_2 типа РБМ и два реле тока KA_1 и KA_2 типа РТ-40. Пуск реле времени осуществляется пофазно последовательно соединенными контактами реле направления мощности и соответствующего реле тока. При истечении установленной выдержки времени реле KT срабатывает, замыкая вторичные цепи промежуточных реле KL_1 и KL_2 (рис. 11.1, з). Контакты $KL_{1,1}$ и $KL_{2,1}$ дешунтируют электромагниты $YAT1$ и $YAT2$, отключая выключатель. При направлении мощности к.з. к шинам реле направления мощности не действует, поэтому реле времени, а, следовательно, и промежуточное реле не срабатывают и защита не отключает выключатели.

В распределительных сетях напряжением до 35 кВ защита выполняется двухфазной и является основной защитой от всех коротких замыканий, в сетях более высоким напряжением она используется в основном как резервная.

На рисунке 11.2 приведена схема модели сети с двухсторонним питанием, выполненной на лабораторном стенде. На данной установке обеспечение селективного отключения повреждений в моделируемой сети защиты 1–4 на линиях Л1, Л2 выполнены направленными и имеют три органа: пусковой, направления мощности и выдержки времени. Защита 5 выполнена обычной максимальной токовой.

Ток срабатывания пусковых токовых реле направленной защиты определяется по выражению:

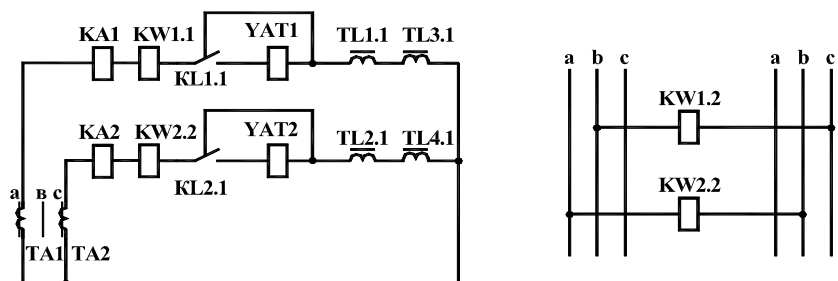
$$I_{\text{ср}} = \frac{K_n K_{\text{сзн}} K_{\text{сх}}}{K_B K_I} I_{\text{рmax}},$$

где K_n – коэффициент надежности отстройки, принять $K_n = 1,2$;

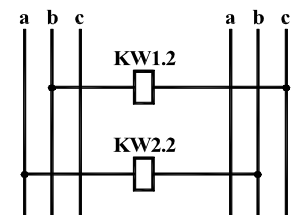
K_B – коэффициент возврата, принять $K_B = 0,8$;

$K_{\text{сзн}}$ – коэффициент самозапуска, принять $K_{\text{сзн}} = 1$;

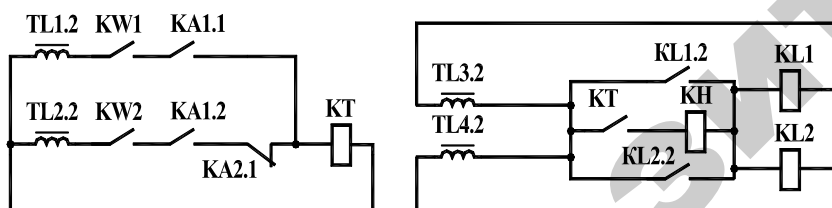
$K_{сх}$ – коэффициент схемы, принять $K_{сх} = 1$;
 K_I – коэффициент трансформации трансформаторов тока, принять $K_I = 1$;
 $I_{p \max}$ – рабочий максимальный ток линии, А (задается преподавателем).



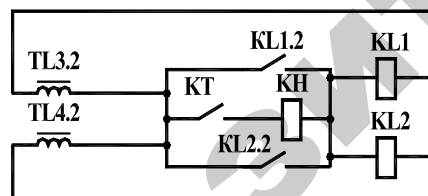
а



б



в



г

Рис. 11.1. Максимальная токовая направленная защита на переменном оперативном токе

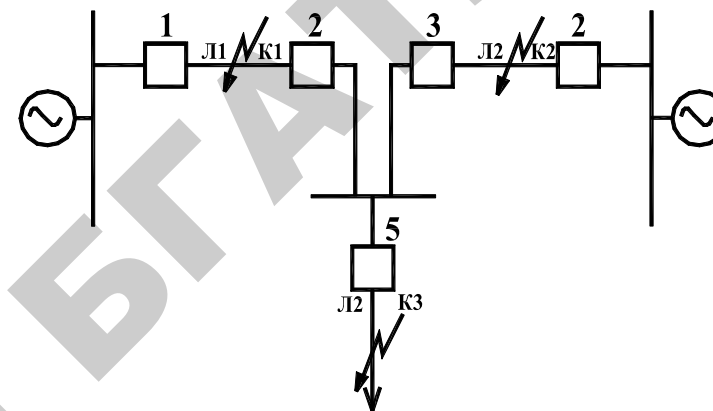


Рис. 11.2. Схема сети с двухсторонним питанием, приведенная на стенде

Чувствительность защиты определяется коэффициентом чувствительности $K_{ч}$:

$$K_{ч} = \frac{I_{к\min}}{I_{сз}}$$

где $I_{к\min}$ – минимальный ток к.з. в конце защищаемой зоны, А;
 $I_{сз}$ – ток срабатывания защиты, А.

Правила устройства электроустановок (ПУЭ) устанавливают для основной защиты значение $K_{ч} > 1,5$, а для зоны резервирования – $K_{ч} > 1,2$.

Выбор выдержек времени максимальных направленных защит производится по ступенчатому принципу, но с учетом направленности их действия, т. е. производится согласование защит, действующих в одном направлении. При этом по условию селективности для защит с независимыми характеристиками время срабатывания последующей защиты определяется по выражению:

$$t_{сз.посл} = t_{сз.пред} + \Delta t,$$

где $t_{сз.пред}$ – время срабатывания предыдущей защиты, с;

Δt – ступень селективности, с, принять $\Delta t = 0,5$ с.

Вначале предполагается питание сети только от источника А. Поэтому для защит 1, 3 строятся характеристики как для линии с односторонним питанием (рис. 11.3). Выдержки времени смежных максимальных токовых защит 5, 6, 7 задаются преподавателем.

Выдержка времени защиты 3 определяется по условию:

$$t_{сз(3)} = t_{сз(7)} + \Delta t,$$

а выдержка времени следующей защиты 1 должна удовлетворять двум условиям:

$$t_{сз(1)} > t_{сз(3)} + \Delta t \text{ и } t_{сз(1)} > t_{сз(5)} + \Delta t.$$

При этом условия, дающие большую выдержку времени, являются определяющими. Аналогично определяется выдержка времени защит 2, 4 из предположения, что питание сети осуществляется только от источника Б.

Указания к выполнению работы

1. Ознакомьтесь с моделью электрической сети, релейной аппаратурой, смонтированной согласно рисунку 11.2.
2. Рассчитать параметры срабатывания защит по заданным исходным данным. Результаты расчетов и построения карты селективности свести в таблицу 11.1.
3. Установить токи срабатывания реле на пусковых токовых реле, а также выдержки времени на реле времени защит 1–5.
4. Имитируя к.з. в линии электропередачи, убедитесь в правильности действия защит.

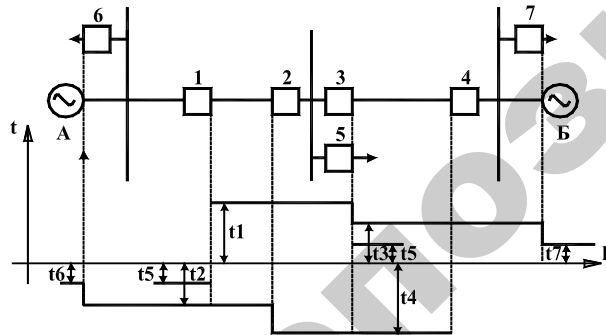


Рис. 11.3. Характеристики выдержек времени максимальных токовых направленных защит

Результаты расчетов

Номер защит	$I_{сз}, A$	Тип реле	I_y, A	$k_{ч}$	t_y, c
1					
2					
3					
4					
5					

Содержание отчета

1. Схема сети.
2. Схема релейной защиты.
3. Расчет защит.
4. График согласования защит.

Контрольные вопросы

1. Чем определяется чувствительность токовой направленной защиты?
2. Как согласуются токовые направленные защиты по току и времени?
3. В чем заключается принцип действия защит с дешунтированием?
4. Из каких условий определяется ток срабатывания максимальной токовой направленной защиты?
5. Объясните принцип работы схемы токовой направленной защиты.
6. Чем обусловлено наличие мертвой зоны у максимальной токовой направленной защиты?

Литература

1. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения / В. А. Андреев. М., 2007.
2. Александров, А. М. Обзор руководящих материалов по релейной защите РАО «ЕЭС России» за 1990–1999 гг. : учебное пособие / А. М. Александров. СПб., 2000.
3. Основы техники релейной защиты / А. М. Беркович [и др.]. М., 1984.

ПОПЕРЕЧНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ НАПРАВЛЕННАЯ ЗАЩИТА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Цель занятия – изучить схемы поперечной токовой направленной защиты параллельных линий, приобрести навыки расчета тока срабатывания защиты.

План занятия

1. Изучить схему направленной поперечной дифференциальной защиты параллельных линий.
2. Проверить работу защиты при имитации различных коротких замыканий и обрыве одной из линий.
3. Рассчитать токи срабатывания защит.

Методические указания к самостоятельной работе студента

Дифференциальная токовая защита основана на принципе непосредственного сравнения токов по концам защищаемого элемента или в каких-либо его точках. На дифференциальном принципе осуществляются поперечные защиты линии.

Поперечная дифференциальная токовая направленная защита параллельных линий предназначена для избирательного отключения поврежденной линии при КЗ на ней.

Упрощенная принципиальная схема направленной поперечной дифференциальной защиты приведена на рисунке 12.1. Органом, выявляющим, наличия повреждения в зоне параллельных линий, является реле тока, включенное на разность вторичных токов трансформаторов тока, по первичным обмоткам которых проходят фазные токи параллельных линий. Избирательное отключение поврежденной одной из двух линий выполняется при помощи реле направленной мощности.

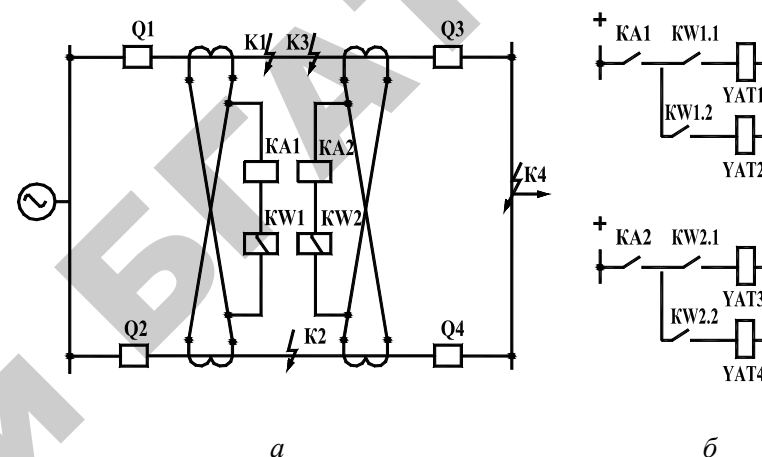


Рис. 12.1. Упрощенная схема направленной поперечной дифференциальной защиты параллельных линий:
a – силовая схема; *б* – цепь управления

В органе направления мощности в данном случае используется индукционное реле направления мощности двухстороннего действия, обмотка тока которого включается последовательно с обмоткой реле тока на разность токов одноименных фаз параллельных линий, а к обмотке напряжения подводится напряжение шин. Реле направления мощности включается в цепь защиты из тех принципов, чтобы оно срабатывало на отключение той линии, в которой мощность КЗ направлена от шин в линию. При повреждении линии Л1 в точке К1 оба реле направления мощности *KW1* и *KW2* имеют положительные вращающие моменты, под действием которых они замыкают контакты в цепях на отключение линии Л1.

При повреждении линии Л2 в точке К2 оба реле мощности под действием отрицательных вращающих моментов замыкают контакты в цепях на отключение линии Л2.

Ток срабатывания реле тока выбирается из двух условий:

1) из условия отстройки от тока небаланса при внешних КЗ (точка К4). Учитывая, что погрешность трансформаторов тока не превышает 10 %:

$$I_{\text{нб max}} = \frac{0,1K_{\text{одн}}K_{\text{пер}}0,5I_{\text{к.вн max}}^{(3)}}{K_I},$$

где $I_{\text{к.вн max}}^{(3)}$ – ток внешнего КЗ;

$K_{\text{одн}}$ – коэффициент однотипности трансформаторов тока, для разнотипных $K_{\text{одн}} = 1$, однотипных $K_{\text{одн}} = 0,5$;

$K_{\text{пер}}$ – коэффициент, характеризующий увеличение тока небаланса трансформаторов в переходном режиме ($K_{\text{пер}} = 2$).

Уставка токового реле:

$$I_{\text{ср}} = K_{\text{отс}}I_{\text{нб max}},$$

где коэффициент отстройки $K_{\text{отс}} = 1,3$;

2) из условия отстройки от максимального тока нагрузки, проходящего по одной из параллельных линий, когда вторая линия отключена с противоположного конца:

$$I_{\text{ср}} = \frac{K_{\text{отс}}I_{\text{нагр max}}}{K_{\text{в}}K_I},$$

где $K_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки ($K_{\text{отс}} = 1,2-1,3$);

$K_{\text{в}}$ – коэффициент возврата ($K_{\text{в}} = 0,8-0,85$);

$I_{\text{нагр max}}$ – суммарный ток нагрузки по двум параллельным линиям.

Поперечная дифференциальная токовая направленная защита обладает мертвой зоной и зоной каскадного действия. Под мертвой зоной понимается участок линии около шин питающей подстанции при трехфазном КЗ, на котором защита не действует из-за отказа в работе органа направления мощности вследствие недостаточного напряжения. Она расположена в месте расположения защиты. Мертвые зоны защит практически маловероятны. Длина мертвой зоны не должна превышать 10 % длины защищаемой линии.

Под зоной каскадного действия понимается участок линии вблизи шин приемной подстанции, при повреждении на котором защита со стороны питающей подстанции придет в действие только после того, как поврежденная линия будет отключена от шин приемной подстанции. Зона каскадного действия существует при всех видах КЗ вследствие того, что разность токов питающего участка мала и недостаточна для обеспечения срабатывания защиты. Длина каскадной зоны не должна превышать 25 % длины защищаемой линии.

Если точка КЗ расположена у шин подстанции Б, то не срабатывает реле пускового органа защиты подстанции А. Однако ток в реле пускового органа защиты подстанции Б достаточен для срабатывания защиты. Эта защита отключает выключатель Q_3 . После этого весь ток в точку КЗ от подстанции А идет только по поврежденной линии Л1, благодаря чему пусковой орган срабатывает и защита подстанции А отключает выключатель Q_1 . Таким образом происходит поочередное (каскадное) отключение выключателей поврежденной линии. Для расчета зоны каскадного действия используется выражение:

$$l = \frac{I_{\text{сз}}}{I_{\text{кз}}},$$

где $I_{\text{сз}}$ – ток срабатывания защиты;

$I_{\text{кз}}$ – ток короткого замыкания;

l – длина линии.

На рисунке 12.2 представлена испытательная схема поперечной дифференциальной токовой направленной защиты параллельных линий. На лабораторном учебном стенде собрана одна фаза защиты. Сопротивления линии представлены в виде сосредоточенных сопротивлений, полученных с помощью одинаковых реостатов R_2 , R_3 . Сопротивление системы имитируется реостатом R_1 . Выключатели на линиях Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_4 заменены промежуточными реле с самоудерживанием KL_1 , KL_2 , KL_3 , KL_4 .

Указания к выполнению работы

1. Для заданного преподавателем варианта из таблицы 12.1 рассчитать ток срабатывания пускового реле.
2. Ознакомиться с аппаратурой, представленной на стенде.
3. Изучить принципиальную электрическую схему дифференциальной токовой направленной защиты, представленной на рисунках 12.2 и 12.3.
4. Установить на реле полученные значения тока срабатывания.
5. Включить линии в работу, для чего: замкнуть рубильники S_2 , S_3 ; кнопками управления SBC_1 , SBC_2 , SBC_3 , SBC_4 подать питание на промежуточные реле XL_1 , KL_2 , KL_3 , KL_4 , имитирующие выключатели Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_4 ; включить рубильник основного питания S_1 .

6. Проверить работу защиты при имитации следующих КЗ и записать показания приборов в таблицу 12.2:

а) внешних (включен рубильник S_4);

б) на каждой линии – K_1 и K_2 (замыканием рубильников S_6 и S_7 соответственно).

На момент записи показаний приборов снять рубильником S_5 оперативный ток с защиты.

7. Проверить работу защиты при обрыве одной из линий (разомкнуть рубильник S_2 или S_3).

Таблица 12.1

Данные для расчета тока срабатывания пускового реле

Номер варианта	$U_{ном}, В$	$I_{раб макс}, А$	$K_{1ном}$	$X_c, Ом$	$l, км$
1	35	250	400/5	10	25
2	110	550	600/5	6	40
3	110	750	800/5	4	50

Таблица 12.2

Показания приборов при имитации КЗ

Режим	Показания приборов			Действие защиты
	$I_1, А$	$I_2, А$	$I_p, А$	
Нагрузочный				
Внешнее КЗ				
КЗ на первой линии (K1)				
КЗ на второй линии (K2)				
Отключение одной линии				

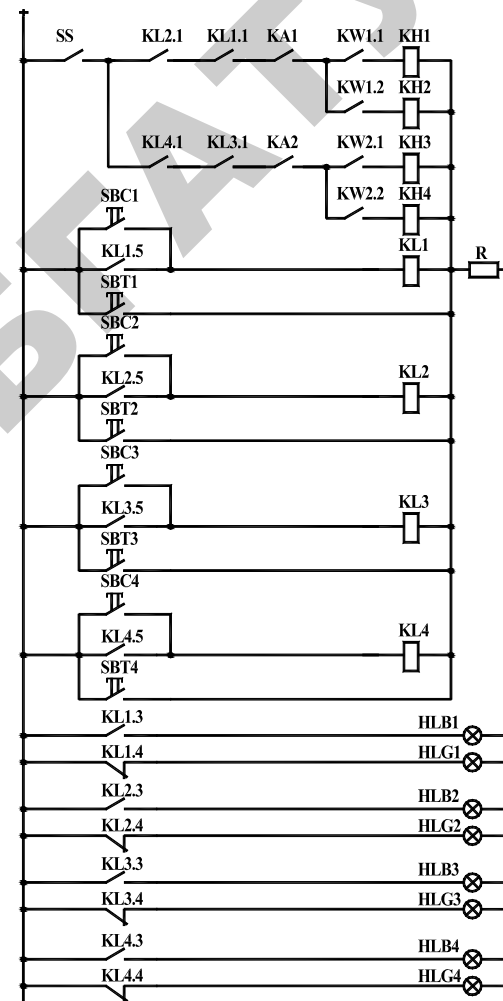


Рис. 12.3. Схема испытания поперечной дифференциальной токовой направленной защиты, цепь управления

Контрольные вопросы

1. Из каких органов состоит поперечная дифференциальная токовая направленная защита и каково их назначение?
2. Почему при отключении одной линии защита должна выводится из действия?

СОГЛАСОВАНИЕ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ

Цель занятия – приобрести навыки по расчету токов срабатывания защит, токов уставок токовых реле.

План занятия

1. Рассчитать токи срабатывания защит.
2. Определить коэффициенты чувствительности защит.
3. Рассчитать токи уставок токовых реле.
4. Построить график согласования защит и определить уставки времени защит.
5. Отрегулировать реле согласно рассчитанным уставкам.
6. Проверить селективность защит при коротких замыканиях в различных точках сети.

Методические указания к самостоятельной работе студента

В сельских электрических сетях, в основном, применяются два вида токовых защит: максимальная токовая защита (МТЗ) и токовая отсечка. Основным различием этих защит является согласование на селективность. Под селективностью понимается способность релейной защиты отключать поврежденный элемент электропередачи ближайшей защитой, что позволяет неповрежденную часть электрической установки оставлять в работе. МТЗ отстраивается на селективность по времени и току срабатывания защиты. Токовая отсечка – только по току срабатывания. Ток срабатывания максимальной токовой защиты отстраивается от максимального тока нагрузки:

$$I_{сз} = \frac{K_n K_{зап}}{K_B} I_{раб\ max},$$

где K_n – коэффициент надежности реле косвенного действия. $K_n = 1,1-1,2$; учитывает разброс по току срабатывания реле, погрешности трансформаторов тока, погрешности при регулировке тока срабатывания;

$K_{зап}$ – коэффициент самозапуска; учитывает увеличение тока нагрузки при самозапуске двигателей после восстановления напряже-

3. Что такое каскадное действие защиты?

4. Чем обусловлен ток небаланса в реле и почему при внешних КЗ защита не срабатывает?

5. Что такое мертвая зона защиты?

Литература

1. *Андреев, В. А.* Релейная защита и автоматика систем электро-снабжения / В. А. Андреев. М., 2007.

2. *Басс, Э. И.* Релейная защита электроэнергетических систем : учебное пособие / Э. И. Басс, В. Г. Дорогунцев. М., 2006.

3. *Основы техники релейной защиты / А. М. Беркович [и др.].* М., 1984.

ния в результате отключения к.з. на смежном участке (для линий 10 кВ сельских районов $K_{зап} = 1,2-1,3$);

K_B – коэффициент возврата токового реле; его значение зависит от типа (для реле РТ-40 $K_B = 0,8-0,85$, для реле РТ-80 $K_B = 0,8$).

$$I_{раб\ max} = \frac{S_{уст}}{\sqrt{3}U_H} K_c,$$

где K_c – коэффициент спроса, учитывающий неполноту загрузки потребительских трансформаторов и несовпадение максимумов нагрузки, при выполнении расчета принять $K_c = 0,5-0,6$.

Ток срабатывания реле определяется по выражению:

$$I_{cp} = \frac{K_{cx}}{K_I} I_{cз},$$

где K_{cx} – коэффициент схемы при симметричном режиме; для схем соединения трансформаторов тока в полную и неполную звезду $K_{cx} = 1$, при включении реле на разность токов двух фаз $K_{cx} = \sqrt{3}$;

K_I – коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Ток уставки реле:

$$I_y > I_{cp}.$$

Согласование защит по току срабатывания выполняется по следующему соотношению:

$$I_{cз} \geq 1,1 (I_{cз\ max} + \sum I_{p\ max}),$$

где $I_{cз\ max}$ – ток срабатывания предшествующей защиты, считая от потребителей, имеющей наибольший ток срабатывания, А;

$\sum I_{p\ max}$ – сумма максимальных рабочих токов остальных линий, А.

Чувствительность МТЗ оценивается коэффициентом чувствительности:

$$K_{\chi} = \frac{I_{к.з\ min}}{I_{cз}},$$

где $I_{к.з\ min}$ – минимальное значение к.з. в конце защищаемого участка или в конце зоны резервирования;

$I_{cз}$ – ток срабатывания защиты.

Согласно ПУЭ значение для основной зоны $K_{\chi} > 1,5$, для зоны резервирования – $K_{\chi} > 2$.

Если по расчету $K_{\chi} < K_{\chi\ доп} 2$, то необходимо повысить чувствительность защиты.

Последовательно расположенные максимальные токовые защиты согласуются на селективность по времени действия. Выдержка времени защиты, расположенной ближе к источнику питания, принимается большей с последующим ее уменьшением при удалении от источника.

Уставки по времени срабатывания для МТЗ с независимыми характеристиками выбираются по ступенчатому принципу и рассчитываются по выражению:

$$t_{yn} = t_{yn-1} + \Delta t,$$

где n – последовательный номер защиты, считая от наиболее удаленной от источника питания;

Δt – ступень селективности, разница между уставками по времени срабатывания последовательно расположенных защит. Ее величина зависит от типа реле времени и предела регулировки уставки по времени и колеблется в пределах 0,1–20 с.

Ток срабатывания отсечки рассчитывается по двум условиям селективности и отстройки от бросков намагничивающего тока сетевых трансформаторов, возникающих при включении линии на напряжение.

По условию селективности действия тока срабатывания отсечки отстраиваются от максимального тока короткого замыкания в конце защищаемого участка:

$$I_{cз} = K_H I_{кз},$$

где $I_{кз}$ – ток короткого замыкания;

K_H – коэффициент надежности, принимаемый равным: при выполнении отсечки токовыми реле типа РТ-40, $K_H = 1,2-1,3$; при выполнении отсечки реле типа РТ-80 $K_H = 1,4-1,5$.

По условию отстройки тока срабатывания отсечки от бросков намагничивающих токов сетевых трансформаторов, для мгновенных отсечек с реле РТ-40.

$$I_{cз} > K_{отс} I_{нт},$$

где $K_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимаемый равным: при выполнении отсечки токовыми реле типа РТ-40 $K_{отс} = 3-4$; при выполнении отсечки реле типа РТ-80 $K_{отс} = 4-5$;

$I_{нт}$ – номинальный ток трансформатора.

$$I_{нт} = \frac{S_{нт}}{\sqrt{3}U_{н}}$$

Из полученных двух значений тока срабатывания отсечки принимается большее. Для отсечек с временем действия порядка 0,5 с и более отстройка тока срабатывания от намагничивающего тока не требуется, поскольку намагничивающий ток трансформаторов быстро исчезает.

Коэффициент чувствительности отсечки проверяют при к.з. в месте установки отсечки:

$$K_{ч} = \frac{I_{к.з. min}}{I_{сз}}$$

Коэффициент чувствительности для трансформаторов принимается $K_{ч} = 2$, для защиты линий (в качестве резервной защиты) допускается $K_{ч} < 2$ при условии, что отсечка защищает не менее 15–20 % длины линии.

Указания к выполнению работы

1. Ознакомиться с моделью электрической сети с односторонним питанием, релейной аппаратурой, смонтированной согласно рисунку 13.1.

2. Рассчитать токи срабатывания МТЗ и токовых отсечек и определить уставки тока токовых реле. При расчете токов принять $K_{сх} = 1$. Результаты занести в таблицы 13.1 и 13.2.

Таблица 13.1

Определение токов срабатывания МТЗ

Определяемые величины	МТЗ-1	МТЗ-2	МТЗ-3
	В1	В2	В3
1	2	3	4
$I_{сп} = \frac{K_{сх} I_{сз}}{K_i}$, А			

Окончание таблицы 13.1

1	2	3	4
$I_{сз} = \frac{K_{н} K_{зап} I_{раб max}}{K_{в}}$, А			
$I_{раб max} = \frac{S_{уст}}{\sqrt{3}U_{н}} K_{с}$, А			
$I_{y} > I_{сп}$			
$I_{сз.д} = \frac{K_l I_y}{K_{сх}}$, А			
$K_{н.осн} = \frac{I_{к min осн}}{I_{сз.д}} \geq 1,5$			
$K_{н.рез} = \frac{I_{к min рез}}{I_{сз.д}} \geq 1,2$			
t_y , с			

3. Определить уставки времени защит, построив для этого график согласования в следующей последовательности:

- принять ось координат (рис. 13.2) в пределах 1200 А и 7 с;
- нанести токовременную характеристику МТЗ-3, защищающей Л2, приняв $t_{y3} = 1$ с.

Таблица 13.2

Определение токов срабатывания отсечек

Определяемые величины	Токвая отсечка В1	Токвая отсечка В2
	2	3
$I_{сз.л} = K_{н} I_{к.з}$		
$I_{сз.т} > K_{отс} I_{нт}$, где $I_{нт} = \frac{S_{н}}{\sqrt{3}U_{н}}$		

Окончание таблицы 13.2

1	2	3
$I_{сз}$ – наибольшая из $I_{сз.л}, I_{сз.т}$		
$I_{ср} = \frac{K_{сх} I_{сз}}{K_I}, A$		
$K_{ч} = \frac{I_{к\ min}}{I_{сз}}$		

Таблица 13.3

Данные для расчета параметров защит

Элемент передачи	T	Л1	Л2	Точка кз	K1	K2	K3	Номера трансформаторов	ТТ1	ТТ2	ТТ3
Расчетная нагрузка, кВА	3600	1800	900	$I_{к}, A$	360	900	400	Коэффициенты трансформаторов тока	40	30	20

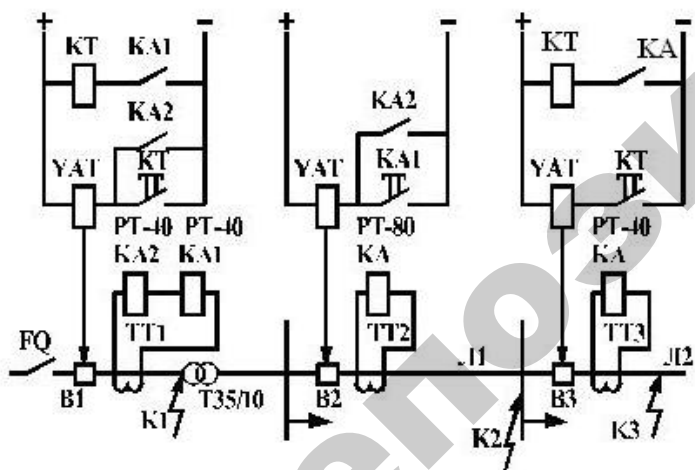


Рис. 13.1. Схема электрической сети на лабораторном стенде

Построить зависимую характеристику МТЗ-2:

- ток согласования МТЗ-2 с МТЗ-3 $I_{согл} = I_{к.з}$;
- время срабатывания МТЗ-2 при токе согласования $t_{сз2} = t_{y3} + \Delta t$;
- кратность согласования $K_{согл} = \frac{I_{согл}}{I_{сз.д}}$;
- по $K_{согл}$ и при $I_{согл}$ определить контрольную точку на характеристике реле РТ-80 (рис. 13.3);
- выбрать временную характеристику реле, которая проходит через контрольную точку, продолжив выбранную характеристику до К-10, определить время уставки МТЗ-2;
- задавшись кратностью, определить время срабатывания защиты и ток к.з., который должен протекать через МТЗ-2.

4. Построить токовременную характеристику МТЗ-1 (рис. 13.2) и определить уставку времени $t_{y1} = t_{y2}$ при $I_{сз.д} + \Delta t$.

5. Проверить селективность действия защит:

- выставить уставки тока и времени на реле;
- имитируя к.з. в точках электропередачи, убедиться в правильности действий защит;
- имитируя отказ защит МТЗ-3 и МТЗ-2, придержав якорь реле РТ-40 или рамку реле РТ-80, при к.з. в точках К3 и К4.

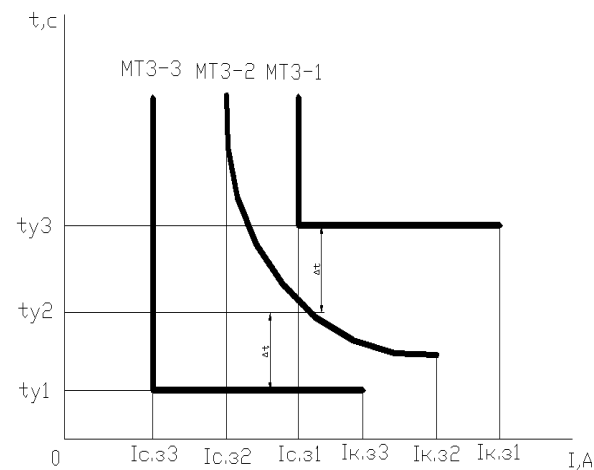


Рис. 13.2. График согласования защит

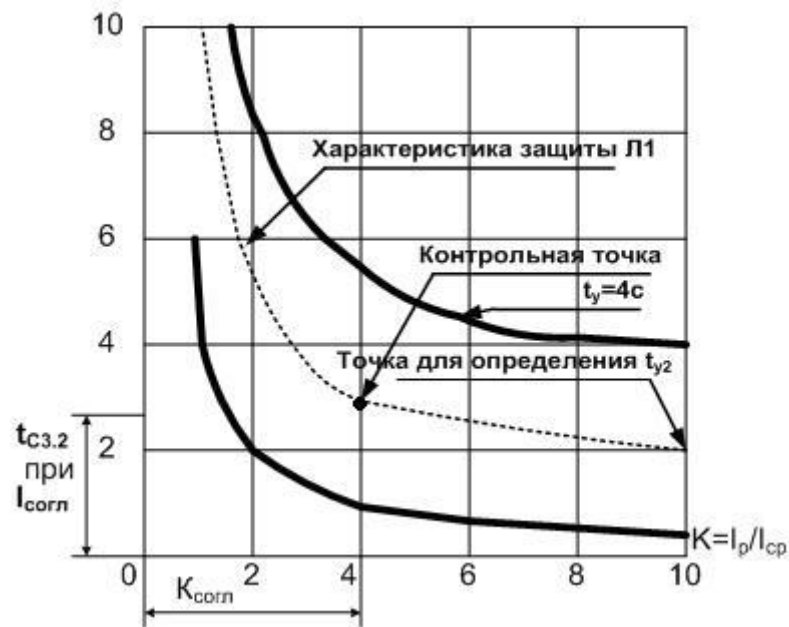


Рис. 13.3. Временные характеристики реле типа РТ-80

Содержание отчета

1. Схема сети.
2. Расчет защит.
3. График согласования защит.

Контрольные вопросы

1. Укажите достоинства и недостатки МТЗ, токовой отсечки.
2. Назовите области применения МТЗ, токовой отсечки.
3. С какой целью производится согласование защит?
4. Какие существуют способы согласования на селективность МТЗ и токовых отсечек?
5. Как определяется ток срабатывания защиты из условия согласования с последующими защитами?
6. По каким условиям определяется ток срабатывания МТЗ и токовой отсечки?
7. Как определяется значение коэффициента чувствительности?

Литература

1. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электропитания / В. А. Андреев. М., 2007.
2. Басс, Э. И. Релейная защита электроэнергетических систем : учебное пособие / Э. И. Басс, В. Г. Дорогунцев. М., 2006.
3. Основы техники релейной защиты / А. М. Беркович [и др.]. М., 1984.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРА

Цель занятия – изучить схемы защиты трансформаторов, приобрести навыки расчета тока срабатывания защит.

План занятия

1. Изучить схемы защиты трансформаторов.
2. Рассчитать ток срабатывания защиты для трансформатора.
3. Отстроить защиту согласно расчетам.
4. Проверить работу защиты.

Методические указания к самостоятельной работе студента

Дифференциальная защита применяется в качестве основной быстродействующей защиты трансформаторов и автотрансформаторов. Ввиду ее сравнительной сложности дифференциальная защита устанавливается в следующих случаях:

- на одиночно работающих трансформаторах мощностью 6300 кВА и выше;
- на параллельно работающих трансформаторах мощностью 4000 кВА и выше;
- на трансформаторах мощностью 1000 кВА и выше, если токовая отсечка не обеспечивает необходимой чувствительности при КЗ на выводах низшего напряжения ($\kappa_{\text{ч}} = 2$), а максимальная токовая защита имеет выдержку времени более 1 с.

При параллельной работе трансформаторов дифференциальная защита обеспечивает не только быстрое, но и селективное отключение поврежденного трансформатора.

Дифференциальные токовые защиты трансформаторов выполняются в виде:

- дифференциальной токовой отсечки (рис. 14.1);
- дифференциальной токовой защиты с промежуточными насыщающимися трансформаторами тока (рис. 14.2);
- дифференциальной токовой защиты с реле, имеющими торможение (рис. 14.3).

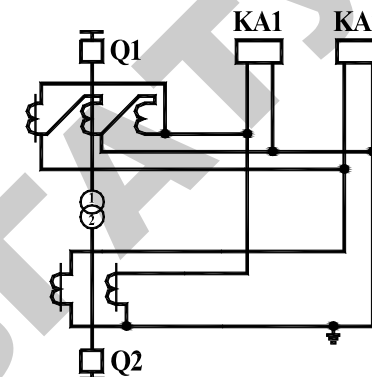


Рис. 14.1. Принципиальная схема дифференциальной отсечки

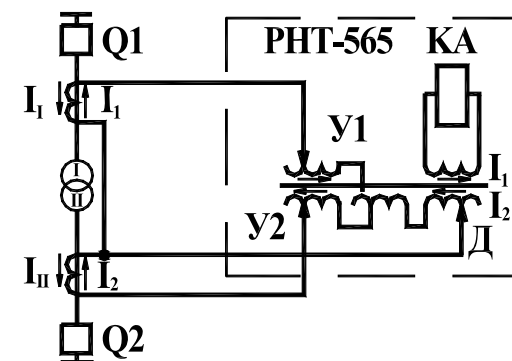


Рис. 14.2. Принципиальная схема дифференциальной защиты трансформатора с реле типа РНТ-565

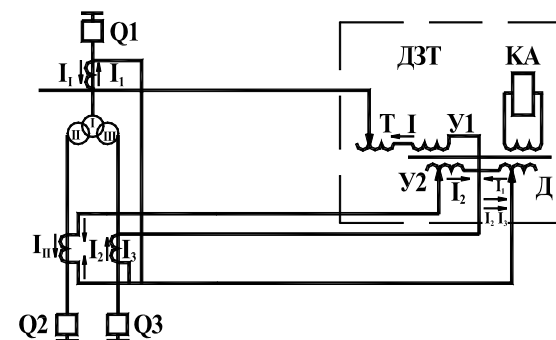


Рис. 14.3. Принципиальная схема дифференциальной защиты с реле типа ДЗТ

1	2	3
Вторичные токи в плечах защиты, соответствующие номинальной мощности трансформатора: $I_B = \frac{IK_{сх}}{K_I}, A$		
Первичный ток срабатывания защиты, выбранный по условию отстройки от тока намагничивания: $I_{сз} = K_{отс} I_H, A$		
Расчетный ток срабатывания реле: $I_{ср} = \frac{I_{сз} K_{сх}}{K_I}, A$		
Расчетное число витков: $W_{раб} = \frac{100}{I_{ср}}$		
Принятое число витков дифференциальной обмотки (на основной стороне с наибольшим вторичным током) $W_{диф}$		
Число витков обмоток на других сторонах: $W_{раб} = \frac{W_{диф} I_{в.осн}}{I_{в.расч}}$		
Число витков уравнильных обмоток: $W_{ур} = W_{раб} - W_{диф}$		
Действительный ток срабатывания $I_{ср} = \frac{100}{W_{раб}}, A \quad I_{сз} = \frac{I_{ср} K_{т.н}}{K_{сх}}, A$		

Дифференциальная токовая отсечка является наиболее простой из дифференциальных защит трансформаторов. Она выполняется посредством максимальных реле тока (РТ-40, РТМ), включаемых непосредственно в дифференциальную цепь схемы без каких-либо промежуточных устройств.

Достоинством дифференциальной токовой отсечки является быстродействие и простота, однако из-за большого тока срабатывания дифференциальная токовая отсечка не всегда достаточно чувствительна, поэтому она применяется на трансформаторах с относительно небольшой мощностью.

Дифференциальная токовая защита с промежуточными насыщающимися трансформаторами тока применяется в тех случаях, когда чувствительность токовой отсечки недостаточна или требуется дополнительное устройство для выравнивания токов в схеме с реле косвенного действия. Данная защита обеспечивает чувствительность защиты у трансформаторов мощностью менее 25 МВА. Защита выполняется с использованием реле типа РНТ-565.

Для того чтобы при прохождении через трансформатор сквозного тока нагрузки или КЗ ток во вторичной обмотке был равен нулю, необходимо правильно включить рабочую и уравнильные обмотки в дифференциальную схему и так подобрать числа витков обмоток, чтобы компенсировать неравенство вторичных токов ТТ и установить необходимый ток срабатывания.

Таблица 14.1

Расчет дифференциальной защиты трансформатора

Величина и расчетное выражение	Напряжение	
	высшее	низшее
1	2	3
Первичный номинальный ток защищаемого трансформатора: $I = \frac{S_H}{\sqrt{3}U_H}, A$		
Схема соединения вторичных обмоток трансформатора тока		
Выбранные коэффициенты трансформации трансформаторов тока K_I		

Последовательность расчета дифференциальной защиты приведена в таблице 14.1.

Дифференциальная защита с торможением применяется при наличии встроенного регулирования напряжения под нагрузкой и источников питания с нескольких сторон. В этих случаях определяющим при выборе тока срабатывания является отстройка от максимального тока небаланса при внешних КЗ. При этом чувст-

вительность защиты с РНТ может оказаться недостаточной. Для повышения чувствительности дифференциальной защиты в таких случаях используется реле с тормозным действием типа ДЗТ. У таких реле на быстронасыщающемся трансформаторе (БНТ) кроме обмоток, аналогичных тем, что имеются у реле типа РНТ, расположены дополнительно одна или несколько тормозных обмоток. Тормозная обмотка, включенная в плечо дифференциальной защиты, по которой проходит ток сквозного КЗ, подмагничивает сердечник (БНТ), что приводит к увеличению тока срабатывания реле и обеспечивает отстройку от увеличивающихся токов небаланса.

Указания к выполнению работы

1. Ознакомиться со схемой соединения дифференциальной защиты трансформатора, начертить схему внутренних соединений.
2. Произвести расчет дифференциальной защиты трансформатора, установленного на лабораторном стенде, согласно таблице 14.1 (мощность трансформатора задается преподавателем).
3. Установить с помощью регулировочных винтов требуемое расчетом число витков на всех обмотках промежуточного трансформатора.
4. Произвести проверку срабатывания и возврата реле, для чего собрать схему согласно рисунку 14.4. Результаты измерений занести в таблицу 14.2.

Таблица 14.2

Результаты измерения токов

Наименование включаемой обмотки	Число витков	Ток, А		K_B
		I_{cp}	$I_{в.р}$	
Дифференциальная				
Дифференциальная и уравнивающая				

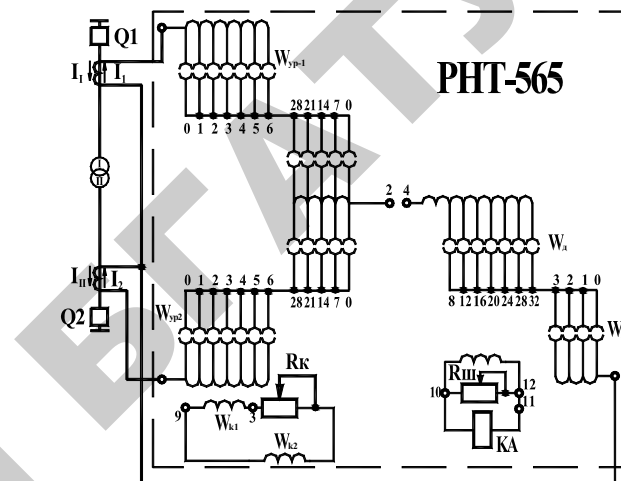


Рис. 14.8. Схема включения обмоток реле типа РНТ-565

Содержание отчета

1. Схемы защит.
2. Расчет защит.
3. Таблицы испытаний.

Контрольные вопросы

1. Какова область применения дифференциальных токовых защит?
2. Каковы особенности выполнения дифференциальной токовой отсечки?
3. Каковы особенности выполнения дифференциальной токовой защиты с промежуточными насыщающимися трансформаторами тока?
4. Каковы особенности выполнения дифференциальной токовой защиты с реле, имеющими торможение?
5. Какая очередность расчета дифференциальной защиты трансформатора?

Литература

1. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электропитания / В. А. Андреев. М., 2007.
2. Чернобровов, Н. В. Релейная защита энергетических систем / Н. В. Чернобровов, В. А. Семенов. М., 1998.

ЗАЩИТА АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1 КВ

Цель занятия – изучить схемы защиты асинхронных электродвигателей, приобрести навыки расчета токов срабатывания защит.

План занятия

1. Изучить схемы защиты асинхронных электродвигателей.
2. Рассчитать токи срабатывания защиты при межфазных коротких замыканиях и перегрузках.
3. Рассчитать токи срабатывания защиты при замыканиях на землю.
4. Отстроить защиту согласно расчетам.
5. Проверить работу защиты при различных режимах.

Методические указания к самостоятельной работе студента

Для короткозамкнутых асинхронных двигателей напряжением выше 1 кВ предусматриваются устройства релейной защиты, действующие при многофазных замыканиях на выводах и в обмотках статора; перегрузках, обусловленных технологическими причинами, а также затянувшимся пуском и самозапуском; замыканиях на землю в обмотках статора.

Для защиты от многофазных коротких замыканий применяются плавкие предохранители, токовые отсечки без выдержки времени и продольные дифференциальные защиты.

Распространенной схемой защиты асинхронных двигателей собственных нужд станций и подстанций напряжением выше 1 кВ и мощностью менее 2 МВт от КЗ и перегрузок является однорелейная схема с использованием реле серии РТ-80 (рис. 15.1). Электромагнитный элемент реле используется для защиты двигателя от КЗ; индукционный элемент с ограниченно зависимой характеристикой времени срабатывания – для защиты от перегрузок.

Расчет защиты двигателей должен производиться с учетом их характеристик эксплуатационных режимов – пуска или самозапуска, сопровождающихся резким увеличением тока, проходящего от-

носительно длительное время. Защита должна обеспечивать возможность пуска или самозапуска двигателя, т. е. должна быть отстроена от этих режимов.

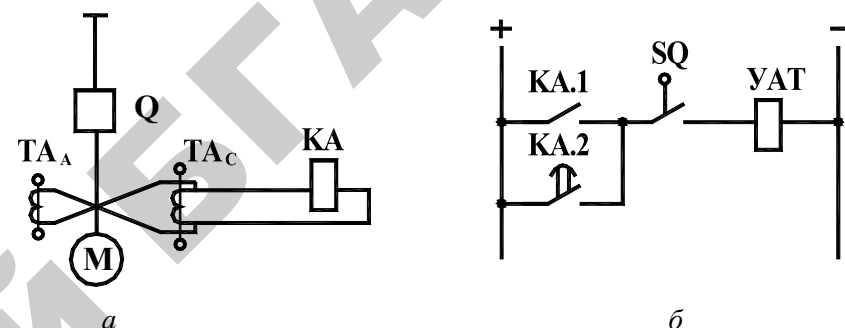


Рис. 15.1. Схема защиты электродвигателя от замыканий и перегрузок с реле типа РТ-80:
 а – цепь тока; б – цепь оперативного постоянного тока

Защита от многофазных замыканий

Вторичный ток срабатывания защиты двигателя от к.з., расчет вставки электромагнитного расцепителя выбираются по условию:

$$I_{\text{ср}} = \frac{K_{\text{сх}} K_{\text{отс}} I_{\text{пуск}}}{K_I},$$

где $K_{\text{сх}}$ – коэффициент схемы, при включении реле на разность токов двух фаз, $K_{\text{сх}} = \sqrt{3}$;

$I_{\text{пуск}}$ – периодическая составляющая пускового тока, берется по данным завода;

$K_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность реле и апериодическую составляющую пускового тока, для реле РТ-80 $K_{\text{отс}} = 1,8-2$.

Защита от перегрузок

Расчет вторичного тока срабатывания защиты двигателя от сверхтоков, обусловленных перегрузкой, расчет вставки индукционного элемента производится по выражению:

$$I_{\text{ср.пер}} = \frac{K_{\text{сх}} K_{\text{отс}} I_{\text{ндв}}}{K_I K_B},$$

где $K_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, $K_{\text{отс.}} = 1,1-1,2$;

K_B – коэффициент возврата, принимаемый для реле РТ-80, $K_B = 0,8$;

$I_{\text{ндв}}$ – номинальный ток двигателя.

Выдержка времени защиты t_3 должна превышать на 20–30 % время пуска двигателя.

Защита от замыканий на землю

В сетях с изолированной нейтралью однофазные замыкания на землю, как правило, непосредственной опасности для поврежденного электродвигателя не представляют. Поэтому специальные защиты устанавливают, если ток КЗ превышает для двигателей мощностью более 2 МВт – 10 А и для двигателей менее 2 МВт – 5 А. Если ток больше, то выполняется защита с помощью одного реле РТЗ-50, которое подключается к трансформатору тока нулевой последовательности. Для определения тока срабатывания защиты используется выражение:

$$I_{\text{сз}} = K_n K_{\text{отс}} I_c,$$

где I_c – емкостный ток электродвигателя;

K_n – коэффициент надежности, $K_n = 1,2-1,3$;

$K_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, учитывающий бросок емкостного тока в момент замыкания; для защит без выдержки времени $k_{\text{отс}} = 4-5$, с выдержкой времени – $K_{\text{отс}} = 2-2,5$.

Емкостный ток электродвигателя определяется по формуле:

$$I_c = \omega C_d U_{\text{нф}},$$

где $U_{\text{нф}}$ – номинальное фазное напряжение электродвигателя, В;

C_d – емкость фазы электродвигателя, Ф;

ω – угловая частота переменного тока, $\omega = 2\pi f = 314$.

Значение емкости фазы для неявнополюсных синхронных и асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором определяется по выражению:

$$C_d = \frac{0,0187 S_{\text{д ном}} 10^{-6}}{1,2 \sqrt{U_{\text{ном}}} (1+0,08 U_{\text{ном}})},$$

где $S_{\text{д ном}}$ – номинальная мощность электродвигателя, МВА;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное линейное напряжение, кВ.

Ток срабатывания защиты не должен превышать 10 А для электродвигателей мощностью более 2 МВт и 5 А для двигателей мощностью менее 2 МВт.

Указания к выполнению работы

1. Произвести расчет уставок по току срабатывания защит двигателя от КЗ и перегрузок.

2. Собрать схему защиты двигателя в соответствии с рисунком 15.2.

3. Установить на реле полученные значения:

– тока срабатывания защиты от перегрузок на индукционном элементе $I_{\text{уст}}$, $I_{\text{ср.пер}}$;

– выдержки времени $t_{\text{уст}}$, $t_{\text{пуск}}$;

– кратности токовой отсечки $K_{\text{отс}} = \frac{I_{\text{ср.кз}}}{I_{\text{уст}}}$.

4. Исследовать работу схемы при следующих режимах:

– пуск двигателя, нажать кнопку SB;

– нормальный нагрузочный режим, рубильник S_1 включен;

– перегрузка двигателя, рубильник S_2 включен;

– КЗ на зажимах двигателя, рубильник S_3 включен.

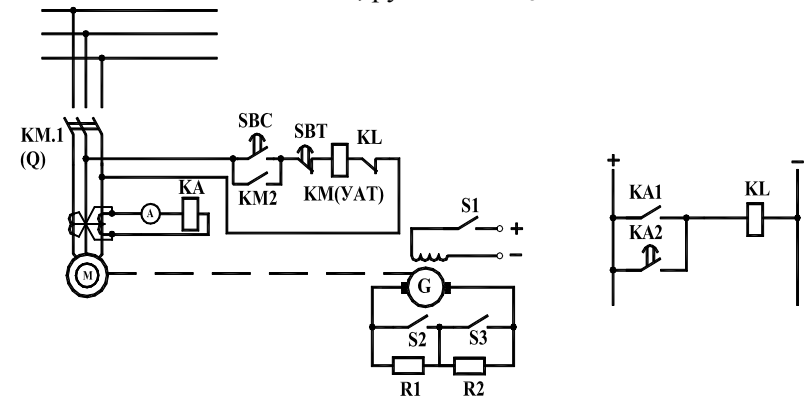


Рис. 15.2. Схема защиты асинхронного двигателя от КЗ и перегрузок на лабораторном стенде

Данные исследований занести в таблицу 15.1.

Таблица 15.1

Данные исследования работы схемы		
Уставки на реле		
$I_{уст} = \quad t_{уст} = \quad k_{отс} =$		
Режим	Показания амперметра	Работа элементов реле
Пуск двигателя		
Нагрузочный режим		
Перегрузка		
КЗ на зажимах реле		

5. Произвести расчет защиты при замыкании на землю по данным таблицы 15.2.

Таблица 15.2

Данные для расчета защиты при замыкании на землю		
Вариант	$U_{\text{ф}}$ кВ	$S_{\text{ф}}$ МВА
1	6	3
2	3	1,2
3	6	5

Содержание отчета

1. Схемы защиты электродвигателей.
2. Расчет защит.
3. Таблицы с результатами испытаний.

Контрольные вопросы

1. Что такое самозапуск двигателя?
2. Как отстроить защиту двигателя от КЗ и перегрузок, от режима пуска?
3. Как осуществляется защита двигателя от замыкания на землю?
4. Как работает защита при пуске, перегрузке и КЗ?
5. Как отстроить защиту от замыкания на землю?
6. Как дополнить схему защиты двигателя, чтобы обеспечить отключение двигателя при замыкании на землю одной фазы в обмотках статора?

Литература

1. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электропитания / В. А. Андреев. М., 2007.
2. Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1 кВ / В. И. Корогодский [и др.]. М., 1987.

УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЗЕРВА (УАВР)

Цель занятия – изучить принцип работы УАВР, приобрести навыки расчета уставок УАВР.

План занятия

1. Ознакомиться с назначением, областью применения УАВР и предъявляемыми к ним требованиями.
2. Изучить принцип работы УАВР.
3. Произвести расчет уставок УАВР.
4. Проверить работу УАВР при различных режимах.

Методические указания к самостоятельной работе студента

В системах электроснабжения при наличии двух и более источников питания часто целесообразно работать по разомкнутой схеме. При этом все источники включены, но не связаны между собой, каждый из них обеспечивает питание выделенных потребителей. Такой режим работы сети объясняется необходимостью уменьшить потери электроэнергии, уменьшить ток короткого замыкания, упростить релейную защиту, создать необходимый режим по напряжению. Однако при этом надежность электроснабжения в разомкнутых сетях оказывается более низкой, чем в замкнутых, так как отключение единственного источника приводит к прекращению питания всех потребителей. Следовательно, возникает необходимость подачи напряжения от резервного источника, а интервал времени включения сильно влияет на ток самозапуска. Чем меньше интервал, тем меньше снизится частота вращения электродвигателя и легче и быстрее произойдет последующий самозапуск. Характер изменения напряжения, частоты вращения двигателя и тока в процессе самозапуска показан на рис. 16.1.

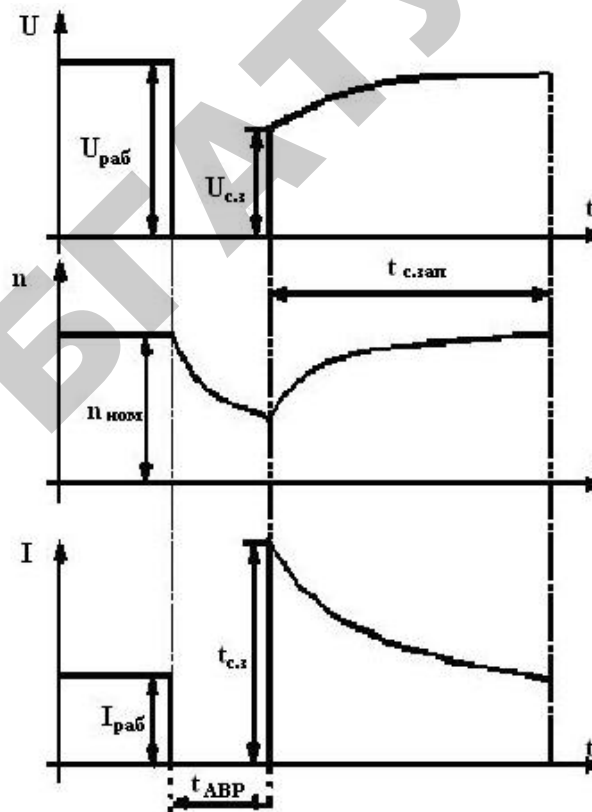


Рис. 16.1. Характер изменения напряжения на зажимах двигателя, его частоты вращения и тока в процессе самозапуска при действии УАВР

Для успешного самозапуска нужно, чтобы при подаче напряжения от резервного источника питания момент, развиваемый асинхронным двигателем, превышал момент сопротивления нагрузки. Увеличение быстроты АВР позволяет оставлять в работе большую часть асинхронной нагрузки. Однако чрезмерно быстрая подача резервного питания (менее 0,2 с) может привести к тому, что напряжение на зажимах асинхронных двигателей, поддерживаемое остаточным намагничиванием, еще не затухнет и произойдет несинхронное включение. Поэтому минимальное значение временно-го интервала срабатывания УАВР должно быть не менее 0,3–0,4 с. УАВР является эффективным средством, повышающим надежность

электроснабжения. Успешность действия УАВР составляет 90–95 %, поэтому этот вид автоматики широко применяется на подстанциях основных и распределительных сетей. Для собственных нужд станций выполнение УАВР является обязательным.

Требования, предъявляемые к УАВР

1. Находиться в состоянии постоянной готовности к действию и срабатывать при прекращении питания потребителей по любой причине и наличии нормального напряжения на другом, резервном для данных потребителей источнике питания.

2. Иметь минимально возможное время срабатывания $t_{\text{АВР}}$. Это необходимо для сокращения продолжительности перерыва питания потребителей и обеспечения самозапуска электродвигателей.

3. Обладать однократностью действия, что необходимо для предотвращения многократного включения резервного источника на устойчивое короткое замыкание.

4. Обеспечивать вместе с защитой быстрое отключение резервного источника питания и его потребителей от поврежденной резервируемой секции шин и тем самым сохранять их нормальную работу. Для этого предусматривается ускорение защиты после АВР.

5. Не допускать опасных несинхронных включений синхронных электродвигателей и перегрузок оборудования.

Принцип работы УАВР

Схема УАВР состоит из следующих элементов (рис. 16.2):

реле времени KT создает выдержку времени от момента пуска устройства до замыкания цепи контактора включения;

промежуточное реле $KLT1$ – реле с замедлением на размыкание, замыкает цепь катушек включения выключателей $Q3$ и $Q4$;

промежуточное реле $KL2$ – при срабатывании замыкает цепь выключения выключателей;

промежуточное реле $KL3$ – подает питание на катушки включения выключателей;

реле напряжения $KV1$, $KV2$ – контролирует наличие минимального напряжения в основной сети;

реле напряжения $KV3$ – контролирует наличие напряжения на резервном источнике.

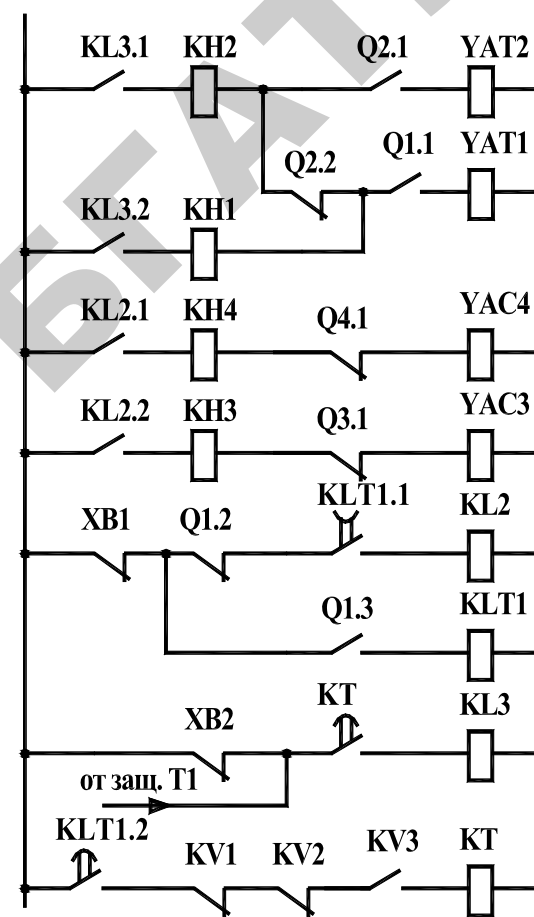


Рис. 16.2. Типовая электрическая схема цепи управления автоматического включения резерва

Работа схемы

Типовая схема УАВР приведена на рисунках 16.2, 16.3. В схеме трансформатор T_1 является рабочим, T_2 – резервным. В нормальном режиме выключатели Q_1 и Q_2 включены, а Q_3 и Q_4 отключены. При

исчезновении напряжения на трансформаторе T_1 реле напряжения KV_1 и KV_2 обесточиваются и замыкают свои нормально замкнутые контакты KV_1 и KV_2 . В это время контакт реле $KL_{T1,2}$ замкнут, т.к. выключатель Q_1 еще находится во включенном положении и контакт реле KV_3 также замкнут, если есть напряжение на трансформаторе T_2 , в результате чего получает питание катушка реле времени KT . Контакт реле времени подает питание на промежуточное реле KL_3 , которое своими контактами $KL_{3,1}$ и $KL_{3,2}$ подают напряжение на катушки отключения $YAT1$ и $YAT2$. Далее возникает кратковременное несоответствие между положением выключателя Q_1 и реле KL_{T1} , отпадающее при отключении выключателя. Реле KL_{T1} типа РП-252 обладает замедлением при возврате, благодаря чему в момент отключения выключателя Q_1 через его контакт $Q_{1,2}$ и контакт $KL_{T1,1}$ замыкается цепь обмотки реле KL_2 , контакты которого подают питание на катушки включения $YAC3$ и $YAC4$ резервного источника на время, достаточное для надежного их включения. С помощью реле KL_{T1} обеспечивается также однократность действия УАВР. Во избежание ложного срабатывания устройства при перегорании предохранителей в цепях трансформатора TV_1 предусматривается последовательное соединение контактов реле KV_1 и KV_2 .

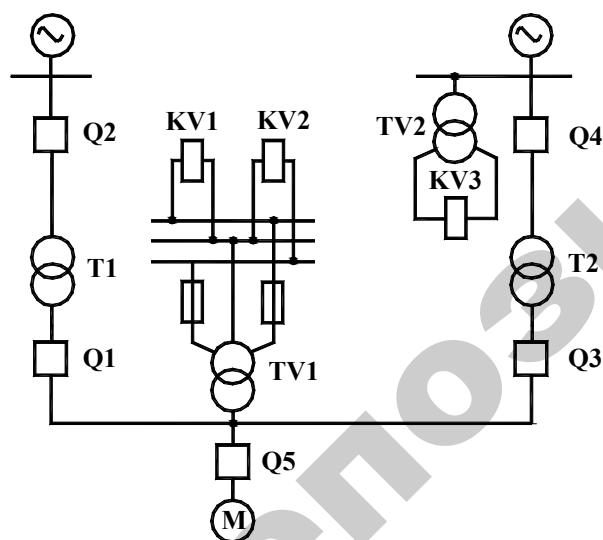


Рис. 16.3. Схема электрической сети и включения реле напряжений

Уставки на реле напряжения принимаются:

а) для пусковых реле KV_1, KV_2

$$U_{cp1} = \frac{U_{ост.сзп}}{K_B K_{отс} K_U},$$

где K_B – коэффициент возврата, $K_B = 1,25$;
 $K_{отс}$ – коэффициент отстройки, $K_{отс} = 1,1-1,2$;
 $U_{ост.сзп}$ – остаточное напряжение самозапуска.
 В расчетах часто принимают:

$$U_{cp1} = \frac{(0,25-0,4)U_H}{K_U};$$

б) для реле контроля напряжения KV_3

$$U_{cp2} = \frac{U_{раб\ min}}{K_B K_{отс} K_U},$$

где $K_{отс}$ – коэффициент отстройки, $K_{отс} = 1,5-1,7$;
 $U_{раб\ min}$ – рабочее минимальное напряжение;
 K_B – коэффициент возврата, $K_B = 0,8$.
 В расчетах обычно принимают:

$$U_{cp2} = \frac{(0,65-0,7)U_H}{K_U}.$$

Реле KT в схеме пуска позволяет отстроить действие автоматики от внешних КЗ, не приводящих к потере рабочего источника питания.

Выдержка времени реле KT выбирается на ступень селективности больше выдержек времени защит смежных участков при КЗ, в зонах которых остаточные напряжения оказываются ниже уставки срабатывания пусковых реле.

Указания к выполнению работы

1. Ознакомиться со схемой АВР, собранной на лабораторном стенде.
2. Произвести расчет уставок АВР, установить на реле полученные значения уставок.

УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОВТОРНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ

Цель занятия – изучить принцип работы автоматического повторного включения, проверить работу автоматического повторного включения с односторонним и двухсторонним питанием.

План занятия

1. Ознакомиться с назначением, областью применения, классификацией устройств автоматического повторного включения (АПВ).
2. Изучить принцип работы автоматического повторного включения однократного действия с комплектным реле типа РПВ-58.
3. Отрегулировать уставку времени на срабатывание АПВ для одностороннего и двухстороннего питания.
4. Проверить работу АПВ с односторонним и двухсторонним питанием.

Методические указания к самостоятельной работе студента

Автоматическое повторное включение выключателей является одним из основных средств повышения надежности электроснабжения потребителей.

Опыт эксплуатации показал, что значительное количество нарушений изоляции электроустановок является неустойчивым и самоустраняется после снятия напряжения. Самоустраняющиеся повреждения возникают в результате грозовых перенапряжений изоляции, схлестывания проводов при ветре, набросов веток и различных предметов на провода, задевания проводов линии движущимися механизмами и другими причинами.

Если время защиты невелико, то электрическая дуга, возникающая в месте нарушения изоляции, не успеет нанести значительные повреждения, и включенная повторно линия остается в работе, т. е. происходит успешное АПВ. При устойчивых повреждениях АПВ является неуспешным, и линия снова отключается защитой.

Как показал многолетний опыт эксплуатации линий электропередачи, большинство повреждений (60–80 %) являются самоустраняющимися, т. е. неустойчивым. Происходит успешное срабатывание АПВ.

3. Проверить взаимодействие всех элементов устройства АВР в соответствии с его схемой при имитации следующих режимов:

а) повреждение в рабочем трансформаторе – трансформатор *Т1* отключается под действием релейной защиты;

б) исчезновение напряжения на шинах собственных нужд – пуск АВР от минимальных реле напряжения.

4. Кратко пояснить работу схемы АВР при всех рассмотренных режимах.

Содержание отчета

1. Краткие сведения о назначении, области применения и эффективности автоматического включения резерва.
2. Принципиальная схема АВР.
3. Расчет для уставок реле напряжения.

Контрольные вопросы

1. Назовите назначение, область применения АВР.
2. Какие основные требования предъявляются к схемам АВР?
3. Чем достигается однократность действия АВР в схеме на рисунке 16.2?
4. Какую роль выполняет реле времени КТ?

Литература

1. *Андреев, В. А.* Релейная защита и автоматика систем электроснабжения / В. А. Андреев. М., 2007.

2. *Басс, Э. И.* Релейная защита электроэнергетических систем : учебное пособие / Э. И. Басс, В. Г. Дорогунцев. М., 2006.

3. Основы техники релейной защиты / А. М. Беркович [и др.]. М., 1984.

В соответствии с ПУЭ применение устройств АПВ является обязательным для всех воздушных и воздушно-кабельных линий напряжением выше 1000 В.

Классификация УАПВ

В эксплуатации применяются устройства АПВ, различающиеся по следующим основным признакам:

- а) по числу фаз выключателей, включаемых устройством АПВ:
 - трехфазное (ТАПВ);
 - однофазное (ОА1ТТ);
- б) по способу воздействия на привод выключателя:
 - механические устройства АПВ;
 - электрические устройства АПВ;
- в) по кратности действия:
 - однократного;
 - многократного;
- г) по назначению:
 - для линий с односторонним питанием;
 - для линий с двухсторонним питанием.

Требования, предъявляемые к УАПВ

1. Устройства АПВ не должны действовать при оперативном отключении выключателя вручную, от ключа управления и по телеуправлению, а также при оперативном включении выключателя на короткое замыкание.

2. Должна быть исключена возможность многократного включения на устойчивое короткое замыкание.

3. Устройства АПВ должны иметь минимальное возможное время срабатывания для того, чтобы сократить продолжительность перерыва питания потребителей.

4. Должен обеспечиваться автоматический возврат-готовность к новому действию через небольшой интервал времени после успешного срабатывания.

Выдержкой времени на срабатывание АПВ (1 АПВ) называется время от пуска устройства АПВ до замыкания цепи включения выключателя. Для обеспечения бесперебойности питания потребителей это время должно быть минимальным. Однако минимально возможное значение t АПВ ограничивается рядом факторов: конструкцией

привода и выключателя, типом реле, входящих в схему АПВ, временем ликвидации самоустраняющихся повреждений и др. Согласно ПУЭ устройства АПВ должны иметь время срабатывания 0,5–1 с. В последние годы для воздушных линий с односторонним питанием значение t АПВ принимается примерно 3–5 с.

Время возврата в исходное положение АПВ зависит от его конструкции и не выбирается, а проверяется при наладке АПВ. Обычно для однократных АПВ это время находится в пределах 20–30 с. Для УАПВ двукратного действия время возврата в состояние готовности после второго цикла принимается равным 60–100 с.

Принцип работы АПВ на основе комплектного реле РПВ-58

Реле типа РПВ-58 состоит из следующих элементов (рис. 17.1): реле времени KT , создающего выдержку времени t АПВ от момента пуска устройства АПВ до замыкания цепи контактора включения выключателя;

промежуточного реле KL_1 с двумя обмотками – обмоткой тока $KL_{1,1}$ и обмоткой напряжения $KL_{1,2}$. Реле при срабатывании замыкает цепь включения выключателя;

конденсатора C , в результате разряда которого срабатывает реле KL_1 и обеспечивается однократность действия УАПВ;

резисторов: R_1 , обеспечивающего термическую стойкость реле времени; R_2 , ограничивающего скорость заряда конденсатора C_1 ; R_3 – разряжающего конденсатор C_1 при срабатывании устройств защиты, после действия которых не должно происходить срабатывание АПВ и при отключении выключателя ключом управления SA (запрет АПВ).

Работа схемы

При отключении выключателя по любой причине вследствие замыкания его вспомогательных контактов срабатывает реле положения выключателя KQT и замыкает свой контакт в цепи пуска устройства АПВ. Если отключение произошло не от ключа управления SA , то он остается в положении «Включено», а его контакт SA_1 замкнут. Таким образом фиксируется несоответствие положений ключа управления и выключателя, необходимое для пуска реле времени KT . Его контакт KT_1 , замыкаясь без выдержки времени, включает резистор R_1 , обеспечивая термическую стойкость реле, а контакт KT_2 с данной выдержкой времени подключает обмотку $KL_{1,2}$ промежуточного реле к конденсатору C_1 .

Вследствие разряда конденсатора реле KL_1 срабатывает и замыкает контакт $KL_{1,1}$ в цепи контактора включения выключателя KM , в которую включена последовательная обмотка $KL_{1,1}$ реле. Она удерживает реле KL_1 в возбужденном состоянии до полного включения выключателя. При успешном АПВ выключатель остается во включенном положении. Действие устройства АПВ фиксируется указательным реле KH .

Схема становится готовой к новому повторному действию после заряда конденсатора CI . Время заряда принимается $t_{АПВ2} = 20$ с. При этом обеспечивается однократность действия устройства АПВ, так как конденсатор заряжается только при включенном положении выключателя. Включения выключателя при неуспешном АПВ не происходит, так как за время действия защиты линии конденсатор не успевает зарядиться до напряжения срабатывания реле KL . При установке устройств АПВ на линиях с двухсторонним питанием необходимо учитывать, что для восстановления работоспособности поврежденной линии требуется ее отключение и включение с двух сторон. В связи с этим устройства АПВ устанавливаются на выключателях с двух сторон защищаемого элемента. Схемы этих устройств АПВ аналогичны схеме УАПВ, предназначенного для линий с односторонним питанием. Отличие заключается лишь в выборе времени срабатывания $t_{АПВ2}$ $AKS1$ и $AKS2$ на включение выключателей $Q1$ и $Q2$ соответственно (рис. 17.3, а).

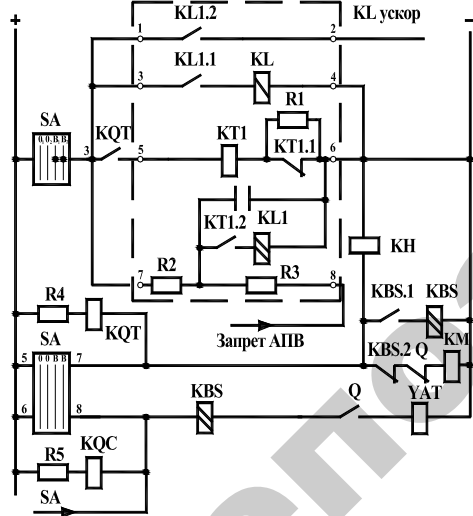


Рис. 17.1. Принципиальная электрическая схема УАПВ однократного действия с реле РПВ-58

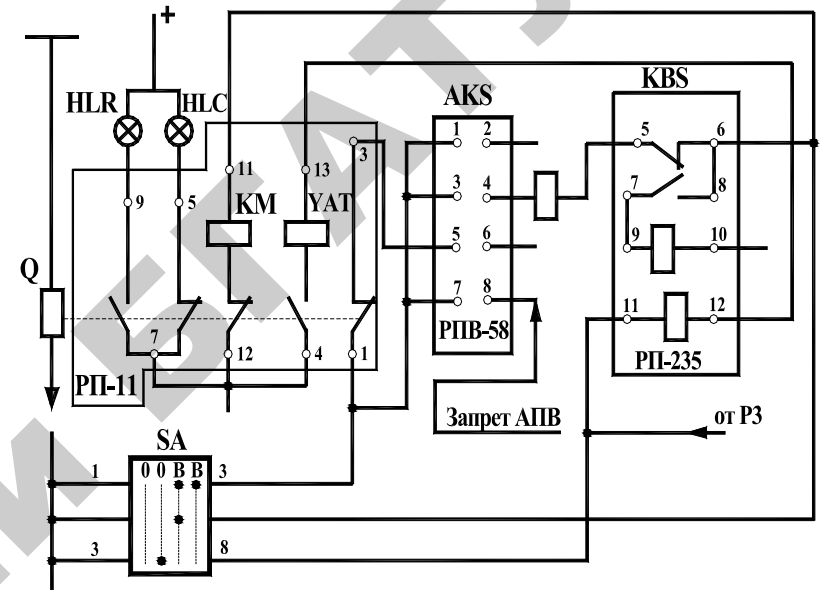


Рис. 17.2. Схема проверки работы АПВ на лабораторном стенде

В данном случае отключение поврежденной линии происходит каскадно, поэтому время $t_{АПВ(1)}$ и $t_{АПВ(2)}$ для выключателей Q_1 и Q_2 неодинаково. На рисунке 17.3, б, в построены временные диаграммы для выбора времени срабатывания $t_{АПВ(1)}$ устройства АПВ выключателя Q_1 и $t_{АПВ(2)}$ устройства АПВ выключателя Q_2 с учетом каскадного отключения линии. Это значит, что расчетным условием для каждого комплекта устройств защиты и АПВ является короткое замыкание у места их установки (точка K_1 для защиты и УАПВ выключателя Q_1 ; точка K_2 для защиты и УАПВ выключателя Q_2). В этом случае защита рассматриваемого комплекта имеет минимальную выдержку времени, а противоположный выключатель отключается с максимальной выдержкой времени. Из временных диаграмм следует:

$$t_{АПВ(1)} = t_{с2} + t_{дс} + t_{зап} - (t_{с1} + t_{1ВВ1});$$

$$t_{АПВ(2)} = t_{с1} + t_{дс} + t_{зап} - (t_{с2} + t_{1ВВ2}).$$

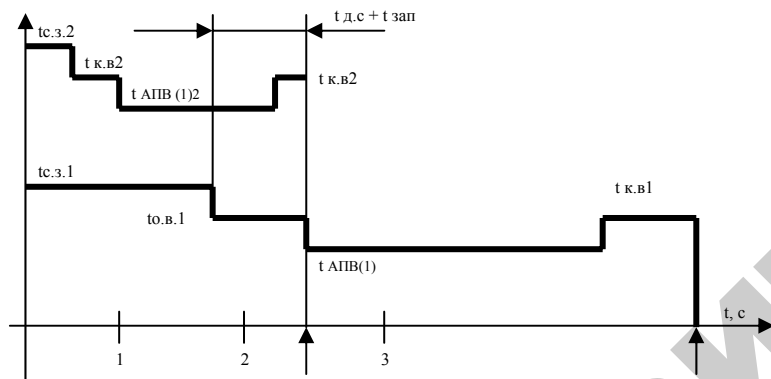
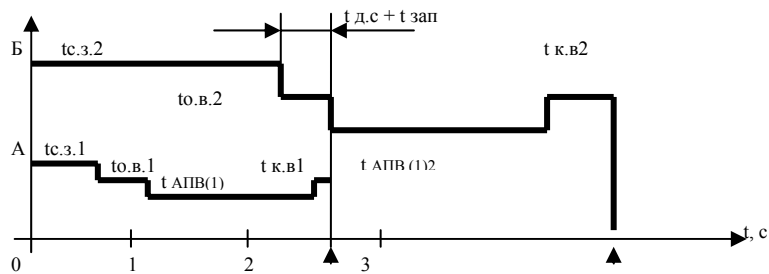
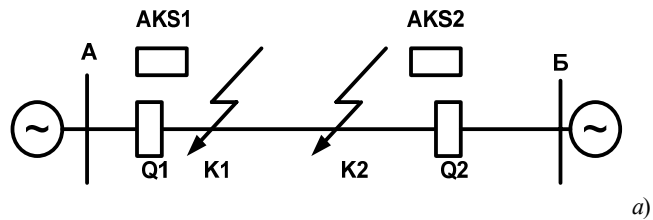


Рис. 17.3. Временные диаграммы для выбора уставок работы АПВ

Указания к выполнению работы

1. Ознакомиться с комплектным реле типа РПВ-58 и изучить принцип его работы.
2. Проверить работу комплектного реле РПВ-58 в полной схеме АПВ при имитации неустойчивого и устойчивого КЗ на линии.
3. Проверить надежность «запрета» АПВ при замыкании цепи разрядной резистора R3.

4. Выставить уставки устройств АПВ с односторонним и двухсторонним питанием и проверить правильность его срабатывания.

Содержание отчета

1. Краткие сведения о назначении, области применения и эффективности автоматического повторного включения.
2. Принципиальная схема АПВ.
3. Временные диаграммы для выбора устройств АПВ.

Контрольные вопросы

1. Назначение, область применения и эффективность АПВ.
2. Классификация устройств АПВ.
3. Чем обеспечивается однократность действия АПВ?
4. Почему в комплектном реле типа РПВ-58 должно быть использовано промежуточное реле с самоудерживанием?
5. Зачем в комплекте РПВ-58 предусмотрено реле времени и какая на нем должна быть принята уставка для линий с односторонним и двухсторонним питанием?
6. В каких случаях используется цепь «запрета» АПВ?

Литература

1. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электропитания / В. А. Андреев. М., 2007.
2. Басс, Э. И. Релейная защита электроэнергетических систем : учебное пособие / Э. И. Басс, В. Г. Дорогунцев. М., 2006.
3. Основы техники релейной защиты / А. М. Беркович [и др.]. М., 1984.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Учебное издание

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ

Лабораторный практикум

Составители:

Протосовицкий Иван Васильевич,
Тюнина Елена Александровна

Ответственный за выпуск Н. Е. Шевчик
Редактор Н. А. Антипович
Компьютерная верстка А. И. Стебуля

Подписано в печать 02.02.2011 г. Формат 60×84¹/₁₆.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 6,97. Уч.-изд. л. 5,45. Тираж 100 экз. Заказ 122.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный
технический университет».

ЛИ № 02330/0552984 от 14.04.2010.

ЛП № 02330/0552743 от 02.02.2010.

Пр. Независимости. 99–2. 220023, Минск.