

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Электрические станции»

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ (ПРАКТИКУМ)

по дисциплине «Противоаварийная и режимная автоматика
энергетических систем»
для студентов энергетических специальностей

В 2-х частях

Часть 1

АВТОМАТИКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Минск 2004

УДК 621.311-52(076.5)

ББК 31.27-05я7

Л 12

Практикум состоит из 10-ти лабораторных работ, каждая из которых включает теоретические сведения, схемы испытаний, методические указания к выполнению работы, содержание отчета по работе, контрольные вопросы. Практикум предназначен для студентов энергетических специальностей.

Составители:

Н.Н. Бобко, Е.В. Глинский, Ф.А. Романюк,
В.Ю. Румянцев, А.А. Тишечкин

Рецензенты:

В.Х. Сопьяник, В.Н.Радкевич

© Бобко Н.Н., Глинский Е.В.,
Романюк Ф.А. и др., составление, 2004

Введение

Выполнение лабораторных работ состоит из предварительной домашней подготовки к ним и непосредственного выполнения работ в лаборатории. При домашней подготовке изучается теоретическая часть работы, уясняется порядок ее выполнения и готовится протокол отчета по работе.

В процессе выполнения работ необходимо соблюдать Инструкцию по технике безопасности в лабораториях кафедры "Электрические станции".

Сборку, изменение положения переключателей, перестановку съемных вилок и испытательных блоков, подключение измерительных приборов разрешается производить только при снятом напряжении.

Питание в схему испытаний можно подавать кратковременно, только на время измерений. При выполнении работы запрещается прикасаться к открытым токоведущим частям.

Лабораторная работа № 1

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ (АПВ)

Цель работы

Изучение принципов выполнения и выбора параметров срабатывания однократного трехфазного АПВ линий с односторонним питанием.

1.1. Краткие теоретические сведения

Большинство повреждений изоляции линий является неустойчивым. В случае неустойчивых повреждений электрическая прочность изоляции линии через некоторое время восстанавливается после отключения линии (повреждение самоустраняется). Это позволяет в случае отключения линии релейной защитой повторно включать её под напряжение. Такие включения часто оказываются успешными и восстанавливают исходную схему питания потребителей электрической энергии. Повторные включения линии по многим причинам желательно выполнять без участия обслуживающего персонала. По-

этому в энергосистемах нашли широкое применение устройства автоматического повторного включения (УАПВ), предназначенные для автоматического повторного включения элементов сети после их аварийного отключения.

Устройства и схемы АПВ должны отвечать следующим требованиям:

1) находиться в состоянии постоянной готовности к действию и производить повторное включение в соответствии с установленной кратностью при всех случаях аварийного отключения выключателя;

2) автоматически, с заданной выдержкой времени, возвращаться в состояние готовности к новому действию после включения выключателя;

3) обеспечивать заданное время бестоковой паузы и достаточную длительность включающего импульса для надежного включения выключателя;

4) иметь возможность "запрета" их работы при действии определенных видов релейной защиты и автоматики;

5) выполняться таким образом, чтобы имелась возможность их использования для ускорения действия релейной защиты;

6) не приходить в действие при отключении выключателя релейной защитой после его включения, а также при оперативных отключениях выключателя дежурным персоналом.

Запуск устройства АПВ может выполняться двумя способами: или при несоответствии положения выключателя (отключен) положению ключа управления (включено), или при срабатывании релейной защиты. Чаще используется первый способ, так как в этом случае обеспечивается действие АПВ при самопроизвольном отключении выключателя.

Схема сети, в которой установлено изучаемое в данной работе устройство АПВ, приведена на рис. 1.1. На рис. 1.2 приведена схема устройства АПВ, упрощенные схемы защит линий Л1 и Л2 и управление выключателями Q1 и Q2.

Устройство АПВ выполнено на основе комплектного реле РПВ-58, в состав которого входят реле времени КТ, конденсатор С, выходное промежуточное реле КЛ и резисторы R1, R2, R3. Цепь запуска АПВ образована контактом 1-13 ключа SA1, размыкающим блок-контактом Q1.1 выключателя Q1 и обмоткой реле КТ. Эта цепь может быть замкнута, когда ключ SA1 находится в положении "Вклю-

чено", а выключатель Q1 отключен защитой, т.е. при несоответствии состояний Q1 и его ключа управления.

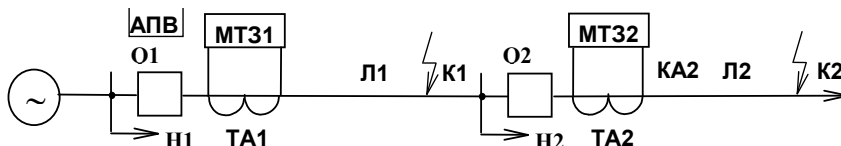


Рис. 1.1. Схема сети

Для защиты линий Л1 и Л2 предусмотрены максимальные токовые защиты МТ31 и МТ32.

Схемы ручного дистанционного управления выключателями Q1 и Q2 состоят из двух основных цепей: цепи включения и цепи отключения. Цепь включения Q1 образована контактом 5-8 ключа управления SA1, размыкающим контактом KB.1 реле KB (KB – реле блокировки от многократных включений выключателя), размыкающим блок-контактом Q1.2 выключателя Q1 и обмоткой промежуточного контактора KM1. Цепь отключения Q1 образована контактом 6-7 ключа управления SA1, токовой обмоткой реле KB, замыкающим блок-контактом Q1.3 выключателя Q1 и обмоткой электромагнита отключения YAT1.

Схема управления выключателем имеет блокировку от многократных включений на K3 (блокировку от "прыганья"), выполненную на двухобмоточном реле KB. "Прыганье" выключателя может возникнуть при его включении на K3 и при длительном удерживании рукоятки ключа управления SA1 в положении "Включить". При этом выключатель отключается защитой и по токовой обмотке реле KB проходит импульс, оно срабатывает и замыкает свой контакт KB.2. Обмотка напряжения реле KB получает питание, и оно становится на самоудержание до тех пор, пока ключ SA1 будет находиться в положении "Включить". При этом цепь питания обмотки промежуточного контактора KM1 разомкнута контактом KB.1 и повторного включения выключателя Q1 не произойдет.

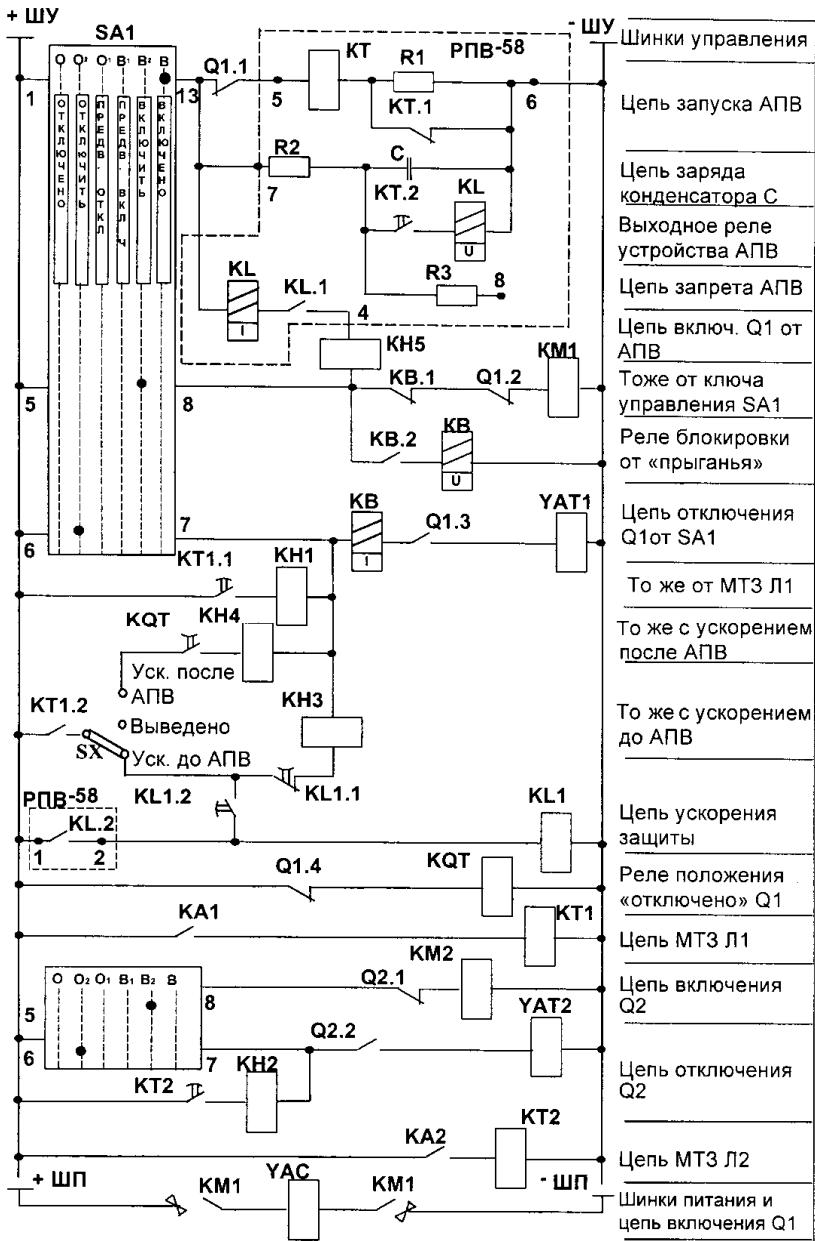


Рис. 1.2. Схема устройства АПВ

Схема управления выключателя Q2 выполнена аналогично. При коротком замыкании на линии Л1 в точке К1 срабатывает её защита МТЗ1 и отключает выключатель Q1. При отключении выключателя Q1 замыкается блок-контакт Q1.1 и запускается реле времени КТ устройства АПВ. По истечении установленной выдержки времени реле КТ замыкает контакт КТ.2 и создается контур для разряда конденсатора С на обмотку напряжения выходного реле КЛ, которое срабатывает и замыкает свой контакт КЛ.1. На обмотку промежуточного контактора КМ1 подается напряжение, и контактор КМ1 включается, обеспечивая при этом включение выключателя Q1. Так как энергии конденсатора С недостаточно для удержания реле КЛ в сработанном состоянии на протяжении всего процесса включения выключателя Q1, то для создания достаточной длительности команды на включение выключателя используется двухобмоточное реле КЛ. Токовая обмотка этого реле включается последовательно с обмоткой контактора КМ1. После замыкания контакта КЛ.1 токовая обмотка КЛ обтекается током, и реле становится на самоудерживание до тех пор, пока команда на включение не будет снята блок-контактом Q1.2 выключателя (после включения выключателя). Если за время бестоковой паузы АПВ повреждение самоустранилось, то защита не действует и повторное включение является успешным.

После включения Q1 его блок-контакт Q1.1 размыкается, реле КТ возвращается в исходное положение, а конденсатор С начинает заряжаться через зарядный резистор R2. Сопротивление R2 выбирается таким, чтобы время заряда конденсатора С составляло 15-20 с. После заряда конденсатора схема АПВ готова к повторному действию.

Если за время бестоковой паузы повреждение не самоустранилось, то после включения выключатель снова отключается защитой. Опять запускается реле времени КТ, но повторного включения выключателя Q1 не происходит, т.к. за время работы защиты конденсатор С не успевает зарядиться до напряжения, достаточного для срабатывания реле КЛ. АПВ в данном случае является неуспешным. Таким образом, однократность действия АПВ в данной схеме обеспечивается временем зарядки конденсатора С. Реле КТ будет находиться в сработанном состоянии до тех пор, пока ключ SA1 не будет переведен в положение "Отключено". Для обеспечения термической устойчивости реле КТ в этом случае используется резистор

R1, который включается последовательно с обмоткой реле КТ после его срабатывания и размыкания мгновенного контакта КТ.1.

При отключении выключателя ключом управления SA1 АПВ не приходит в действие, т.к. цепь запуска размыкается контактом 1-13 ключа SA1.

"Запрет" АПВ необходим при действии некоторых защит и устройств автоматики (газовой защиты трансформатора, устройств АЧР и т.д.). При этом контакты выходного реле этих устройств подсоединяются к зажимам 6 и 8 реле РПВ-58. После срабатывания выходного реле этих устройств конденсатор С разряжается через резистор R3, запрещая работу АПВ.

Параметрами АПВ являются время срабатывания и время возврата в состояние готовности к новым действиям.

Время срабатывания однократного АПВ для линий с односторонним питанием должно быть больше:

1) времени деионизации среды в месте повреждения ($t_{\text{деион}}$), которое для линий различных напряжений находится в пределах 0,1...0,4 с;

2) времени готовности привода к включению ($t_{\text{гп}}$), которое для различных приводов находится в пределах 0,1...0,3 с;

3) времени готовности выключателя к отключению ($t_{\text{гп}}$), которое для различных выключателей находится в пределах 0,2...0,3 с.

Определяющим для выбора времени срабатывания однократных АПВ линий с односторонним питанием является время готовности привода к включению, т.е.

$$t_{\text{АПВ1}} = t_{\text{г.п}} + \Delta t_{\text{зап}},$$

где $\Delta t_{\text{зап}}$ – время запаса, равное 0,5 с.

Время возврата однократного АПВ в состояние готовности определяют из условия однократности действия АПВ, т.е. АПВ должно быть готово к новым действиям не раньше, чем завершится полный цикл АПВ. Исходя из этого условия время возврата однократного АПВ в состояние готовности принимают равным 15...20 с.

1.2. Описание лабораторного стенда

Работа выполняется на лабораторном стенде, содержащем мнемосхему сети, ключи управления выключателями, устройства АПВ, защиты, устройства управления и сигнализации. Короткое замыкание на линиях имитируется включением рукояток тумблеров в верхнее положение.

1.3. Содержание и порядок выполнения работы

1.3.1. Выбрать и установить на реле КТ, КТ1, КТ2 необходимые уставки по времени. Время срабатывания реле КТ рекомендуется выбрать в пределах 2...5 с. Для КТ1 и КТ2 время срабатывания выбирается из условий селективной работы МТЗ 1 и МТЗ 2.

$$t_{\text{срКТ2}} = t_{\text{ср.прис}} + \Delta t;$$

$$t_{\text{срКТ1}} = t_{\text{срКТ2}} + \Delta t,$$

где Δt – ступень селективности ($\Delta t = 0,5 \dots 0,6$ с);

$t_{\text{ср.прис}}$ – выдержка времени селективных защит присоединений, питающихся от Л2. В работе эту выдержку времени можно принять в пределах 2...5 с.

1.3.2. Проверить работу схемы для режимов, перечисленных в табл. 1.1. Перед каждым опытом, за исключением второго, выключатели Q1 и Q2 должны быть включены, блинкеры указательных реле КН1-КН5 подняты, тумблеры, имитирующие КЗ, отключены. Перед выполнением второго опыта выключатель Q1 должен быть отключен. Накладка SX должна находиться в положении "Выведено". Пауза между опытами должна быть равна одной минуте.

1.4. Содержание отчета

Отчет должен содержать схемы (рис. 1.1 и рис. 1.2), выбранные уставки реле времени, табл. 1.1.

Таблица 1.1

№ пп	Наименование опыта	Срабатывание (+) или несрабатывание (-) реле				
		КН1	КН2	КН3	КН4	КН5
1	Включение и отключение Q1 и Q2 от руки					
2	Включение Q1 при КЗ в точке К1					
3	Q1 включен. Включение Q2 при наличии КЗ в точке К2					
4	КЗ в точке К1, которое самоустраняется за время, меньшее $t_{срКТ1}$					
5	КЗ в точке К1, которое самоустраняется за время, большее $t_{срКТ1}$, но меньшее $t_{срКТ1} + t_{срКТ}$					
6	Устойчивое КЗ в точке К1					

1.5. Контрольные вопросы

1. Чем объясняется высокая эффективность использования АПВ?
2. Основные требования, предъявляемые к схеме АПВ.
3. Какой способ пуска устройства АПВ применяется в схеме, приведенной на рис. 1.2?
4. Назначение отдельных элементов реле РПВ-58.
5. Чем обеспечивается однократность действия РПВ-58?
6. Как работает схема РЗ и АПВ при неустойчивом замыкании в точке К1 (ускорение защиты выведено)?
7. Как обеспечивается создание схемой АПВ достаточной длительности включающего импульса при использовании реле РПВ-58 с различными типами включателей?
8. Как и когда производится запрет работы АПВ?
9. Как работает схема РЗ и АПВ при устойчивом замыкании в точке К1 (ускорение защиты выведено)?
10. Для какой цели используется резистор R1 и контакт КТ.1 в схеме реле РПВ-58?
11. Для чего последовательно с промежуточным контактом КМ1 и электромагнитом отключения УАТ1 включены блок-контакты Q1.2 и Q1.3 выключателя Q1?

12. Для чего предназначена и как работает блокировка от "прыганья"?

13. Для чего нужен промежуточный контактор КМ1?

14. Как обеспечивается несрабатывание АПВ в том случае, если длительно отключенный выключатель был включен ключом на существующее короткое замыкание и впоследствии был отключен защитой?

15. Поясните состояние всех элементов схемы на рис. 1.2 в нормальном режиме работы схемы.

16. Какие ограничения должны быть учтены при выборе времени бестоковой паузы однократного АПВ?

17. О работе каких устройств указывает срабатывание указательных реле КН1-КН5 (см. табл. 1.1)?

18. Как работает схема в различных режимах, перечисленных в табл. 1.1 (по указанию преподавателя)?

Лабораторная работа №2

СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ АПВ И РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Цель работы

Изучение принципов взаимодействия однократного трехфазного АПВ и устройств релейных защит линий с односторонним питанием.

2.1. Краткие теоретические сведения

Применение устройств АПВ на линиях позволило сокращать время отключения КЗ релейными защитами, имеющими относительную селективность. Такая операция называется ускорением действия защиты (УДЗ) и имеет три варианта: УДЗ до АПВ, УДЗ после АПВ и поочередное АПВ.

Ускорение действия релейной защиты до АПВ применяется на линиях с последовательно включенными участками (не более трех) в тех случаях, когда действие устройства АПВ, установленного на головном участке, стремятся распространить на смежные участки. Расстановка устройств защиты и автоматики показана на рис. 2.1.

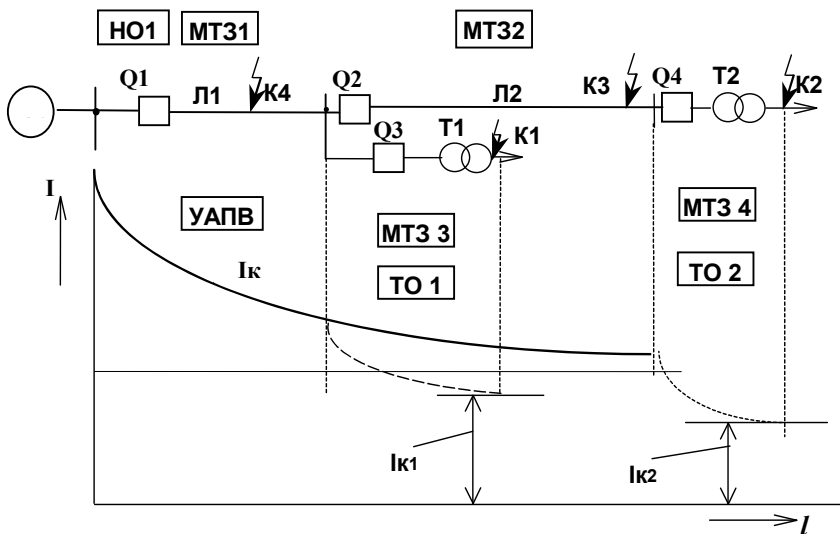


Рис. 2.1. Расстановка устройств РЗА и выбор тока срабатывания быстродействующей неселективной токовой отсечки (НО) головного участка при ускорении действия защиты до АПВ

Ступень без выдержки времени (неселективную токовую отсечку НО) имеет только защита головного участка. Эта защита защищает все участки линии и отстроена от КЗ за трансформаторами подстанций. Все остальные ступени защит участков (MT3 1, MT3 2) имеют выдержки времени и селективны по общим правилам. При возникновении КЗ на линии Л1 или Л2 неселективная токовая отсечка НО без выдержки времени отключает выключатель Q1. Через некоторый промежуток времени устройство АПВ включает выключатель Q1 и на некоторое время блокирует действие НО. Если АПВ было успешным, то через некоторое время блокировка НО снимается. Если АПВ было неуспешным, то с заданной выдержкой времени селективно срабатывает защита поврежденного участка (MT31 или MT3 2). Конструктивно НО может выполняться в виде отдельной ступени защиты или в виде ускорения действия селективной защиты головного участка (MT31).

Можно отметить следующие недостатки УДЗ до АПВ:

- 1) не всегда удается обеспечить требуемую чувствительность НО;

2) выключатель Q1 работает в более тяжелом режиме, чем выключатели Q2, Q3, Q4, и по этой причине требует более частых ревизий;

3) отказ УАПВ вызывает потерю питания всех потребителей.

В приведенной на рис. 1.2 схеме, содержащей устройство АПВ и упрощенные схемы защит линий Л1 и Л2, УДЗ до АПВ реализуется положением накладки SX "Ускорение до АПВ". В данном случае используется ускорение МТЗ1 линии Л1.

При длительном нормальном режиме включенной линии Л1 устройство АПВ готово к действию (конденсатор С заряжен). Обмотка промежуточного реле KL1 обесточена, т.к. разомкнуты контакты КТ1.2 (при нормальном режиме МТЗ не работает) и KL.2 (АПВ не действовало). Контакт KL1.1 замкнут. При возникновении КЗ на Л1 или Л2 замыкается контакт токового реле КА1 МТЗ1 и обмотка реле времени КТ1 МТЗ1 обтекается током. Без выдержки времени замыкается контакт КТ1.2 реле КТ1 и собирается цепь питания электромагнита отключения YAT1 выключателя Q1 (через контакт КТ1.2, накладку SX, замкнутый контакт KL1.1, обмотку указательного реле КНЗ, токовую обмотку промежуточного реле KB и блок-контакт привода выключателя Q1.3). Выключатель Q1 отключается и через некоторое время вновь включается устройством АПВ. При включении выключателя устройством АПВ срабатывает промежуточное реле KL реле РПВ-59 и замыкает свой контакт в цепи питания обмотки реле KL1. Реле KL1 срабатывает и без выдержки времени замыкает контакт KL1.2 и размыкает контакт KL1.1, блокируя тем самым ускорение МТЗ 1. После включения выключателя Q1 устройством АПВ реле KL отключается и размыкает контакт К1.2 в цепи питания обмотки реле KL1. Однако контакт KL1.1 остается после этого некоторое время разомкнутым, блокируя ускорение МТЗ1. Если АПВ было успешным, то через некоторое время контакт KL1.1 замыкается и снимает блокировку ускорения МТЗ1. Если АПВ было неуспешным, то вновь замыкается контакт токового реле КА1 МТЗ1, обмотка реле времени КТ1 МТЗ1 обтекается током. Без выдержки времени замыкается контакт КТ1.2 реле КТ1. Так как к этому моменту контакт KL1.2 не успел разомкнуться, а контакт KL1.1 – замкнуться, то замыкание контакта КТ1.2 создает цепь питания обмотки реле KL1. При этом контакт KL1.1 остается замкнутым на протяжении всего времени существования тока КЗ, блокируя ускорение МТЗ1. Отключение выключателей Q1 или Q2

возможно при неуспешном АПВ только селективно защитами МТЗ1 или МТЗ 2 в зависимости от места возникновения КЗ.

Ускорение действия релейной защиты после АПВ применяется на линиях в тех случаях, когда действие устройства АПВ распространяется только на одну линию. В зависимости от местоположения КЗ его отключение защитой с относительной селективностью может происходить с выдержкой времени. С другой стороны, само селективное отключение КЗ защитой указывает, что повреждение лежит внутри защищаемого участка. Это позволяет в случае неуспешного АПВ повторно отключать линию без выдержки времени, т.е. неселективно. С этой целью вслед за выполнением АПВ на время, достаточное для отключения выключателя, ускоряется действие наиболее чувствительной ступени защиты.

В приведенной на рис. 1.2 схеме УДЗ после АПВ реализуется положением накладки SX "Ускорение после АПВ". В данном случае используется ускорение МТЗ1 линии Л1.

При длительном нормальном режиме включенной линии Л1 устройство АПВ готово к действию (конденсатор С заряжен). При включенном выключателе Q1 разомкнут его блок-контакт Q1.4 в цепи питания реле положения "отключен" KQT (контакт KQT в цепи ускоренного отключения выключателя Q1 разомкнут).

Потому при возникновении КЗ на линии выключатель Q1 отключается защитой селективно (с выдержкой времени). Вслед за отключением выключателя реле KQT срабатывает и замыкает свой контакт KQT цепи ускоренного отключения выключателя. В момент включения выключателя при его АПВ реле KQT, имеющее небольшое замедление на возврат, теряет питание. Однако его контакт в цепи ускоренного отключения выключателя некоторое время остается замкнутым. Если АПВ неуспешно, то защита отключает выключатель без выдержки времени (собирается цепь ускоренного отключения выключателя: мгновенный контакт реле времени КТ1.2, накладка SX, замкнутый контакт KQT, обмотка указательного реле КН4, токовая обмотка промежуточного реле КВ). При успешном АПВ через некоторое время после включения выключателя ускорение селективной защиты снимается (контакт KQT размыкается).

Если ранее отключенный выключатель оперативно включают на КЗ при положении накладки SX "Ускорение до АПВ", то отключе-

ние выключателя происходит также мгновенно. Поэтому такая схема применяется для "опробования" напряжением исправности элементов электроустановок.

Поочередное АПВ (ПО АПВ) сочетает в себе эффекты ускорения действия защиты до и после АПВ. Рассмотрение действия ПО АПВ будет выполняться в следующей работе.

2.2. Описание лабораторного стенда

Работа выполняется на лабораторном стенде, содержащем мнемосхему сети, ключи управления выключателями, устройства АПВ, защиты, устройства управления и сигнализации. Короткое замыкание на линиях имитируется включением рукояток тумблеров в верхнее положение.

2.3. Содержание и порядок выполнения работы

Проверить работу схемы для режимов, перечисленных в табл. 2.1. Перед каждым опытом, за исключением первого, выключатели Q1 и Q2 должны быть включены, блинкеры указательных реле КН1-КН5 подняты, тумблеры, имитирующие КЗ, отключены. Перед выполнением первого опыта выключатель Q1 должен быть отключен. Пауза между опытами должна быть равна одной минуте.

Таблица 2.1

№ пп	Наименование опыта	Положение накладки SX	Срабатывание (+) или несрабатывание (-) реле				
			КН1	КН2	КН3	КН4	КН5
1	Включение Q1 при наличии КЗ в точке К1	Накладка SX в положении «Ускорение после АПВ»					
2	КЗ в точке К1, которое самоустраняется за время, большее $t_{срКТ1}$, но меньшее $t_{срКТ1} + t_{срКТ}$						
3	Устойчивое КЗ в точке К1						
4	КЗ в точке К1, которое самоустраняется за время, меньшее $t_{срКТ}$	Накладка SX в положении «Ускорение до АПВ»					
5	То же при КЗ в точке К2						
6	Устойчивое КЗ в точке К1						
7	Устойчивое КЗ в точке К2						

2.4. Содержание отчета

Отчет должен содержать схемы (рис.1.2, рис. 2.1), табл. 2.1.

2.5. Контрольные вопросы

1. Поясните состояние всех элементов схемы на рис. 1.2 в нормальном режиме работы схемы 2.1.
2. Как осуществляется взаимодействие устройств РЗ и АПВ при введении ускорения до АПВ?
3. Как работает схема при введении ускорения защиты до АПВ?
4. Как осуществляется взаимодействие устройств РЗ и АПВ при введении ускорения после АПВ?
5. Как работает схема при введении ускорения защиты после АПВ?
6. Как работает схема РЗ и АПВ при неустойчивом замыкании в точке К1 (режим «Ускорение защиты до АПВ» или режим «Ускорение защиты после АПВ» задается преподавателем)?
7. Как работает схема РЗ и АПВ при устойчивом замыкании в точке К1 (режим «Ускорение защиты до АПВ» или режим «Ускорение защиты после АПВ» задается преподавателем)?
8. Дайте оценку различным типам АПВ.
9. О работе каких устройств указывает срабатывание указательных реле КН1-КН5 (см. табл. 2.1)?
10. Как работает схема в различных режимах, перечисленных в табл. 2.1 (по указанию преподавателя)?

Лабораторная работа №3

ПООЧЕРЕДНОЕ АПВ

Цель работы

Изучение принципов взаимодействия однократного трехфазного АПВ и устройств релейных защит линий с односторонним питанием.

3.1. Краткие теоретические сведения

Применение устройств АПВ на линиях позволило сокращать время отключения КЗ релейными защитами, имеющими относительную селективность. Такая операция называется ускорением действия защиты (УДЗ) и имеет три варианта: УДЗ до АПВ, УДЗ после АПВ и поочередное АПВ. Ускорение действия релейной защиты до АПВ и после АПВ рассмотрено в предыдущей лабораторной работе. В данной работе рассмотрим поочередное АПВ.

Поочередное АПВ (ПО АПВ) сочетает в себе эффекты ускорения действия защиты до и после АПВ. Расстановка устройств защиты и автоматики показана на рис. 3.1.

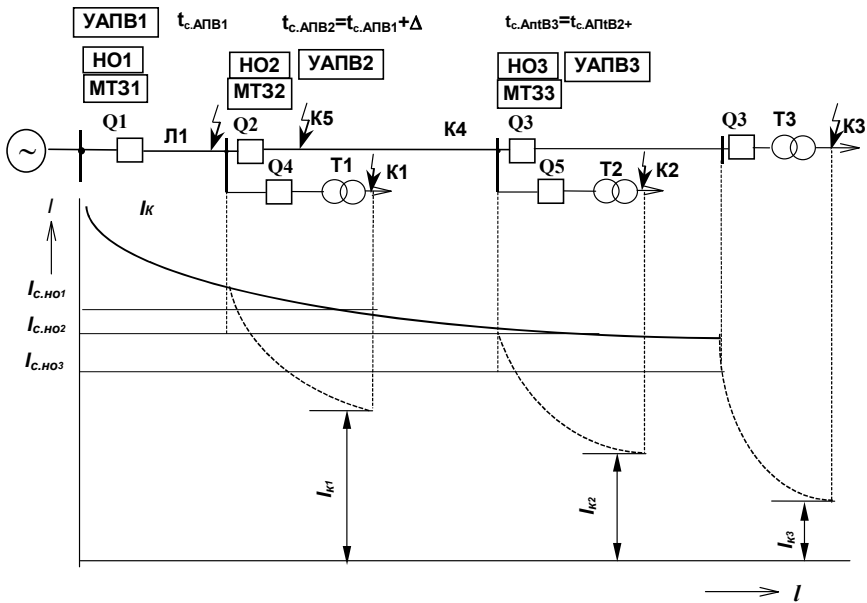


Рис. 3.1. Расстановка устройств РЗА и настройка быстродействующих ступеней (НО) защиты при поочередном АПВ

Неселективные токовые отсечки (НО) защищают каждая свой участок, а следовательно, и часть последующего (чем меньшую, тем лучше). Времена срабатывания УАПВ последовательно нарастают на ступень Δt по мере удаления от источника питания. Рассмотрим

совместное действие релейных защит и устройств АПВ на примере повреждения на линии 2 (КЗ в точках К4 и К5). В зависимости от места КЗ мгновенно отключается либо только поврежденный участок (линия 2 при КЗ в точке К4), либо поврежденный и предыдущий участки (при КЗ в точке К5 отключаются линии 2 и 1). Во втором случае первым с временем $t_{с.АПВ1}$ действует АПВ линии 1, а АПВ линии 2 происходит позже с временем $t_{с.АПВ2} = t_{с.АПВ1} + \Delta t$. После АПВ неселективная отсечка остается ещё введенной на время, достаточное для отключения выключателя (в случае КЗ на своем участке), а затем автоматически выводится раньше АПВ последующего участка.

Поэтому неселективная отсечка линии 1 НО1 будет выведена раньше, чем сработает АПВ2 линии 2. При устойчивом КЗ в точке К5 после действия АПВ2 линии 2 произойдет срабатывание только неселективной отсечки НО2 и отключение только линии 2. При устойчивом КЗ в точке К4 оба раза действует только НО2. Таким образом, если КЗ устойчиво, то мгновенно вторично отключается только поврежденный участок, ликвидация КЗ происходит селективно и без выдержек времени.

По завершении всех отключений и циклов АПВ на участках, оставшихся включенными, вводятся снова автоматически неселективные отсечки НО. Как правило, ПО АПВ применяют не более чем для трех участков.

Одна из схем управления НО при поочередном АПВ показана на рис. 3.2. До АПВ НО введена контактом промежуточного реле КЛ1. Устройство АПВ, сработав, запускает реле времени КТ, которое далее самоудерживается контактом КТ1.

По истечении времени, достаточного для отключения НО устойчивого КЗ на своем участке, замыкается импульсный контакт КТ2. Реле КЛ1 действует выводит НО и самоудерживается до замыкания упорного контакта КТ3, деблокирующего реле КТ

Реле КЛ1 теряет питание и снова вводит НО. Уставка контакта КТ3 должна превышать время полного цикла неуспешного АПВ предыдущего участка.

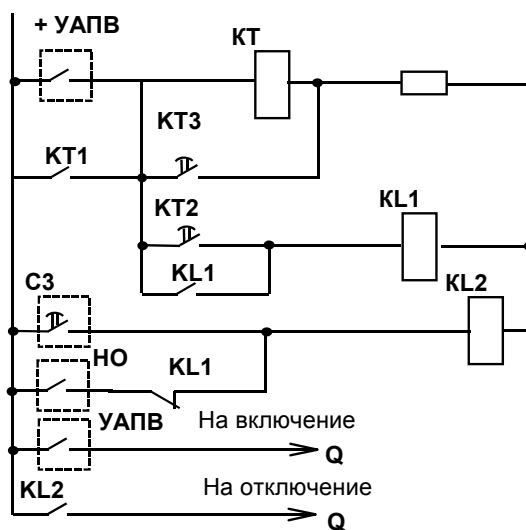


Рис. 3.2. Схема управления быстродействующей неселективной ступенью защиты (НО) при поочередном АПВ (СЗ – выходной контакт селективной ступени с выдержкой времени)

3.2. Содержание и порядок выполнения работы

Изучить взаимодействие устройств релейной защиты и АПВ при поочередном АПВ. Изучить схему управления быстродействующей неселективной ступенью защиты (НО) при поочередном АПВ, представленную на рис. 3.2. Выбрать параметры срабатывания устройств НО и АПВ, установленных на линиях Л1, Л2 и Л3 (см. рис. 3.1). Вариант расчета задается преподавателем (табл. 3.1). Для определения токов срабатывания НО необходимо определить величины токов при КЗ за трансформаторами Т1, Т2 и Т3 и на шинах подстанций. Токи срабатывания НО должны быть выбраны таким образом, чтобы НО не действовали при КЗ за соответствующими трансформаторами и своим действием охватывали наименьшую часть последующего участка. Расчет токов КЗ для выбора параметров срабатывания НО произвести для момента времени, равного нулю. Расчетным видом повреждения является трехфазное КЗ.

№	S _{сис} , МВА	X _{сис} , отн.ед.	U _с , кВ	L _{Л1} , км	L _{Л2} , км	L _{Л3} , км	Т1		Т2		Т3	
							S _н , МВА	U _к , %	S _н , МВА	U _к , %	S _н , МВА	U _к , %
1	120	0,35	6	10	12	7	1,6	5,5	2,5	5,5	1,6	5,5
2	110	0,32	6	7	8	6	2,5	5,5	1,0	5,5	2,5	5,5
3	135	0,41	6	15	5	10	1,0	5,5	1,6	5,5	2,5	5,5
4	115	0,37	6	9	4	8	2,5	5,5	1,6	5,5	1,0	5,5
5	140	0,29	10	14	7	9	4,0	6,5	2,5	5,5	1,0	5,5
6	150	0,33	10	7	13	10	1,0	5,5	2,5	5,5	1,6	5,5
7	145	0,36	10	15	10	8	2,5	5,5	4,0	6,5	1,0	5,5
8	155	0,42	10	12	14	10	1,6	5,5	1,0	5,5	2,5	5,5
9	165	0,30	10	10	7	9	1,0	5,5	1,6	5,5	1,6	7,5
10	205	0,35	35	15	20	18	4,0	7,5	6,3	7,5	10,0	7,5
11	200	0,36	35	18	13	19	1,6	8,0	10,0	7,5	4,0	7,5
12	220	0,37	35	21	17	19	4,0	7,5	16,0	8,0	10,0	7,5
13	235	0,38	35	19	21	16	6,3	7,5	4,0	7,5	10,0	7,5
14	235	0,32	36	22	11	17	16,0	8,0	10,0	7,5	6,3	7,5
15	255	0,33	35	20	10	18	6,3	7,5	4,0	7,5	4,0	7,5

3.3. Содержание отчета

Отчет должен содержать схему (рис. 3.2) и расчет параметров срабатывания НО и АПВ, установленных на линиях Л1, Л2 и Л3, и рис. 3.1 с расчетными значениями токов КЗ и выбранными параметрами срабатывания НО и АПВ.

3.4. Контрольные вопросы

1. Какое преимущество имеет поочередное АПВ при отключении токов короткого замыкания?
2. Как выбирается ток срабатывания неселективных отсечек НО?
3. Как выбирается время срабатывания устройств АПВ, установленных на линиях Л2 и Л3?
4. Как осуществляется взаимодействие устройств РЗ и АПВ устойчивом коротком замыкании в точке К4?
5. Как осуществляется взаимодействие устройств РЗ и АПВ устойчивом коротком замыкании в точке К5?
6. Какую функцию выполняет выдержка времени на замыкание контакта КТ2 реле КТ (см. рис. 3.2)?
7. Какую функцию выполняет выдержка времени на замыкание контакта КТ3 реле КТ (см. рис. 3.2)?

Лабораторная работа №4

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ РЕЗЕРВНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Цель работы

Ознакомление с принципами выполнения и выбора параметров срабатывания устройств автоматического резервного (АВР) питания.

4.1. Краткие теоретические сведения

Ответственные потребители электроэнергии требуют минимум двух источников питания. При этом с целью снижения токов КЗ и упрощения релейной защиты один источник обычно включен (ра-

бочий), а второй (резервный) автоматически вводится при исчезновении рабочего питания. Назначением АВР является быстрое восстановление электроснабжения потребителей при исчезновении напряжения на рабочем источнике по любой причине.

Включение резерва должно осуществляться при устойчивом исчезновении напряжения рабочего источника, включая КЗ на шинах и ошибочные действия персонала, после отключения выключателя рабочего источника. Так как в связи с этим не исключена возможность включения резервного источника на КЗ, то его релейная защита должна иметь ускорение после срабатывания АВР, а операция АВР должна быть только однократной.

Включение резерва не должно происходить при понижениях напряжения, вызываемых запуском и самозапуском электродвигателей, КЗ на присоединенных, питающихся от резервируемых шин, за исключением случаев отказа защит или выключателей этих присоединений, а также при неисправностях в цепях напряжения и плановом выводе в ремонт резервируемых шин.

Устройства АВР выполняются как на постоянном, так и на переменном оперативном токе. АВР на постоянном оперативном токе применяется в установках, имеющих выключатели с электромагнитными приводами. Устройства АВР на переменном оперативном токе обычно применяются в установках с выключателями, оборудованными грузовыми и пружинными приводами.

АВР трансформатора (рис. 4.1) на постоянном оперативном токе включает: пусковой минимальный орган напряжения, выполненный с помощью двух реле минимального напряжения KV1, KV2 и реле времени КТ3; орган контроля напряжения на резервном источнике, функции которого выполняет реле максимального напряжения KV3; орган однократности действия, выполненный с помощью реле положения «Включено» KQC3 выключателя Q3.

Защита рабочего (Т1) и резервного (Т2) трансформаторов осуществляется посредством максимальных токовых защит, выполненных на базе комплектов КЗ-12 с входящими в них реле тока КА1, КА2, КА3, КА4, реле времени КТ1, КТ2 и указательными реле КН1, КН2.

Ускорение действия защиты трансформатора Т2 после АВР обеспечивается с помощью реле положения "Отключено" KQT2 выключателя Q2. Для вывода АВР из действия служит накладка SX.

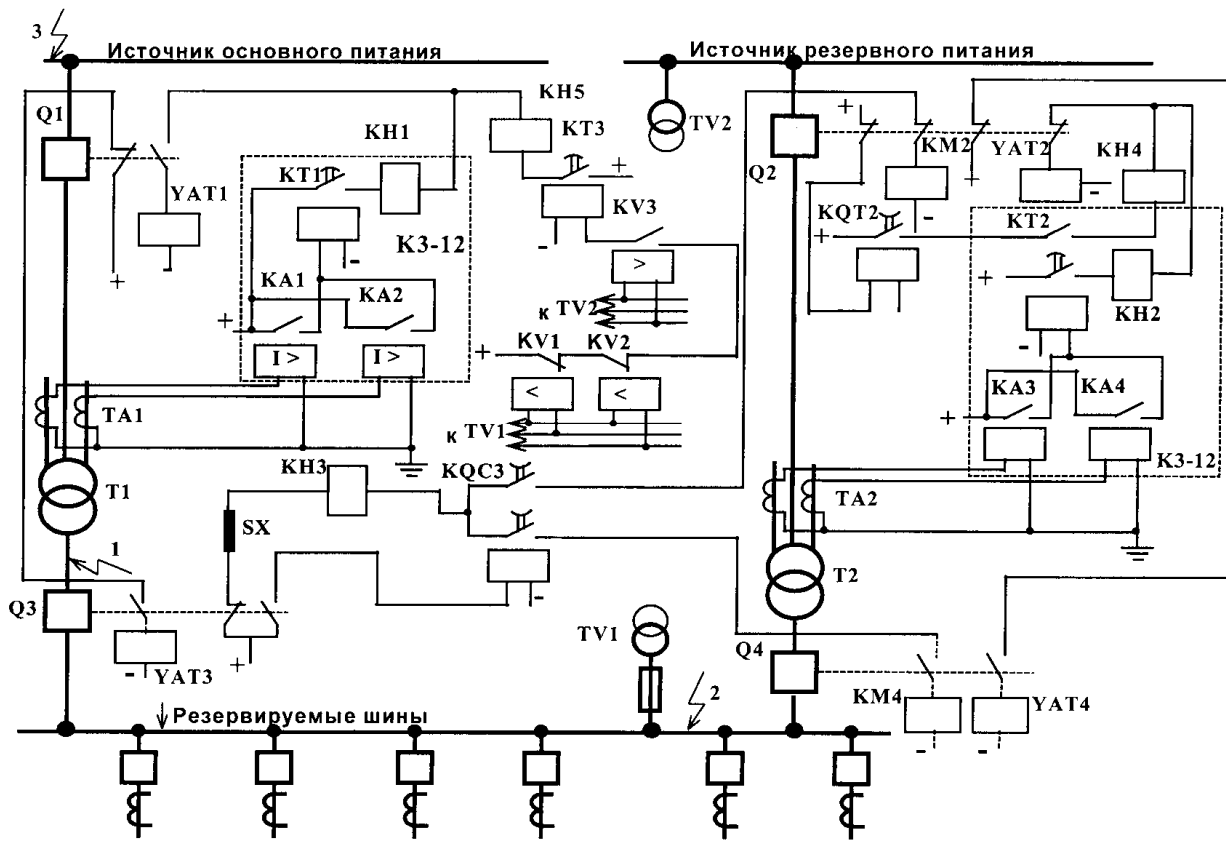


Рис. 4.1. Схема устройства АВР трансформатора

В нормальном режиме потребители получают питание через рабочий трансформатор Т1 от основного источника питания. При этом реле КQC3 находится в сработанном состоянии, и его контакты в цепях включения выключателей Q2, Q4 замкнуты. Цепи включения этих выключателей остаются разомкнутыми при введении АВР (накладка SX в положении "Введено"), замыкающим блок-контактом выключателя Q3. Наличие напряжения на резервируемых шинах обеспечивает подтянутое состояние реле KV1 и KV2, контакты которых в цепи запуска АВР по напряжению разомкнуты.

При наличии напряжения на резервном источнике питания контакт реле KV3 замкнут. Поскольку резервный трансформатор Т2 отключен, то через размыкающий блок-контакт выключателя Q2 реле KQT2 получает питание, и его контакт в цепи ускорения защиты Т2 замкнут.

При коротком замыкании в цепи Т1 (точка К1) после срабатывания реле КА1, КА2 и КТ1 отключается выключатель Q1. В этом случае срабатывают также реле KV1, KV2 и при наличии питания на резервном источнике, когда замкнут контакт реле KV3, запускается реле времени КТ3. После отключения Q1 замыкается его размыкающий блок-контакт и по цепи блокировки отключается выключатель Q3. Реле КQC3 теряет питание, но размыкает свои контакты с некоторой выдержкой времени $t_{отп}$. Поэтому через них успевает пройти команда на включение выключателей Q2 и Q4, которая подается размыкающим блок-контактом выключателя Q3. После включения выключателей Q2 и Q4 реле KV1, KV2, КТ3 возвращаются в исходное состояние. Спустя время $t_{отп}$ контакты реле КQC3 размыкаются, благодаря чему предотвращается многократность действия АВР.

При ошибочном отключении трансформатора Т1 персоналом АВР будет работать аналогично. Отличие состоит лишь в том, что защита Т1 не приходит в действие.

При коротком замыкании на резервных шинах (точка К2) отключение Т1 происходит так же, как и при К3 в точке К1. Если замыкание в точке К2 устраняется до срабатывания защиты Т1, что равнозначно К3 на отходящих присоединениях и отключению их своими защитами, то АВР не приходит в действие. При устойчивом К3 в точке К2 после срабатывания АВР трансформатор Т2 отключается максимальной токовой защитой по цепи ускорения через мгновен-

ный контакт реле времени КТ2 и контакт реле КQT2, имеющий выдержку времени на размыкание.

При исчезновении напряжения на основном источнике (КЗ в точке КЗ) срабатывают реле КV1, КV2 и, если замкнут контакт реле КV3, запускается реле времени КТ3. Если исчезновение напряжения устойчивое, то, после срабатывания КТ3, трансформатор Т1 отключается так же, как и при действии защиты. Аналогично будет работать и АВР. При кратковременном исчезновении напряжения, когда замыкание в точке КЗ устраняется до отключения трансформатора Т1, что равнозначно АПВ основного источника, АВР не производится. Параметрами срабатывания АВР являются напряжение срабатывания и время срабатывания его основных органов.

Время возврата реле КQC3, с одной стороны, должно быть достаточным для надежного включения выключателей Q2 и Q4, а с другой – меньше времени включения и отключения этих выключателей от защиты с учетом ее ускорения. Обычно его принимают на 0,2-0,3 с больше времени включения выключателей Q2, Q4. Время возврата реле КQT2 должно быть достаточным для срабатывания защиты и отключения Q2.

Реле минимального напряжения КV1 и КV2 должны срабатывать при полном исчезновении напряжения на резервируемых шинах и не должны срабатывать при его снижении во время пуска или самозапуска двигателей или при удаленных КЗ. В условиях эксплуатации принимают $U_{срКV1} = U_{срКV2} = (0,2-0,4) U_n$, где $U_n = 100$ В. Напряжение срабатывания реле КV3 определяется из условия отстройки от минимального рабочего напряжения на шинах резервного источника $U_{срКV3} = 0,8U_n$.

Время срабатывания реле КТ3 $t_{срКТ3}$ выбирается из условия отстройки запуска АВР по напряжению при близких КЗ на присоединениях, когда напряжение на резервируемых шинах снижается почти до нуля. Известно, что защиты трансформаторов с относительной селективностью также должны быть отстроены по времени действия от таких КЗ.

Исходя из этого

$$t_{срКТ1} = t_{срКТ2} = t_{ср.прис} + \Delta t,$$

где $t_{ср.прис}$ – максимальная выдержка времени защит присоединений;
 Δt – ступень селективности;

$$t_{cpKT3} = t_{cpKT1} + \Delta t.$$

4.2. Описание стенда

Работа выполняется на стенде, содержащем мнемоническую схему первичных соединений рабочего и резервного трансформаторов, комплекты их защиты и устройство АВР. Для управления выключателями Q1-Q4 используются шестипозиционные ключи, имеющие световую сигнализацию положения выключателей.

Наличие напряжения на шинах индицируется соответствующими лампочками. Имитация КЗ производится включением тумблеров в точках 1, 2, 3.

4.3. Содержание и порядок выполнения работы

4.3.1. Рассчитать и установить на реле KV1, KV2, KV3 уставки по напряжению, а на реле KT1, KT2, KT3 – уставки по времени (выдержка времени защит присоединений задается преподавателем).

4.3.2. Подать на стенд питание и исследовать работу АВР в режимах, перечисленных в табл. 4.1. Перед каждым новым опытом необходимо восстановить исходное положение схемы (выключатели Q1 и Q3 включены, а Q2 и Q4 отключены; тумблеры, имитирующие КЗ, отключены; блинкеры всех указательных реле подняты). Отсутствие напряжения на резервном источнике имитируется путем ручного удержания контактов реле KV3 в разомкнутом состоянии.

4.3.3. По приведенной совмещенной схеме АВР вычертить развернутую схему.

Таблица 4.1

№ пп	Наименование опыта	Срабатывание (+) или несрабатывание (-) реле				
		КН1	КН2	КН3	КН4	КН5
1	2	3	4	5	6	7
1	Устойчивое КЗ в точке К1					
2	КЗ в точке К2, которое самоустраняется до отключения Т1					
3	Устойчивое КЗ в точке К2					

Окончание табл. 4.1

1	2	3	4	5	6	7
4	Устойчивое исчезновение напряжения на шинах основного источника (КЗ в точке КЗ устойчивое).					
5	Исчезновение напряжения на шинах основного источника, которое устраняется до отключения Т1 (КЗ в точке КЗ неустойчивое)					
6	Устойчивое исчезновение напряжения на шинах основного источника при отсутствии напряжения на резервном источнике					
7	Ошибочное отключение выключателя Q1 (Q3)					
8	Плановое отключение выключателей Q1 (Q3) – при выведенной накладке SX					

4.4. Содержание отчета

Совмещенная и развернутая схемы АВР, рассчитанные величины уставок всех реле, табл. 4.1.

4.5. Контрольные вопросы

1. Требования, предъявляемые к схеме АВР.
2. Чем отличается самозапуск двигателей от пуска?
3. Какие органы входят в состав устройства АВР?
4. Для чего вводится ускорение работы защиты после неуспешного АВР?
5. Какую кратность может иметь АВР?
6. Как работает схема АВР при замыкании во всех режимах, перечисленных в табл. 4.1?
7. Чем обеспечивается однократность действия АВР?
8. Как обеспечивается ускорение релейной защиты резервного трансформатора после неуспешного АВР?
9. Как обеспечивается несрабатывание АВР при пусках и самозапусках нагрузки на резервируемых шинах?

10. Как обеспечивается несрабатывание АВР при перегорании плавкой вставки в одной или двух фазах трансформатора TV1 (см. рис. 4.1)?

11. От каких устройств может запускаться схема АВР, приведенная на рис. 4.1?

12. Как и когда работает цепь пуска АВР по напряжению?

13. При каком уровне напряжения на шинах резервного источника питания будет разрешен пуск АВР, если коэффициент возврата реле КV3 максимального напряжения равен 0,85?

14. О работе каких видов защиты и автоматики указывает срабатывание указательных реле КН1 – КН5 (см. табл. 4.1)?

15. Действие АВР при ошибочном отключении Q1.

16. Как обеспечить ремонт резервируемых шин?

17. Чем отличается совмещенная схема от развернутой?

18. Как физически реализуется время срабатывания и возврата реле КQC3 и КQT2?

Лабораторная работа № 5

РЕЛЕ ЧАСТОТЫ РЧ-1

Цель работы

Изучение принципа работы, конструктивного устройства и методов проверки реле понижения частоты РЧ-1.

5.1. Краткие теоретические сведения

Реле частоты РЧ-1 применяют в устройствах релейной защиты и автоматики для фиксации понижения частоты переменного тока. Реле частоты РЧ-1 являются основными элементами АЧР, устройств частотного пуска и используются для некоторого изменения настройки регуляторов турбин и котлов. Кроме того, реле РЧ-1 используются для пуска автоматического повторного включения (АПВ) присоединений, отключенных АЧР, после восстановления частоты.

Принцип действия реле РЧ-1 основан на измерении угла между вектором тока, протекающим в цепи с последовательно соединен-

ными индуктивностью и емкостью, и вектором напряжения, питающего эту цепь.

На рис. 5.1 изображена структурная схема реле. Реле состоит из входного трансформатора Т, фильтра низких частот Ф, фазосдвигающей схемы ФС (обведена пунктиром), формирователей импульсов ФИ1 и ФИ2, фазочувствительного элемента ФЭ, расширителя импульсов РИ, усилителя У и исполнительного органа ИО. Кроме того, в состав реле входит пусковой орган П, который для исключения ложной работы реле запрещает действие РИ при исчезновении напряжения в сети.

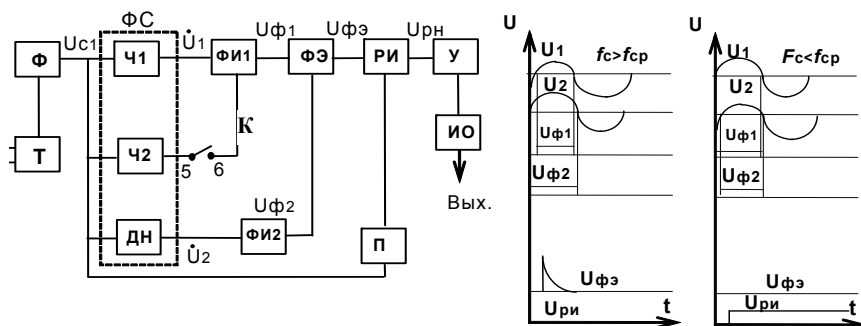


Рис. 5.1. Структурная схема и времяимпульсные диаграммы реле РЧ-1

Входной трансформатор Т предназначен для отделения цепей переменного напряжения от цепей оперативного напряжения. Фильтр низких частот Ф устраняет влияние высших гармоник в кривой напряжения на работу реле.

Фазосдвигающая схема ФС состоит из частотно-зависимых элементов Ч1 и Ч2 и делителя напряжения ДН. Частотно-зависимые элементы Ч1 и Ч2 выполнены одинаково (рис. 5.2) и представляют собой последовательную цепь RLC. Каждый элемент состоит из дросселя X_L с воздушным зазором, ёмкости и активного сопротивления. Обмотка дросселя имеет отводы для ступенчатого изменения индуктивности (для ступенчатого изменения частоты срабатывания реле). Делитель напряжения ДН состоит из двух одинаковых активных сопротивлений R1 и R2. Элемент Ч1 служит для изменения частоты срабатывания, а Ч2 – для регулирования в широком диапазоне частоты

возврата реле. В случае необходимости такого регулирования элемент Ч2 подключается к схеме через внешний контакт К (схема управления внешним контактом К на рис. 5.1 не показана).

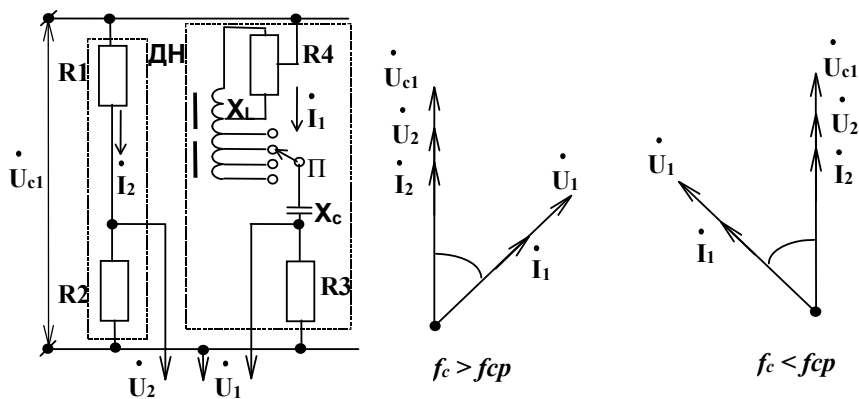


Рис. 5.2. Фазосдвигающая схема реле РЧ-1 и ее векторная диаграмма

На рис. 5.2 показана схема фазосдвигающего элемента. Синусоидальные напряжения U_1 и U_2 , которые подаются на формирователи импульсов ФИ1 и ФИ2, представляют собой падения напряжения на активных сопротивлениях R_3 и R_2 соответственно. Угол φ между векторами напряжений U_1 и U_2 определяется соотношениями сопротивлений X_l и X_c , величина которых зависит от частоты приложенного напряжения. При частоте в сети, равной частоте срабатывания реле, сопротивления X_l и X_c равны между собой, сопротивление цепи RLC приобретает активный характер и вектор напряжения U_2 совпадает с вектором напряжения U_1 . При частоте в сети, большей частоты срабатывания реле, сопротивление X_l становится больше сопротивления X_c , сопротивление цепи RLC приобретает активно-индуктивный характер и вектор напряжения U_1 отстает от вектора напряжения U_2 . При частоте в сети, меньшей частоты срабатывания реле, сопротивление X_l становится меньше сопротивления X_c , сопротивление цепи RLC приобретает активно-емкостной характер и вектор напряжения U_1 опережает вектор напряжения U_2 .

Формирователи импульсов ФИ1 и ФИ2 преобразуют подаваемые на них синусоидальные напряжения U_1 и U_2 в прямоугольные им-

пульсы и выполнены в виде усилительно-ограничительных каскадов. Схема ограничительно-усилительного каскада показана на рис. 5.3.

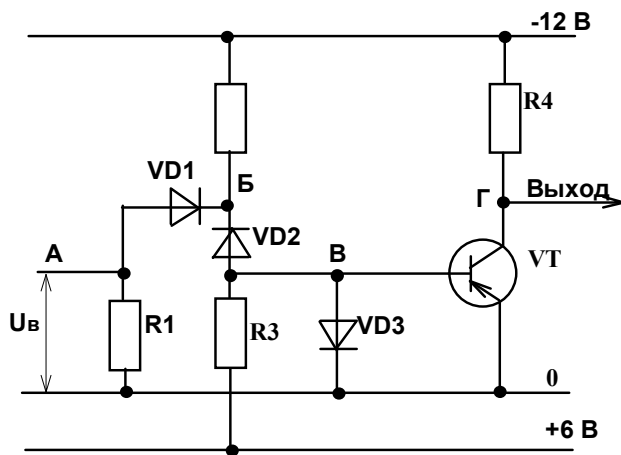


Рис. 5.3. Схема ограничительно-усилительного каскада

Входное напряжение подается на резистор R1. При отсутствии входного напряжения транзистор VT открыт, поскольку его база оказывается отрицательнее эмиттера (так как точка Б отрицательна). Когда к резистору R1 приложена отрицательная полуволна входного напряжения, точка А получает еще более отрицательный потенциал, диод VD1 закрывается, предотвращая чрезмерное увеличение тока через эмиттерный переход транзистора VT. Транзистор VT остается открытым. При положительной полуволне напряжения на входе точка А становится положительной, диод VD1 открывается, а VD2 закрывается, так как точка Б становится положительнее точки В. Это приводит к отделению базы транзистора VT от шинки -12 В, и транзистор закрывается. Надежное закрытие обеспечивается подачей положительного потенциала через резистор R3. Диод VD3 защищает эмиттерный переход от большого запирающего напряжения.

При закрытии транзистора VT в точке Г появляется отрицательное импульсное напряжение. Амплитуда импульса не зависит от амплитуды входного напряжения, а определяется коллекторным напряжением, сопротивлением нагрузки и другими параметрами

схемы. Ширина импульса, т. е. его длительность, несколько меньше полуволны входного напряжения, так как для закрытия диода VD2 нужно, чтобы $U_{вх}$ было больше падения напряжения на резисторе R1 при отсутствии входного напряжения. Таким образом, при переменном синусоидальном напряжении на входе схемы на выходе появляются прямоугольные импульсы (рис. 5.4).

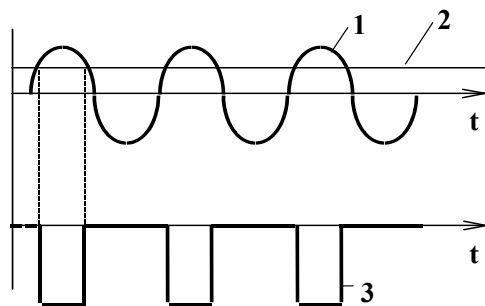


Рис. 5.4. Импульсы на усилительно-ограничительном каскаде:
1 – переменное напряжение на входе; 2 – уровень чувствительности;
3 – импульсы на выходе

На рис. 5.5 показан фазочувствительный элемент схемы реле. Примем, что управление осуществляется ключами K1 и K2. При замкнутом ключе K1 транзистор VT1 закрыт, поскольку его база включена между шинками 0 и +6 В и положительнее эмиттера. При отключенном ключе K1 база транзистора VT1 оказывается подключенной между шинками +6 В и -12 В. Так как сопротивление до шинки -12 В меньше, чем до шинки +6 В, база транзистора VT1 приобретает отрицательный потенциал (относительно эмиттера). Если коллектор транзистора VT1 будет отрицательнее шинки 0, то транзистор VT1 откроется. Следовательно, ключ K1 управляет транзистором VT1. При замкнутом ключе K2 конденсатор C1 практически разряжен.

Потенциал верхней пластины (точка А) равен нулю, потенциал нижней пластины (точка Б) близок к нулю (подробное описание процесса разряда конденсатора см. ниже). В момент размыкания ключа K2 начинается заряд конденсатора C1. Если в это время открыт транзистор VT1, то ток заряда проходит через него, потенциал точки Б в процессе заряда остается равным нулю, точка В остается положительной и транзистор VT2 не открывается.

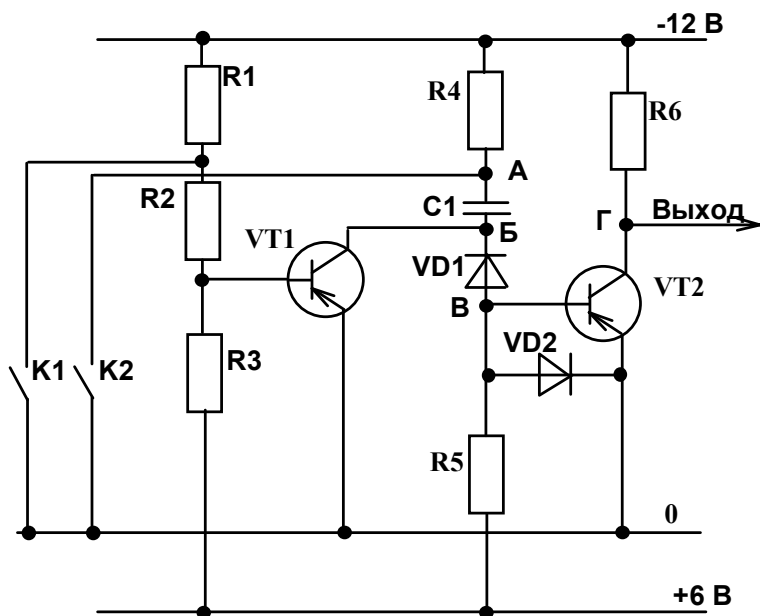


Рис. 5.5. Фазочувствительный элемент схемы реле

Если транзистор VT1 закрыт, то зарядный ток начинает проходить по резистору R5, база транзистора VT2 приобретает отрицательный потенциал относительно эмиттера, транзистор VT2 открывается. По мере нарастания напряжения на конденсаторе ток по резистору R5 уменьшается и через некоторое время после начала заряда транзистор VT2 закрывается.

Время открытого состояния транзистора VT2 определяется параметрами схемы, для реле РЧ-1 оно составляет около 1 мс. При замыкании ключа K2 конденсатор C1 разряжается. Процесс протекает следующим образом. Как известно, напряжение на конденсаторе не изменяется мгновенно. Поэтому в первый момент после замыкания ключа K2 потенциал точки А становится равным нулю, а потенциал точки Б становится положительнее на величину напряжения, до которого был заряжен конденсатор, т.е. примерно на 12 В. Потенциал базы транзистора VT1 составляет либо около 1,5 В (при замкнутом ключе K1), либо около -4 В (при разомкнутом ключе K1). Таким образом, коллектор транзистора VT1 положительнее

эмиттера, а его база отрицательнее коллектора (независимо от состояния $K1$). В таком режиме транзистор открывается, и через него происходит разряд конденсатора $C1$. Если ключ $K1$ разомкнут, то конденсатор разряжается практически до нуля; если ключ $K1$ замкнут, то разряд прекращается, когда потенциал базы становится равным потенциалу базы транзистора $VT1$, так как в этот момент транзистор $VT1$ закрывается.

Разряд конденсатора $C1$ не является основным процессом. Работа схемы основана на процессе заряда $C1$, во время которого открывается или не открывается транзистор $VT2$. Кратковременное открытие транзистора $T2$ происходит в момент размыкания ключа $K2$, если ключ $K1$ при этом замкнут. Если ключ $K1$ размыкается одновременно с ключом $K2$ или раньше, то транзистор $T2$ не открывается.

Таким образом, схема фиксирует порядок размыкания ключей; если сначала размыкается ключ $K2$, то транзистор $VT2$ кратковременно открывается, если ключ $K1$ остается закрытым. В качестве ключей $K1$ и $K2$ служат формирователи импульсов $ФИ1$ и $ФИ2$ соответственно. Импульс на выходе формирователя соответствует разомкнутому, отсутствие импульса – замкнутому ключу. Таким образом, фазочувствительный элемент фиксирует порядок поступления импульсов от формирователей. Если сначала поступает импульс от формирователя $ФИ2$, то транзистор $VT2$ кратковременно открывается 1 раз в период. Иначе говоря, на выходе фазочувствительного элемента появляются положительные импульсы. Если же импульсы от формирователей $ФИ1$ и $ФИ2$ поступают одновременно или сначала поступает импульс от $ФИ1$, транзистор $VT2$ остается закрытым, т.е. импульсов на выходе фазочувствительного элемента нет.

После ознакомления с работой отдельных узлов рассмотрим работу всей схемы. Сначала вернемся к структурной схеме реле (см. рис. 5.1). На вход формирователей $ФИ1$ и $ФИ2$ подано синусоидальное напряжение от измерительных цепей. Напряжение $U2$ (опорное) совпадает по фазе с напряжением сети, напряжение $U1$ при частоте сети выше уставки реле отстает от опорного напряжения и опережает его, если частота сети ниже уставки (более подробно об этом сказано выше). Синусоидальные напряжения $U1$ и $U2$ преобразуются формирователями в прямоугольные импульсы, которые подаются на фазочувствительный элемент ФЭ. Команду на срабатывание реле вырабатывает фазочувствительный элемент. Ес-

ли импульс от формирователя ФИ1 начинается позже, чем импульс от ФИ2, это означает (см. рис. 5.2), что напряжение на входе ФИ1 (U_1) отстает от напряжения на входе ФИ2 U_2 . Выше было показано, что при частоте сети выше уставки реле напряжение U_1 отстает от напряжения U_2 . При частоте сети, равной уставке, эти напряжения совпадают по фазе, и при частоте сети ниже уставки напряжение U_1 опережает напряжение U_2 . Следовательно, если на выходе фазочувствительного элемента есть положительные импульсы (открывается транзистор VT2 один раз в период), то частота сети выше уставки реле. Если частота сети равна уставке или ниже ее, то импульсов нет. Таким образом, команда на срабатывание подается именно фазочувствительным элементом и заключается в прекращении положительных импульсов. Команда на возврат реле заключается в появлении положительных импульсов (на выходе фазочувствительного элемента).

Расширитель импульсов РИ расширяет импульс во времени и выполнен с помощью транзисторов так, что при подаче на его вход импульсов $U_{ФЭ}$ сигнал $U_{РИ}$ отсутствует. При исчезновении импульсов $U_{ФЭ}$ на выходе РИ появляется постоянный сигнал $U_{РИ}$, который через усилитель $У$ подается на исполнительный орган ИО, в качестве которого используется электромеханическое реле типа РП-220, и реле срабатывает.

Частота срабатывания реле $f_{ср}$ регулируется в диапазоне от 50 до 45 Гц ступенчато переключателем П путем изменения числа витков дросселя X_L и плавно с помощью переменного резистора R4, включенного на часть витков обмотки дросселя. Разность между частотой срабатывания и возврата (в том случае когда контакт К разомкнут) обычно не более 0,1 Гц. Реле может срабатывать с выдержками времени 0,15; 0,3; 0,5 с, которые замедляются действием РИ.

5.2. Содержание и порядок выполнения работы

5.2.1. Ознакомиться с конструкцией и принципом действия реле РЧ-1.

5.2.2. Собрать схему рис. 5.6. Питание генератора ГЗ-109 осуществить от розетки "Х"220 В.

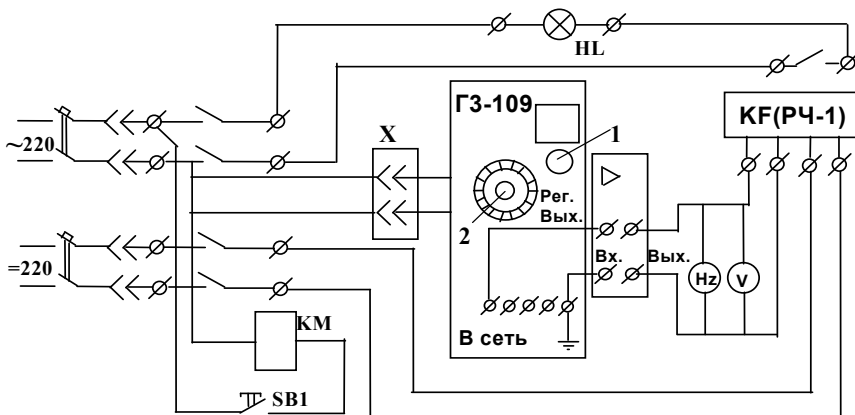


Рис. 5.6.Схема лабораторной установки для испытания реле РЧ-1

5.2.3. На лицевой панели генератора сигналов ГЗ-109 включить тумблер "Сеть". Вращая рукоятку 1, установить напряжение, подводимое к обмотке реле, равное 100 В.

5.2.4. Проверить частоту срабатывания и возврата реле РЧ-1 во всем диапазоне уставок реле.

Проверку производить следующим образом: установить напряжение, подаваемое на реле, равное 100 В; вращая рукоятку 2 генератора ГЗ-109 (рис. 5.6), установить частоту напряжения генератора равной 50 Гц. Медленно уменьшая частоту, определить частоту срабатывания реле (реле замыкает контакты и включает лампу HL). Затем, медленно увеличивая частоту, определить частоту возврата, при которой реле размыкает контакты.

Результаты занести в табл. 5.1.

Таблица 5.1

$f_{уст}, \text{Гц}$								
$f_{ср}, \text{Гц}$								
$f_{возв}, \text{Гц}$								

5.2.5. Снять зависимость частоты срабатывания при произвольной выбранной уставке. Изменение напряжения U_p производить вращая рукоятку 1. Результаты занести в табл. 5.2.

$$f_{уст} =$$

Таблица 5.2

$U_p, В$	20	40	60	70	80	90	100	110	120
$f_{ср}, Гц$									

5.3. Содержание отчета

Отчет должен содержать схемы (рис. 5.1 и рис. 5.2), результаты проверки реле (табл. 5.1 и 5.2), графическую зависимость частоты срабатывания реле от напряжения, подводимого к реле.

5.4. Контрольные вопросы

1. Какие типы реле частоты находят применение в энергосистемах?
2. От какого источника поступает входной сигнал на реле частоты?
3. Как работает структурная схема реле частоты РЧ-1?
4. Как регулируется частота срабатывания реле РЧ-1?
5. Какие опыты выполнялись вами при испытании реле?
6. Как влияет величина подведенного к реле напряжения на частоту срабатывания реле?
7. На какой знак изменения частоты реагирует реле РЧ-1: на повышение или на понижение частоты?
8. Для чего предназначен генератор в схеме испытаний? Как согласуется по параметрам выход генератора на вход реле?

Лабораторная работа №6

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЧАСТОТНАЯ РАЗГРУЗКА (АЧР)

Цель работы

Ознакомление с принципами выполнения устройств АЧР, методикой определения величин нагрузок, отключаемых устройствами АЧР-1 и АЧР-2.

6.1. Краткие теоретические сведения

Частота переменного тока f определяется угловой скоростью вращения синхронных генераторов. Частота в энергосистеме ЭС поддерживается персоналом или автоматически путем изменения впуска пара в турбины турбогенераторов и воды в турбины гидрогенераторов. При устойчивом режиме работы энергосистемы с постоянной частотой переменного тока существует баланс между потребляемой (P_n) и генерируемой (P_r) активными мощностями в энергосистеме. Нарушение баланса между потребляемой и генерируемой активными мощностями приводит или к уменьшению угловой скорости вращения генераторов и, следовательно, уменьшению f (при $P_r < P_n$) или к увеличению угловой скорости вращения генераторов и увеличению f (при $P_r > P_n$). Увеличение угловой скорости вращения генераторов вызывает действие регуляторов скорости вращения турбин, направленное на уменьшение угловой скорости вращения, что приводит к восстановлению номинального значения частоты в энергосистеме. При возникновении относительно небольших дефицитов активной мощности в энергосистеме (при $P_n > P_r$) регуляторы скорости вращения турбин увеличивают количество пара, подаваемого на турбину, и частота в энергосистеме восстанавливается. Успешное регулирование частоты тока возможно при наличии в энергосистеме резерва активной мощности, т.е. до тех пор, пока генераторы будут загружены неполностью. Длительная работа с пониженной частотой ($f < 48$ Гц) недопустима, так как при этом снижается скорость вращения электродвигателей, вследствие чего падает их производительность. На промышленных предприятиях это приводит к нарушению технологии производства и браку, а на электрических станциях – к снижению вырабатываемой генераторами мощности и их ЭДС. Дефицит активной мощности увеличивается, и возникает дефицит реактивной мощности, что может привести не только к аварийному снижению частоты (лавина частоты), но и к лавинообразному снижению напряжения (лавина напряжения) и нарушению всей системы электроснабжения.

В таких случаях для восстановления заданного режима работы автоматически с помощью устройств автоматической частотной разгрузки (УАЧР) отключают часть наименее ответственных потребителей. Принципиально УАЧР может выполняться реагирующим

не только на изменение абсолютного значения частоты, но и на скорость ее изменения. Устройство, реагирующее на скорость изменения частоты, обладает некоторыми преимуществами, однако из-за своей сложности широкого применения не находит.

Статическая частотная характеристика ЭС в целом включает в себя статические частотные характеристики нагрузки и генерирующей части системы. Статической частотной характеристикой нагрузки, играющей основную роль в расчетах АЧР, называется зависимость активной мощности нагрузки от частоты в установившемся режиме при постоянном напряжении.

Эта зависимость, охватывающая все известные виды нагрузок, имеет вид

$$P_n = P_0 + P_1(f/f_{ном}) + P_2(f/f_{ном})^2 + P_3(f/f_{ном})^3 + P_4(f/f_{ном})^4, \quad (6.1)$$

где P_0 – нагрузка, определяемая лампами накаливания, нагревательными и выпрямительными установками;

P_1 – нагрузка, определяемая металлорежущими станками, мельницами, поршневыми насосами и компрессорами;

P_2 – нагрузка, определяемая потерями в электрических сетях;

P_3 – нагрузка, определяемая вентиляторами и центробежными насосами с малым статическим напором;

P_4 – нагрузка, определяемая центробежными насосами с большим статическим напором и собственными нуждами ТЭЦ.

При номинальной частоте $P_n = P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4$.

Выражение (6.1) показывает, что при снижении частоты мощность нагрузки уменьшается, а при повышении возрастает. В этом проявляется регулирующий эффект нагрузки по частоте (РЭН), действующий в сторону уменьшения небаланса активной мощности и, следовательно, отклонения частоты. Если снижение мощности нагрузки становится равным возникшему дефициту, то наступает установившийся режим с соответственно пониженной частотой.

Статическая частотная характеристика нагрузки $P_n = F(f)$ зависит от состава потребителей и в общем случае нелинейная.

Однако в достаточно узком диапазоне изменения частоты (45-50 Гц) зависимость $P_n = F(f)$ можно считать линейной.

Для оценки РЭН используется коэффициент регулирующего эффекта нагрузки, равный отношению относительного изменения мощности нагрузки к относительному изменению частоты, т.е., по существу, производной выражения (6.1), характеризующей влияние разных видов нагрузки на интенсивность РЭН:

$$k_H = \Delta P_{*H} / \Delta f^*, \quad (6.2)$$

где $\Delta P_{*H} = \Delta P_H / P_H$; $\Delta f^* = \Delta f / f_H$.

При номинальном значении частоты

$$K_H = P_{*1} + 2P_{*2} + 3P_{*3} + 4P_{*4}.$$

Небольшая кривизна характеристики нагрузки в диапазоне частот 50-45 Гц позволяет ее спрямить в этом диапазоне без существенной погрешности и пользоваться постоянным значением K_H (рис. 6.1). По опытным данным, в зависимости от состава нагрузки в ЭС наблюдаются значения $K_H = 1,5 - 2,5$. Регулирующий эффект нагрузки играет важную роль, облегчая регулирование частоты в нормальных режимах и уменьшая снижение частоты при дефицитах генерируемой мощности.

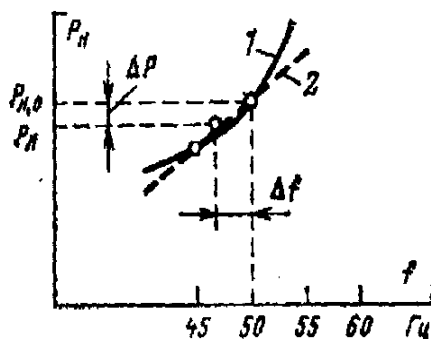


Рис. 6.1. Статическая частотная характеристика нагрузки:
1 — истинная; 2 — спрямленная

Зная величину ΔP , %, из выражения (6.2) можно определить снижение частоты при возникновении дефицита ΔP в ЭСС:

$$\Delta f = \Delta P / (2 K_H), \text{ Гц,}$$

или при известном снижении частоты в ЭС Δf мощность потребителей электрической энергии, которую необходимо отключить устройствами АЧР для восстановления частоты до номинального значения:

$$\Delta P_{\text{АЧР}} = 2 K_n \Delta f.$$

Согласно ПУЭ частота в ЭС в результате действия устройств АЧР-1 должна восстанавливаться в диапазоне $f_B = 48,5 - 49,5$ Гц.

Для восстановления частоты в ЭС устройства АЧР-1 начинают отключать нагрузку при частоте 48 – 48,5 Гц и отключают ее отдельными очередями разгрузки. Частота срабатывания каждой последующей очереди меньше частоты срабатывания предыдущей очереди на ступень селективности:

$$f_{cp i} = f_{cp i-1} - \Delta f,$$

где Δf – ступень селективности по частоте.

Мощность, отключаемая отдельными очередями устройств АЧР-1, определяется:

$$\begin{aligned} P_{\text{откл}1\%} &= 2 K_n (f_B - f_{cp1}); \\ P_{\text{откл}2\%} &= 2 K_n (f_B - f_{cp2}) - P_{\text{откл}1\%}; \\ P_{\text{откл}3\%} &= 2 K_n (f_B - f_{cp3}) - (P_{\text{откл}1\%} + P_{\text{откл}2\%}); \\ P_{\text{откл}4\%} &= 2 K_n (f_B - f_{cp4}) - (P_{\text{откл}1\%} + P_{\text{откл}2\%} + P_{\text{откл}3\%}). \end{aligned}$$

$$P_{\text{откл}n\%} = 2 K_n (f_B - f_{cpn}) - \sum_{i=1}^{i=n-1} P_{\text{откл}i\%},$$

где n – число очередей нагрузки, отключаемой устройствами АЧР-1;

$f_{cp.i}$ – частота срабатывания i -й ступени АЧР-1;

$P_{\text{откл}i}$ – мощность нагрузки в %, отключаемой i -й ступенью АЧР-1.

6.2. Содержание и порядок выполнения работы

При заданных структуре и величине потребляемой активной мощности в ЭС, величинах уставок первой и последней очередей АЧР-1, ступени селективности по частоте и частоты, которая долж-

на восстановится в ЭС после срабатывания устройств АЧР-1, определить количество очередей, уставки очередей и мощность, отключаемую очередями устройств АЧР-1 (см. табл. 6.1). Вариант расчета задается преподавателем.

Таблица 6.1

№ вар.	P_1 , отн.ед.	P_2 , отн.ед.	P_3 , отн.ед.	P_4 , отн.ед.	$P_{\text{нагр}}$, МВт	f_B , Гц	f_{cp1} , Гц	f_{cpi} , Гц	Δf , Гц
1	0,2	0,3	0,4	0,1	150	48,5	48	46	0,25
2	0,3	0,4	0,1	0,2	250	49	48,5	46,5	0,4
3	0,4	0,1	0,2	0,3	350	48,5	48	46	0,5
4	0,1	0,2	0,3	0,4	450	49	48,5	46,5	0,25
5	0,2	0,3	0,4	0,1	150	48,5	48	46	0,4
6	0,3	0,4	0,1	0,2	250	49	48,5	46,5	0,5
7	0,4	0,1	0,2	0,3	350	48,5	48	46	0,25
8	0,1	0,2	0,3	0,4	450	49	48,5	46,5	0,4
9	0,2	0,3	0,4	0,1	150	48,5	48	46	0,5
10	0,3	0,4	0,1	0,2	250	49	48,5	46,5	0,25
11	0,4	0,1	0,2	0,3	350	48,5	48	46	0,4
12	0,1	0,2	0,3	0,4	450	49	48,5	46,5	0,5
13	0,2	0,3	0,4	0,1	150	48,5	48	46	0,25
14	0,3	0,4	0,1	0,2	250	49	48,5	46,5	0,4
15	0,4	0,1	0,2	0,3	350	48,5	48	46	0,5

6.3. Содержание отчета

Отчет должен содержать исходные данные и расчет.

6.4. Контрольные вопросы

1. Причина снижения частоты в энергосистеме?
2. Что называется лавиной частоты? При каких значениях частоты возможно возникновение этого явления?
3. Для чего предназначено и как работает устройство АЧР?
4. На каких элементах энергосистемы устанавливается устройство АЧР: на генераторах или на линии нагрузки?
5. Объясните, каким образом нагрузка влияет на баланс мощностей при снижении частоты в энергосистеме.

6. Каким образом определяется коэффициент регулирующего эффекта нагрузки?

Лабораторная работа № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО УСИЛИТЕЛЯ

Цель работы

Ознакомление с принципом действия и снятие нагрузочной характеристики дроссельного магнитного усилителя без обратной связи.

7.1. Краткие теоретические сведения

Принцип действия. Магнитный усилитель (МУ) – это электрический аппарат, предназначенный для усиления электрического сигнала по току, напряжению или мощности. В схеме простейшего дроссельного МУ (рис. 7.1) используется управляемое индуктивное сопротивление. Замкнутый магнитопровод изготавливается из материала с резко выраженной нелинейностью кривой намагничивания $B = f(H)$. Рабочая обмотка переменного тока W_p включается в цепь нагрузки R_n . В обмотку управления W_y подается управляющий постоянный ток I_y . При прохождении переменного тока по обмотке W_p на обмотке W_y наводится ЭДС. Эта ЭДС будет создавать переменный ток в цепи управления, для ограничения которого включается балластный дроссель X_b .

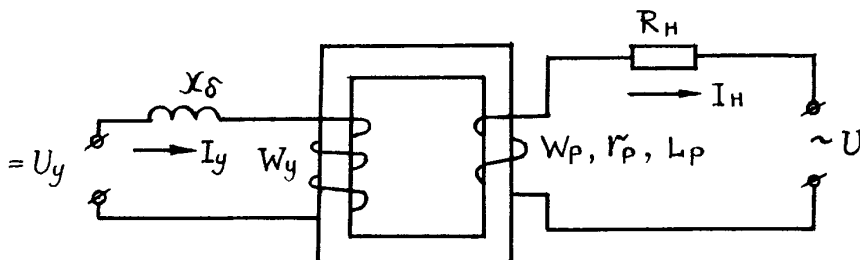


Рис. 7.1

Индуктивное сопротивление рабочей обмотки W_p определяется согласно

$$X_p = \omega L_p = \omega W_p \Delta \Phi / \Delta I = \omega \mu_a W_p^2 S / l,$$

где S – активное сечение магнитопровода;

W_p – число витков рабочей обмотки;

L_p – ее индуктивность;

l – средняя длина магнитной линии в магнитопроводе.

При неизменных S , W_p , l индуктивность L_p определяется абсолютной магнитной проницаемостью μ_a . При $I_y = 0$ состояние магнитопровода характеризуется ненасыщенной зоной 1 (рис. 7.2). В этой зоне магнитная проницаемость $\mu_{a1} = \Delta B_1 / \Delta H_1$ велика и индуктивное сопротивление X_{p1} обмотки W_p максимально. Обычно $R_n \ll X_{p1}$, поэтому ток в цепи рабочей обмотки определяется только величиной X_{p1} и имеет минимальное значение

$$I_{н,о} = H_1 / W_p.$$

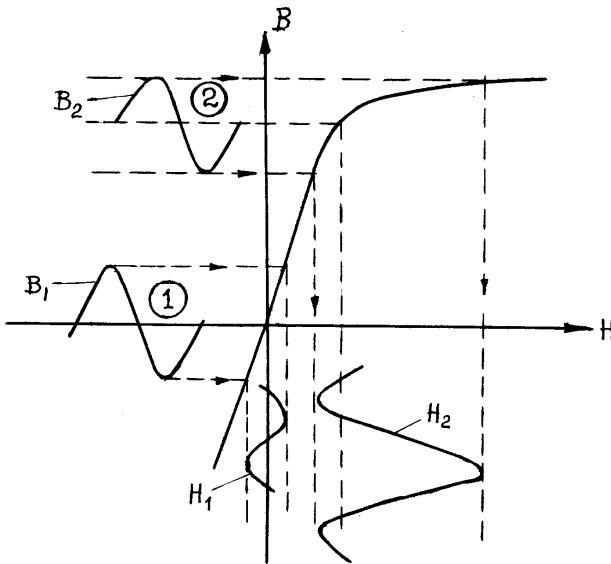


Рис. 7.2

Если подать в обмотку управления постоянный ток управления $I_{у,макс}$, то рабочая зона переходит в область 2. В этой области насы-

щения материал имеет магнитную проницаемость $\mu_{a2} = \Delta_{B2}/\Delta_{H2}$. Индуктивное сопротивление рабочей обмотки X_{p2} резко уменьшается. Значения X_{p2} и R_n выбираются так, чтобы $X_{p2} \ll R_n$. Тогда ток в цепи нагрузки определяется только сопротивлением нагрузки R_n и активным сопротивлением r_p рабочей обмотки. Поэтому ток I_n имеет максимальное значение.

Рассмотренные режимы являются крайними. При плавном увеличении тока управления от $I_y = 0$ до $I_{y\max}$ ток нагрузки увеличивается от $I_{n,0}$ до максимального значения $I_{n,\max}$ за счет уменьшения магнитной проницаемости μ_a .

Таким образом, путем подмагничивания сердечника постоянным током I_y , можно управлять индуктивностью рабочей обмотки, а следовательно, и переменным током I_n в ее цепи.

Дроссельные магнитные усилители на практике применяются редко. Необходимость применения дросселя X_b , габаритные размеры которого сопоставимы с размерами магнитопровода, является одним из основных недостатков дроссельного МУ. Кроме того, как следует из рис 7.2, вследствие нелинейности характеристики намагничивания ток в рабочей обмотке I_n содержит высшие гармоники. При этом если $I_y = 0$, то в токе I_n присутствуют только нечетные гармоники (кривая H_1 симметрична относительно оси времени), а при наличии подмагничивания $I_y > 0$ полуволны H_2 становятся несимметричными и в них появляются четные гармоники. Для устранения этих явлений МУ выполняются на двух сердечниках.

Конструктивное выполнение. Схема реального МУ приведена на рис. 7.3. На двух сердечниках размещаются рабочие обмотки переменного тока W_{p1} и W_{p2} , а обмотка управления W_y охватывает оба сердечника. Рабочие обмотки включаются параллельно таким образом, чтобы переменные составляющие магнитных потоков, создаваемых этими обмотками в каждом сердечнике, находились в противофазе. В этом случае переменная ЭДС в обмотке управления не наводится, а также полностью компенсируются четные гармоники в цепи переменного тока. Действительно, ток нагрузки I_n равен сумме составляющих, проходящих по обмоткам W_{p1} и W_{p2} . При наличии постоянного подмагничивания каждая из этих составляющих содержит четные гармоники. Однако поскольку направление намагничивающего поля в цепи управления относительно переменного

поля в сердечниках разное, то четные гармоники в общей цепи нагрузки сдвинуты на 180° , т.е. будут отсутствовать.

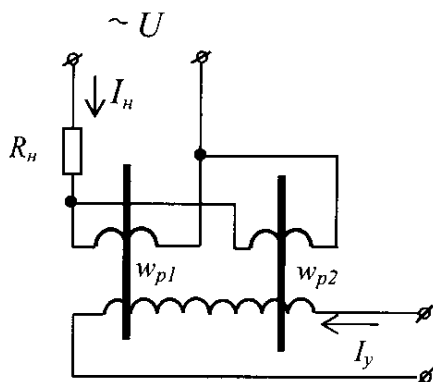


Рис. 7.3

Часто в качестве нагрузки используют устройства, работающие на постоянном токе (электромагнитные реле, двигатели постоянного тока и т.п.). В этом случае нагрузка включается через полупроводниковые выпрямители.

Характеристики МУ. Зависимость тока в цепи нагрузки от тока управления называется нагрузочной характеристикой МУ $I_n = f(I_y)$. Из нагрузочной характеристики (рис. 7.4) видно, что ток нагрузки I_n не зависит от полярности тока в цепи управления. В связи с этим такие МУ называют однотоковыми.

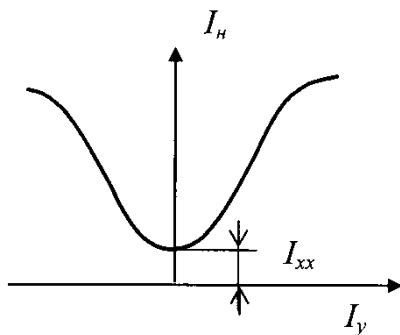


Рис. 7.4

При отсутствии тока в цепи управления индуктивность рабочих обмоток максимальна и ток нагрузки имеет минимальное значение, называемое током холостого хода $I_{х.х}$.

Коэффициентом усиления по току МУ называют отношение приращения тока нагрузки ΔI_n к соответствующему приращению тока управления ΔI_y :

$$K_I = \Delta I_n / \Delta I_y.$$

Коэффициент усиления по мощности определяют как

$$K_p = K_I^2 R_n / R_y,$$

где R_n – сопротивление нагрузки;

R_y – сопротивление обмотки управления.

Область применения МУ. МУ отличаются простотой конструкции, высокой надежностью, постоянной готовностью к работе, высоким КПД и практически неограниченным сроком службы. Поэтому они находят широкое применение в автоматических устройствах в качестве усилителей мощности (регулирование возбуждения синхронных генераторов, схемы релейной защиты и контроля), а также в качестве линейных и нелинейных преобразователей сигналов.

Недостатком МУ является относительно большая инерционность, а также зависимость характеристик магнитных материалов от частоты. Поэтому область применения МУ ограничена низкими частотами.

7.2. Содержание и порядок выполнения работы

В настоящей работе производится исследование дроссельного МУ типа ТУМ-Л15-11, номинальный ток которого равен 0,55 А.

1. Собрать схему в соответствии с рис. 7.5. Установить переключки на зажимах с таким расчетом, чтобы получить схему МУ без обратной связи с нагрузкой на переменном токе (перемкнуть зажимы 5-6-7, 8-9, 2-3).

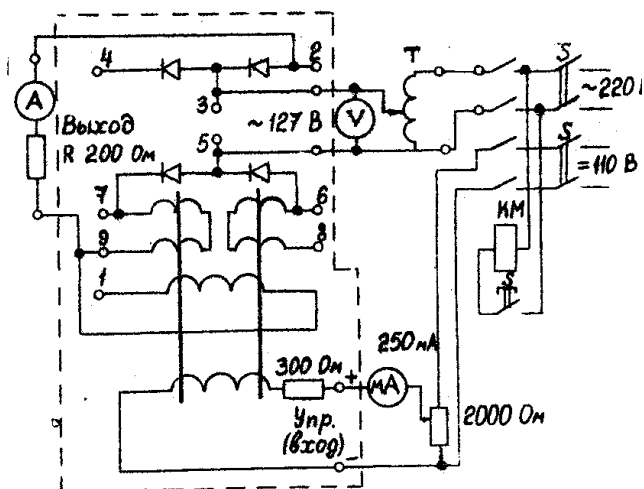


Рис. 7.5. Схема испытания магнитного усилителя

2. Снять зависимость $I_n = f(I_y)$ при различных полярностях I_y . Данные занести в табл. 7.1.

Таблица 7.1

I_y (A)	-0,25	-0,2	-0,1	-0,05	-0,01	0,0	0,01	0,05	0,1	0,2	0,25
I_n (A)											

7.3. Содержание отчета

1. Схемы магнитного усилителя.
2. Экспериментальная нагрузочная характеристика $I_n = f(I_y)$.
3. По нагрузочной характеристике определить $I_{x,x}$, K_I , K_p .

7.4. Контрольные вопросы

1. Объясните, почему при изменении тока управления изменяется ток нагрузки МУ.
2. Почему МУ исполняются с двумя магнитопроводами?
3. Объясните вид нагрузочной характеристики МУ.
4. Какими коэффициентами характеризуется МУ?

Лабораторная работа №8

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО УСИЛИТЕЛЯ С ОБРАТНЫМИ СВЯЗЯМИ

Цель работы

Ознакомление с принципом действия и снятие нагрузочной характеристики дроссельного магнитного усилителя с обратными связями.

8.1. Краткие теоретические сведения

Принцип действия. Для увеличения коэффициента усиления в магнитных усилителях (МУ) применяют положительные обратные связи. Для примера на рис. 8.1 представлена схема МУ с положительной обратной связью (ОС).

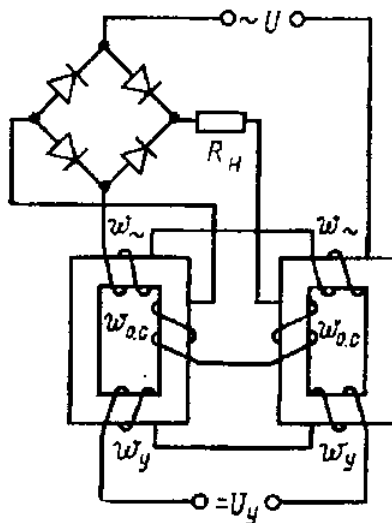


Рис. 8.1. МУ с положительной ОС

В этой схеме на сердечниках имеются дополнительные обмотки положительной ОС с числом витков $w_{o.c.}$. Через эти обмотки проходит выпрямленный переменный ток нагрузки. Магнитный поток обмоток $w_{o.c.}$ совпадает с током подмагничивания, увеличивая тем

самым подмагничивание сердечника, а следовательно, и ток нагрузки I_H при одном и том же значении тока в обмотке управления.

Если в магнитных усилителях обратная связь осуществляется с помощью специальных обмоток $w_{o.c.}$, то такую связь называют внешней обратной связью.

Нагрузочные характеристики одноктных МУ с положительной ОС существенно изменяются по сравнению с такими же МУ без ОС. Во-первых, нагрузочная характеристика становится несимметричной относительно оси ординат; во-вторых, возрастает сила тока холостого хода усилителя (рис 8.2, б). Это объясняется тем, что при изменении полярности тока в обмотке управления, направление тока в обмотке обратной связи не изменяется. В связи с этим при изменении полярности тока в обмотке управления положительная ОС превращается в отрицательную и коэффициент усиления МУ уменьшается. Поэтому МУ с положительной ОС используются для работы только при определенной полярности тока управления.

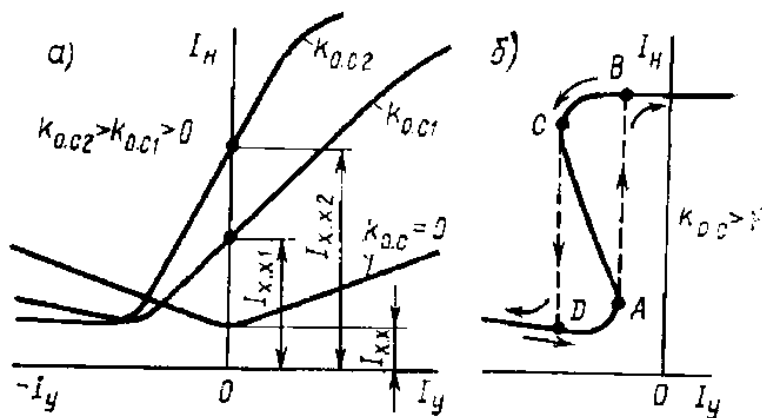


Рис. 8.2. Нагрузочные характеристики МУ с положительной ОС

Коэффициент усиления по мощности МУ с ОС

$$K_p^* = K_p (1 \pm K_{o.c.})^2,$$

где K_p – коэффициент усиления по мощности МУ без ОС;

$K_{o.c.}$ – коэффициент передачи обратной связи.

В этом выражении знак «+» соответствует отрицательной ОС; знак «-» – положительной ОС. При $K_{o.c} = 1$ коэффициент усиления МУ с положительной ОС теоретически равен бесконечности. Практически он равен конечному, хотя и достаточно большому, значению благодаря насыщению магнитопровода МУ.

При $K_{o.c} > 1$ МУ переходит в релейный режим работы (рис. 8.2, б). При возрастании тока управления из режима А магнитный усилитель скачкообразно переходит в режим В. При уменьшении тока управления из режима С магнитный усилитель скачкообразно переходит в режим D.

В МУ также широко применяется внутренняя ОС, которая осуществляется путем включения в цепи переменного тока выпрямительных вентилях (рис. 8.3, 8.4), благодаря чему по ним протекает постоянная слагающая тока нагрузки.

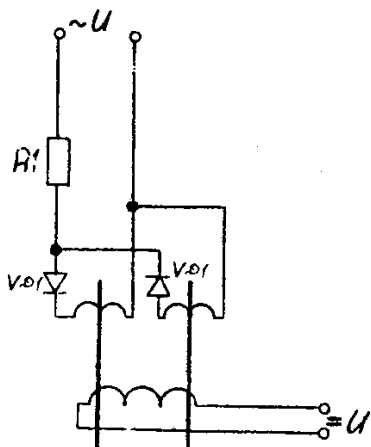


Рис. 8.3

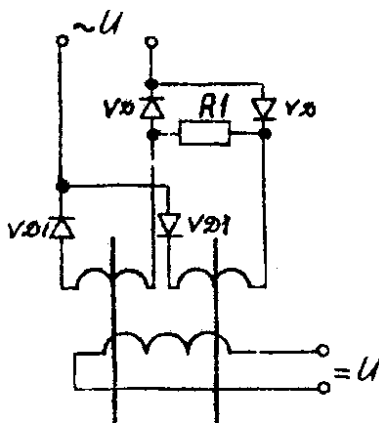


Рис. 8.4

Как видно из рис. 8.3, в цепи нагрузки протекает переменный ток. Для получения в цепи нагрузки постоянного тока схема рис. 8.3 дополняется еще двумя вентилями (рис. 8.4). МУ с внутренней ОС называют усилителем с **самонасыщением**.

Для уменьшения тока холостого хода МУ с положительной ОС применяют дополнительную так называемую обмотку **смещения**. Схема однотактного МУ с обмоткой положительной ОС и обмоткой смещения приведена на рис. 8.5.

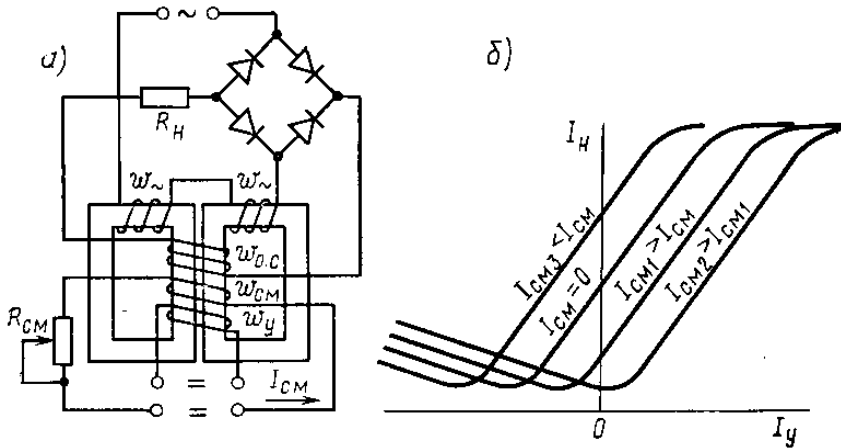


Рис. 8.5. МУ с положительной ОС и обмоткой смещения.

Обмотка смещения питается от отдельной сети постоянного тока. Сила тока в цепи обмотки смещения I_{CM} может изменяться переменным сопротивлением R_{CM} . Семейство нагрузочных характеристик МУ для различных значений тока смещения представлена на рис. 8.5, б.

Если магнитный поток, создаваемый обмоткой смещения, увеличивает подмагничивающий поток от обмоток управления и положительной ОС, то нагрузочная характеристика МУ смещается влево от оси ординат. При изменении направления тока в обмотке смещения создаваемый им поток уменьшает подмагничивание сердечников и нагрузочная характеристика МУ смещается вправо, уменьшая силу тока холостого тока усилителя.

8.2. Порядок выполнения работы

В настоящей работе производится исследование дроссельного МУ типа ГУМ-Л15-11, номинальный ток которого равен 0,55 А.

1. Собрать схему в соответствии с рис. 8.6. Установить переключки для получения схемы с внутренней обратной связью и нагрузкой на постоянном токе (перемкнуть зажимы 2-8, 4-9). Данные занести в табл. 8.1.

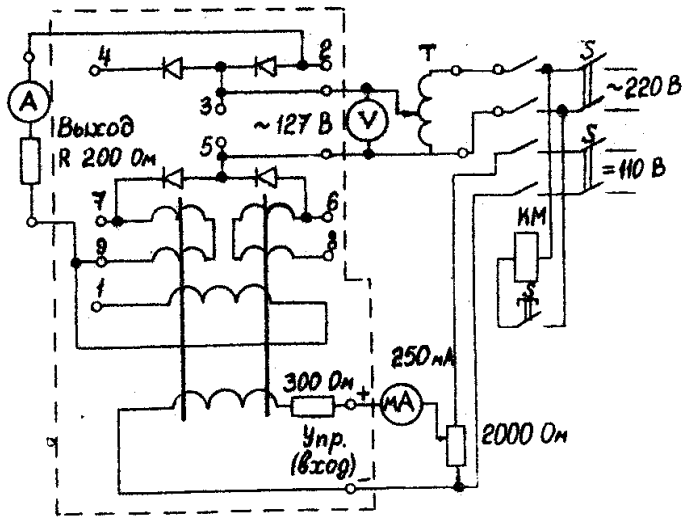


Рис. 8.6. Схема испытания магнитного усилителя

2. Включить дополнительную обмотку внешней обратной связи (установить дополнительно перемычку 1-2) и снять зависимость $I_n = f(I_y)$ при различных полярностях тока управления. Данные занести в табл. 8.1.

Снять зависимость $I_n = f(I_y)$ при различных полярностях I_y . Данные занести в табл. 8.1.

Таблица 8.1

I_y (A)	-0,25	-0,2	-0,1	-0,05	-0,01	0,0	0,01	0,05	0,1	0,2	0,25
I_n (A)											

8.3. Содержание отчета

1. Схемы магнитного усилителя с обратными связями.
2. Экспериментальные нагрузочные характеристики $I_n = f(I_y)$.
3. По нагрузочной характеристике определить $I_{x.x.}$, K_I , K_p для каждого вида усилителя.

8.4. Контрольные вопросы

1. Объясните вид нагрузочной характеристики МУ с обратной связью.
2. Какими коэффициентами характеризуется МУ с обратной связью?
3. Каким образом выполняется смещение нагрузочной характеристики МУ с обратной связью?

Лабораторная работа №9

УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ МАШИН

Цель работы

Изучение устройства, принципа действия и экспериментальное снятие основных характеристик АРВ синхронных генераторов.

9.1. Краткие теоретические сведения

Автоматические регуляторы возбуждения (**АРВ**) служат для поддержания заданного значения напряжения на выводах генератора или на шинах высшего напряжения. Кроме того, АРВ производит наиболее выгодное распределение реактивных нагрузок между параллельно работающими генераторами и электростанциями.

В состав панели автоматического регулятора возбуждения типа ЭПА-305 входит устройство токового компаундирования с электромагнитным корректором напряжения. АРВ этого вида применяются для генераторов с электромашинным возбуждением.

Описание автоматического регулятора возбуждения. Автоматический регулятор возбуждения воспринимает изменения напряжения, тока или других электрических величин и преобразует их в изменение тока возбуждения генератора.

Устройство токового компаундирования. Токовое компаундирование производит регулирование возбуждения по модулю тока статора. Принципиальная схема устройства токового компаундирования представлена на рис. 9.1.

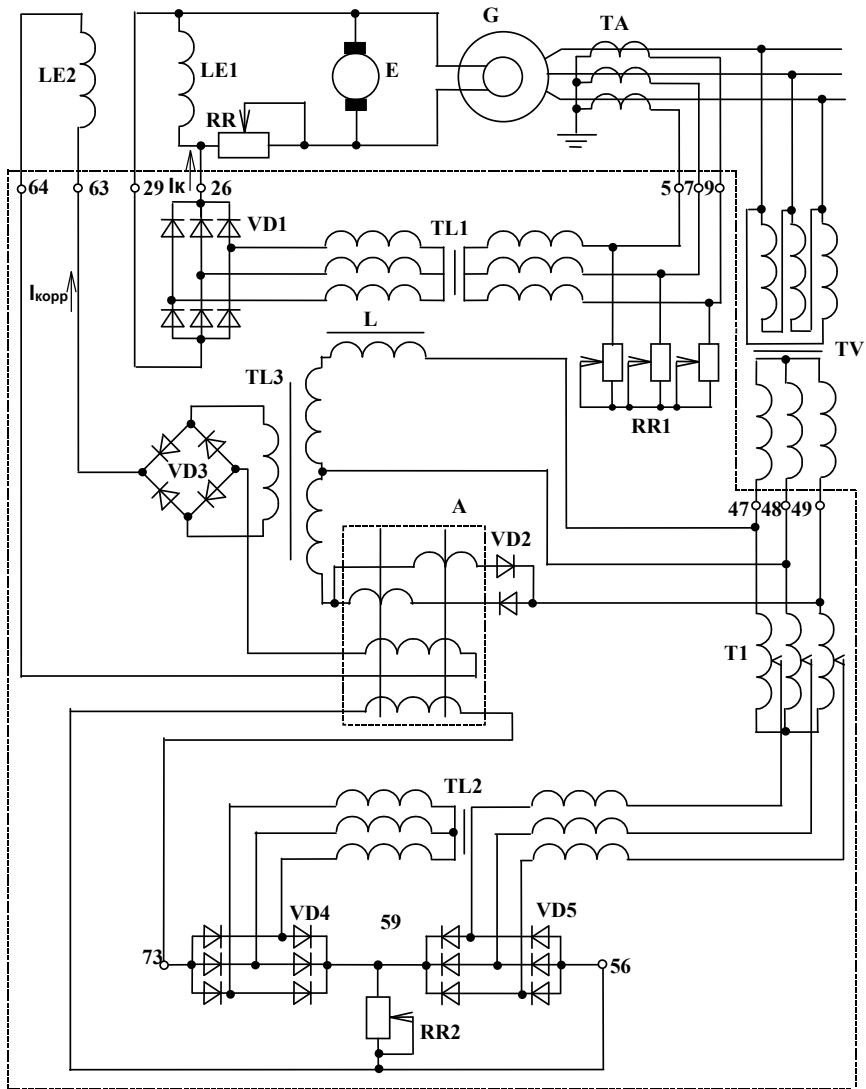


Рис. 9.1. Принципиальная схема компаундирования с электромагнитным корректором

Вторичный ток трансформаторов тока ТА, включенный в три фазы статора генератора, пропорциональный току генератора I_r , проходит через промежуточный трансформатор TL1, выпрямляется

с помощью выпрямителя VD1. Выпрямленный ток I_K – ток компаундирования, подаваемый согласно с током возбуждения I_B в обмотку возбуждения возбудителя LE1, обеспечивает увеличение возбуждения при возрастании тока нагрузки генератора, т.е. поддержание заданного напряжения. Уменьшение тока нагрузки генератора сопровождается уменьшением тока I_K , что предотвращает повышение напряжения.

Необходимая степень компаундирования генератора достигается соответствующим подбором коэффициента трансформации промежуточного трансформатора TL1 и сопротивления R установочного реостата RR1. Трансформатор TL1 служит, кроме того, для разделения цепей постоянного и переменного тока, а установочный реостат RR1 – для создания оптимальных условий для работы трансформаторов тока ТА. Внешняя характеристика генератора $U_r = f(I_r)$, не имеющего АРВ, представляет собой прямую линию AC, наклонную к оси абсцисс (рис. 9.2).

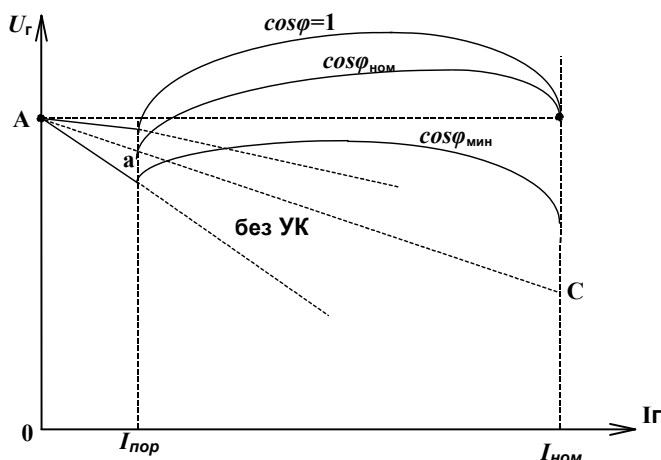


Рис. 9.2. Внешние характеристики компаундированного генератора

При наличии компаундирования большему току нагрузки статора соответствует большая ЭДС генератора за счет подпитки током компаундирования I_K обмотки возбуждения. Внешняя характеристика компаундированного генератора находится выше линии AC (рис. 9.2) в значительном диапазоне токов I_r .

Особенностью компаундирования является то, что напряжение на выводах компаундированного генератора изменяется с изменением фазы тока статора. При уменьшении $\cos\varphi$ и неизменном по модулю токе I_r напряжение снижается, а при возрастании $\cos\varphi$ – напряжение увеличивается. Внешние характеристики компаундированного генератора для разных значений $\cos\varphi$ представлены на рис. 9.2. При холостом ходе и малых токах нагрузки генератора вторичное напряжение на трансформаторе TL1 становится меньше напряжения на обмотке возбуждения возбудителя LE1, поэтому выпрямитель VD1 запирается и ток компаундирования I_K не поступает в обмотку возбуждения возбудителя. Это явление называется порогом компаундирования (точка а, рис. 9.2). Этот недостаток будет отсутствовать, если ток I_K подается в дополнительную обмотку возбуждения возбудителя.

Для более точного поддержания напряжения генератора устройство компаундирования дополняется электромагнитным корректором напряжения.

Электромагнитный корректор напряжения. Коррекция напряжения состоит в том, что помимо тока компаундирования I_K , идущего от устройства компаундирования, в создании общего магнитного потока возбуждения возбудителя участвует ток корректора $I_{корр}$, зависящий от напряжения генератора U_r . Снижение U_r ведет к возрастанию тока корректора $I_{корр}$, а возрастание U_r – к снижению $I_{корр}$. Устройство, реагирующее на отклонение напряжения U_r от заданной величины, называется корректором.

В изучаемом устройстве АРВ типа ЭПА-305 применен электромагнитный корректор напряжения, подающий ток $I_{корр}$ в дополнительную обмотку возбуждения возбудителя LE2 согласно с током I_K . Этот корректор – односистемный, согласного включения, регулирующий напряжение генератора при снижении его относительно заданного $U_{уст}$, (см. рис. 9.1).

Питание электромагнитного корректора осуществляется от группы однофазных трансформаторов напряжения TV, первичные обмотки которых соединены в треугольник, а вторичные – в звезду для увеличения отдаваемой мощности. К вторичным обмоткам TV подключен установочный автотрансформатор T1, при помощи которого устанавливается уровень напряжения, поддерживаемый в процессе регулирования.

Электромагнитный корректор напряжения содержит:

– *измерительный орган* – датчик отклонения напряжения от заданного значения;

– *силовой орган* – усиливает сигнал измерительного органа и подает выходной сигнал $I_{\text{корр}}$ – в дополнительную обмотку возбуждения возбудителя LE2.

Измерительный орган состоит из насыщающегося трансформатора TL2, выпрямителей VD4 и VD5 и регулируемого резистора RR2.

Принцип действия измерительного органа основан на сравнении токов двух элементов с линейной и нелинейной характеристиками.

Основным элементом измерительного органа является трехфазный насыщающийся трансформатор TL2. Напряжение на выходе выпрямителя VD4 (выход линейного элемента) пропорционально вторичному напряжению трансформатора TL2, следовательно, пропорционально напряжению генератора (прямая 1 на рис. 9.3). Напряжение на выходе выпрямителя VD5 пропорционально току в первичной обмотке трансформатора TL2 и нелинейно зависит от напряжения генератора (кривая 2, рис. 9.3). Нелинейность возрастает при насыщении сердечника TL2, когда напряжение генератора соответствует заданному ($U_{\text{уст}}$). Разность этих напряжений определяет ток выхода (I_y) измерительного органа.

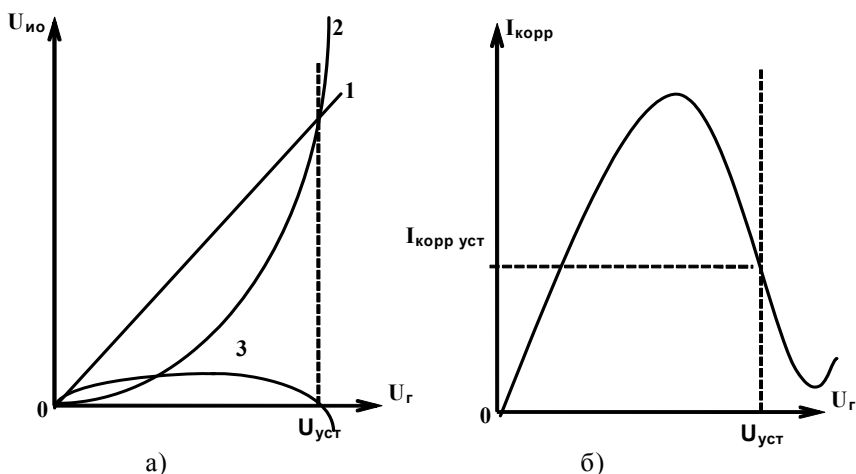


Рис. 9.3. а) выходные характеристики измерительного органа (3), линейного элемента (1) и нелинейного элемента (2); б) выходная характеристика согласованного электромагнитного корректора напряжения

Силовой орган состоит из магнитного усилителя А и трансформатора ТЛ3. Связь силового органа с измерительным осуществляется при помощи магнитного усилителя А, имеющего внутреннюю положительную обратную связь по переменному току выхода, если ток управления отсутствует ($I_y = 0$), то его ток выхода максимален. Поэтому введена внешняя обратная связь по току корректора $I_{корр}$, противодействующая внутренней, т.е. при $I_y = 0$ ток выхода $I_{вых}$ магнитного усилителя А относительно мал. С увеличением положительного тока управления ($+I_y$) ток выхода магнитного усилителя резко возрастает.

Если напряжение генератора U_G становится меньше заданного $U_{уст}$ ($U_G < U_{уст}$), то напряжение линейного элемента будет больше напряжения нелинейного элемента (см. рис. 9.3), ток выхода измерительного органа или ток в обмотке управления магнитного усилителя А (I_y) увеличивается, возрастает ток выхода магнитного усилителя. Ток выхода магнитного усилителя трансформируется промежуточным трансформатором ТЛ3, выпрямляется мостовой схемой выпрямителя VD3, и ток корректора $I_{корр}$ подается в дополнительную обмотку возбуждения возбудителя LE2. $I_{корр}$ увеличивает возбуждение возбудителя и напряжение генератора (см. рис. 9.3). При повышении напряжения генератора $U_G > U_{уст}$ напряжение нелинейного элемента больше напряжения линейного элемента, выпрямитель VD4 закрывается, ток выхода измерительного органа I_y – минимален. Ток выхода магнитного усилителя уменьшается за счет включения части первичной обмотки трансформатора ТЛ3 встречно с основной обмоткой ТЛ3. Эта часть первичной обмотки трансформатора ТЛ3 включена последовательно с быстронасыщающимся дросселем L. Дроссель L при возрастании напряжения насыщается – ток в компенсирующей части обмотки ТЛ3 увеличивается, и вторичный ток трансформатора ТЛ3 не возрастает, а следовательно, и ток корректора $I_{корр}$ стремится к нулю, устраняя подъем напряжения на выводах генератора (см. рис. 9.3).

9.2. Содержание и порядок выполнения работы

1. Ознакомьтесь с устройством АРВ типа ЭПА-305. Принципиальная схема представлена на рис. 9.1.

2. Изучить принцип действия компаундирования и электромагнитного корректора.

3. Снять характеристику компаундирования $I_k = f(I_r)$. Для снятия характеристики собрать схему по рис. 9.4. В лабораторной установке изменение тока статора генератора I_r создается при помощи автотрансформатора Т, подключаемого к первичной обмотке трансформатора ТЛ1 (зажимы 5, 7, 9). С изменением I_r изменяется ток компаундирования I_k в обмотке возбуждения возбудителя LE1 (на стенде обмотка возбуждения возбудителя LE1 представлена реостатом RR_{LE1} , имеющим сопротивление 15-20 Ом). Данные занести в табл. 9.1.

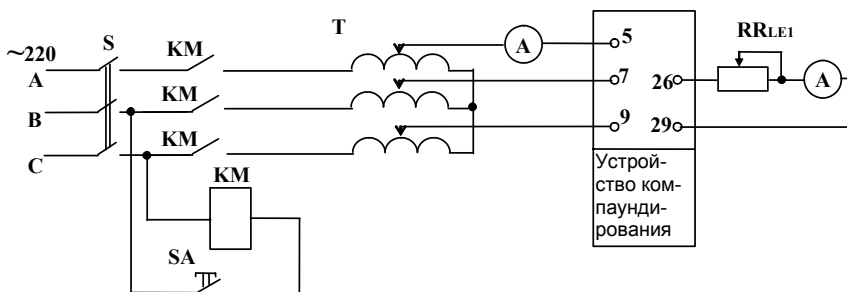


Рис. 9.4. Схема испытания устройства компаундирования

Таблица 9.1

I_r (A)	0	1	2	3	4	5
I_k (A)						

4. Снять выходную характеристику электромагнитного корректора $I_{корр} = f(U_r)$ и характеристики линейного и нелинейного элементов измерительного органа $U_{VD4} = f(U_r)$ и $U_{VDS} = f(U_r)$. Для снятия характеристик собрать схему по рис. 9.5. Напряжение, соответствующее напряжению генератора, подается на вход трансформатора ТЛ2 (зажимы 47, 48, 49) от лабораторного автотрансформатора Т2. Ток корректора $I_{корр}$ определяется в цепи дополнительной обмотки возбуждения возбудителя LE2 (на стенде обмотка возбуждения возбудителя LE2 представлена реостатом RR_{LE2} , имеющим со-

противление 15-20 Ом). Для снятия характеристики линейного элемента вольтметр подключается к зажимам 73-59, а нелинейного – к зажимам 59-56. Данные занести в табл. 9.2.

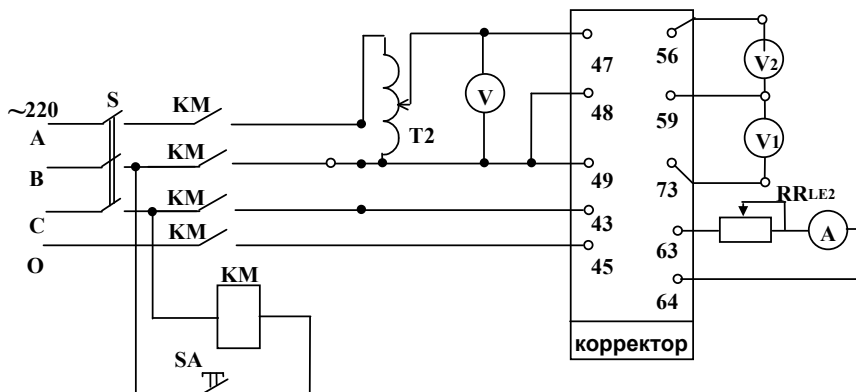


Рис. 9.5. Схема испытания электромагнитного корректора напряжения

Таблица 9.2

$U_{Г}$ (V) (V)	0	50	60	70	80	90	100	120	130	140	150
$I_{корр}$ (A)											
U_{VD4} (V)											
U_{VD5} (V)											
U_{uo} (V)											

5. Построить зависимость напряжения на выходе измерительного органа от напряжения генератора $U_{uo} = f(U_{Г})$. Вычислить для каждого значения $U_{Г}$ расчетные значения U_{uo} в соответствии с выражением $U_{VD4} - U_{VD5} = U_{uo}$. Данные занести в табл. 9.2.

Зажимы выведены на панели устройства ЭПА-305.

9.3. Содержание отчета

1. Схема устройства компаундирования с электромагнитным корректором (см. рис. 9.1).
2. Таблицы результатов измерений и расчетов.

3. Экспериментальные и расчетные характеристики: $I_k = f(U_T)$; $I_{кopp} = f(U_T)$; $U_{VD4} = f(U_T)$; $U_{VD5} = f(U_T)$; $U_{uo} = f(U_T)$.

9.4. Контрольные вопросы

1. По каким параметрам производится регулирование в устройстве компаундирования и в электромагнитном корректоре?

2. Почему устройство компаундирования без электромагнитного корректора не обеспечивает постоянства напряжения на выводах генератора?

3. Каков принцип действия измерительного органа корректора?

4. Поясните принцип действия силового органа корректора.

5. Поясните работу компаундирования и корректора при напряжении генератора, равного заданному.

Лабораторная работа №10

РЕЛЕ СТАТИЧЕСКОЕ МОЩНОСТИ СЕРИИ РСМ 13

Цель работы

Реле статическое мощности серии РСМ 13 относится к реле, имеющим на входе две электрические величины (ток и напряжение), и реагирует на величину и направление активной мощности. Реле используется в устройствах автоматики, контролирующих величину активной мощности, протекающей по отдельным элементам электрических систем. Целью данной работы является изучение принципа действия и конструкции статического реле мощности серии РСМ 13.

10.1. Краткие теоретические сведения

10.1.1. Принцип действия реле. Обобщенная функциональная схема статического реле мощности (РМ) приведена на рис. 10.1.

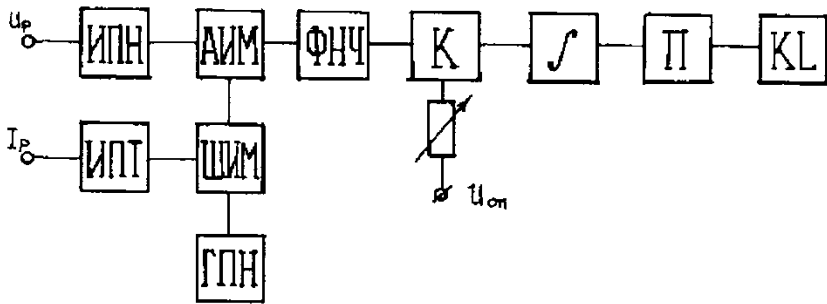


Рис. 10.1

В схеме приняты следующие обозначения:

U_p – напряжение, подаваемое на реле;

I_p – ток, подводимый к реле;

ИПН, ИПТ – соответственно измерительные преобразователи напряжения и тока, имеющие на выходах напряжения, пропорциональные величинам тока и напряжения, подводимых к реле;

ГПН – генератор пилообразного напряжения;

ШИМ – широтно-импульсный модулятор;

АИМ – амплитудно-импульсный модулятор;

ФНЧ – фильтр низких частот;

К – компаратор;

\int – интегратор;

П – пороговый элемент;

KL – выходное реле;

$U_{оп}$ – опорное напряжение компаратора.

Генератор пилообразного напряжения (ГПН), широтно-импульсный модулятор (ШИМ), амплитудно-импульсный модулятор (АИМ) и фильтр низких частот (ФНЧ) образуют времяимпульсный умножитель аналоговых сигналов. Временная диаграмма напряжений времяимпульсного умножителя и измерительных преобразователей тока и напряжения приведена на рис. 10.2.

Напряжение с выхода измерительного преобразователя тока подается на вход широтно-импульсного модулятора (кривая 1, рис. 10.2). Широтно-импульсный модулятор представляет собой компаратор, опорным напряжением которого является пилообразное напряжение

(ломаная 3, рис. 10.2), получаемое на выходе генератора пилообразного напряжения. Компаратор скачкообразно изменяет величину и знак выходного напряжения при изменении знака суммы входного и опорного напряжений (т.е. при переходе через "ноль" входного и опорного напряжений).

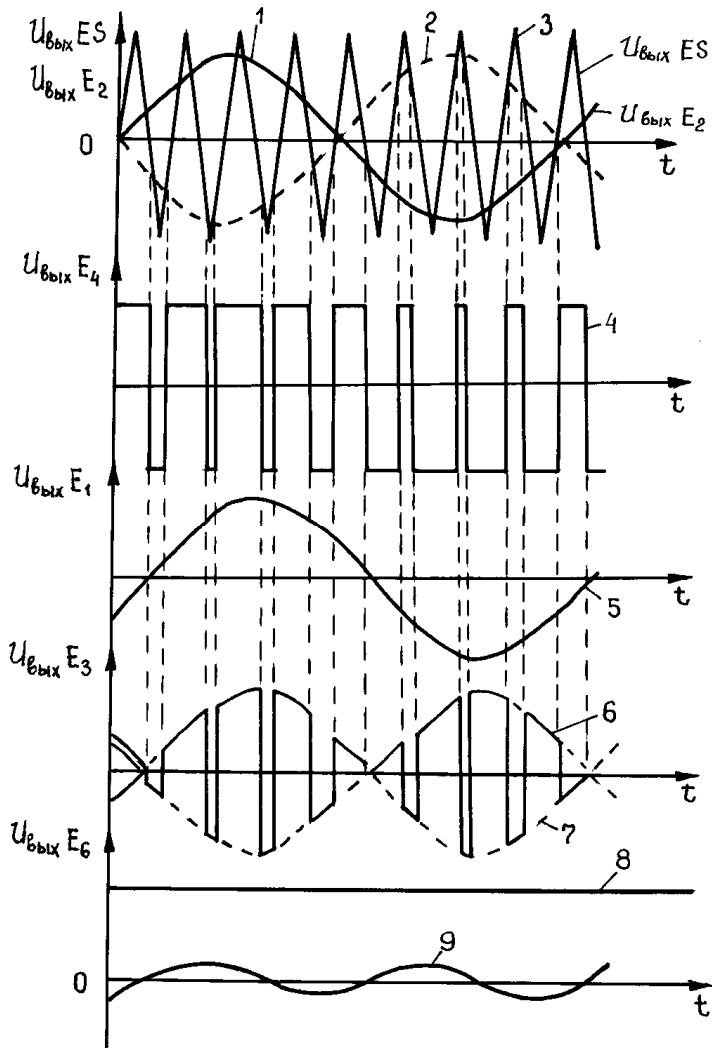


Рис. 10.2

В результате на выходе ШИМ появляются прямоугольные импульсы, длительность которых пропорциональна мгновенному значению тока, подводимого к реле (ломаная 4, рис. 10.2).

Напряжение с выхода измерительного преобразователя напряжения (кривая 5, рис. 10.2) подается на вход амплитудно-импульсного модулятора. На второй вход амплитудно-импульсного модулятора поступает напряжение с выхода широтно-импульсного модулятора. На выходе амплитудно-импульсного модулятора формируется импульсное напряжение (кривая 6, рис. 10.2), длительность которого пропорциональна мгновенному значению тока реле, а амплитуда – мгновенному напряжению реле.

Постоянная составляющая выходного напряжения АИМ пропорциональна величине активной мощности на зажимах реле. При совпадении векторов тока и напряжения, подводимых к реле, постоянная составляющая выходного напряжения АИМ больше нуля; а при сдвиге фаз между этими векторами на угол, равный 90 градусов, – равна нулю. При сдвиге фаз векторов тока и напряжения, подводимых к реле, на угол, больший 90 градусов, постоянная составляющая выходного напряжения АИМ меньше нуля. Этим обеспечивается реагирование реле на активную составляющую полной мощности, подводимой к реле.

Постоянная составляющая выходного напряжения АИМ выделяется и инвертируется (изменяется знак) фильтром низких частот ФНЧ. Выходное напряжение фильтра низких частот кроме постоянной составляющей содержит переменную составляющую, которая изменяется с двойной промышленной частотой (кривая 9, рис. 10.2).

Компаратор К (см. рис. 10.1) сравнивает выходное напряжение ФНЧ с положительным постоянным опорным напряжением. При приближении величины активной мощности на зажимах реле к заданной уставке реле постоянная составляющая выходного напряжения фильтра низких частот приближается по величине к опорному напряжению компаратора. На выходе компаратора появляются отрицательные прямоугольные импульсы, обусловленные переменной составляющей выходного напряжения ФНЧ. Длительность отрицательных импульсов на выходе компаратора меньше длительности пауз между ними. В момент равенства активной мощности на зажимах реле заданной уставке величина постоянной составляющей напряжения на выходе ФНЧ равна по модулю опорному напряжению компа-

ратора и длительность отрицательных импульсов равна длительности пауз между ними, что соответствует условию срабатывания реле.

Соотношение между длительностью отрицательных импульсов и пауз между ними контролируется с помощью интегратора. При равенстве длительности отрицательных импульсов паузам между ними напряжение на выходе интегратора меняет свою полярность и становится положительным. При этом на выходе порогового элемента П (см. рис. 10.1) появляется сигнал, разрешающий срабатывание промежуточного реле KL. Реле мощности срабатывает.

10.1.2. Описание работы схемы реле. Схема статического реле мощности представлена на рис. 10.3. Измерительный преобразователь тока (ИПТ) выполнен в виде промежуточного трансформатора ТА1, нагрузкой которого является резистор R3. Генератор пилообразного напряжения выполнен на операционных усилителях (ОУ) А4, А6; резисторах R14 - R17, R19, R20, R23, R29; конденсаторе С2 и стабилитроне VD5.

Широтно-импульсный модулятор (ШИМ) выполнен на операционном усилителе А2, включенном по схеме одноходового компаратора, и резисторах R6, R7, R9. Подстроечным резистором R6 регулируется глубина модуляции ШИМ.

На суммирующую точку усилителя А2 через резисторы R6 и R7 подается выходное напряжение ИПТ (падение напряжения на резисторе R3), а через резистор R9 – пилообразное напряжение (выход ОУ А6). На выходе ОУ А2 формируются промежуточные импульсы, длительность которых пропорциональна мгновенному значению тока реле.

Измерительный преобразователь напряжения (ИПН) выполнен в виде промежуточного трансформатора напряжения TV1. Напряжение вторичной обмотки трансформатора TV1, пропорциональное входному напряжению реле, поступает на вход фазовращающей схемы, выполненной на ОУ А1, резисторах R2, R4, R5 и R8, конденсаторах С3 и С4. Диоды VD3 и VD4 служат для защиты ОУ А1 при отсутствии напряжения питания постоянного тока и при возможных импульсных перенапряжениях на входе ИПН. Подстроечный резистор R2 позволяет производить подстройку угла максимальной чувствительности реле в пределах 10 градусов, что необходимо для компенсации угловых погрешностей трансформаторов ТА1 и TV1.

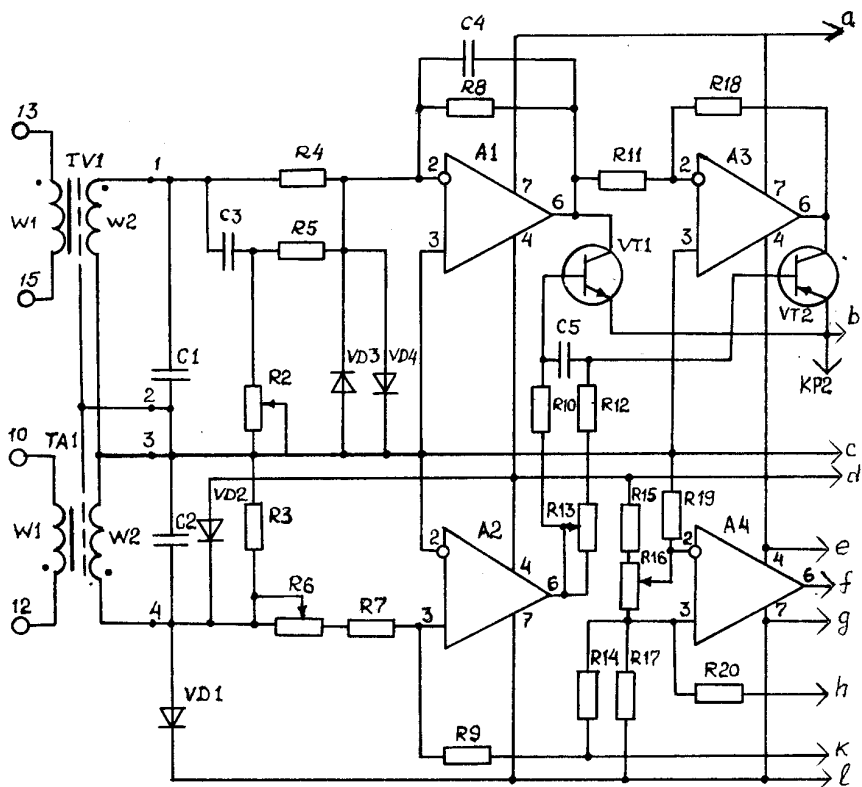


Рис. 10.3. Схема реле

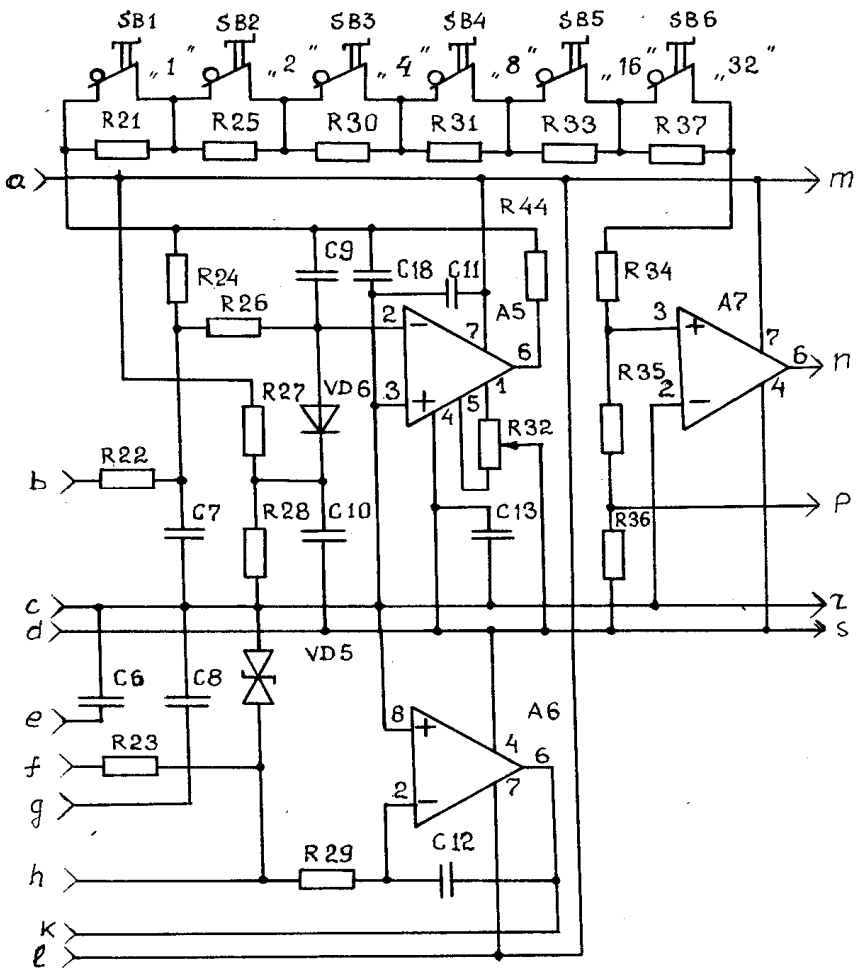


Рис. 10.3. (продолжение). Схема реле

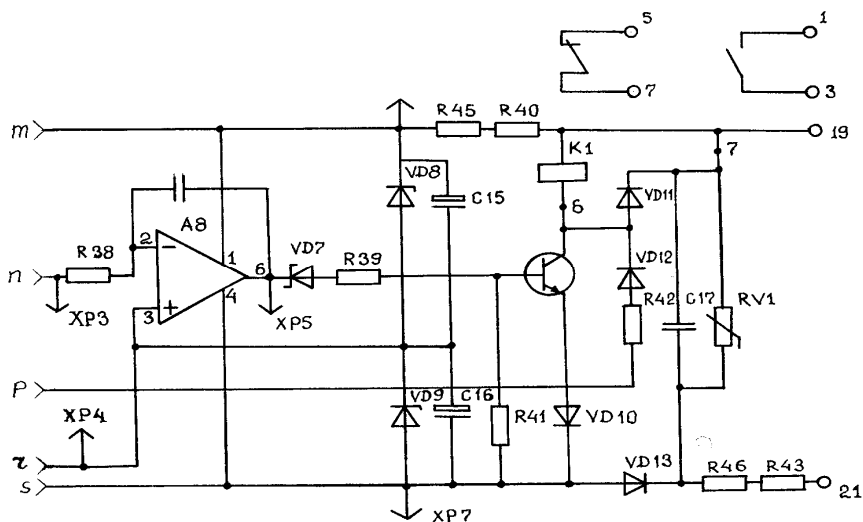


Рис. 10.3. (окончание). Схема реле

При изменении угла между векторами тока и напряжения, подводимых к реле, от 0 до 90 градусов соотношение между площадями, охваченными положительными и отрицательными импульсами, изменится и при угле 90 градусов площади, охваченные положительными и отрицательными импульсами, становятся равными. При этом постоянная составляющая напряжения на выходе АИМ будет равна нулю.

При величине угла между векторами тока и напряжения, подводимых к реле, большей 90 градусов, площадь, охваченная положительными импульсами, становится меньше площади, охваченной отрицательными импульсами, и постоянная составляющая напряжения на выходе АИМ становится отрицательной.

Такое изменение постоянной составляющей напряжения на выходе АИМ при изменении угла между векторами тока и напряжения, подводимых к реле, обеспечивает реагирование реле на активную составляющую мощности на зажимах реле.

Фильтр низких частот (ФНЧ) представляет собой активный фильтр с многоконтурной обратной связью и включает в себя ОУ А5, резисторы R22, R24, R26 и конденсаторы C7 и C9. Выходной сигнал ФНЧ состоит из постоянной и переменной составляющих,

причем соотношение между ними зависит от угла между векторами тока и напряжения, подводимых к реле. Необходимо отметить, что в качестве суммирующей точки используется инвертирующий вход ОУ А5 и по этой причине положительному значению постоянной составляющей на входе АИМ будет соответствовать отрицательное напряжение на выходе ФНЧ.

Измерительная часть представляет собой последовательно включенные одноходовый компаратор, интегратор и пороговый элемент. Компаратор, сравнивающий выходной сигнал ФНЧ с заданным порогом напряжения, выполнен на ОУ А7, резисторах R21, R25, R30, R31, R33 - R37. Чувствительность компаратора, определяющая уставку реле, изменяется с помощью переключателей SB1 - SB6. На вход компаратора подаются положительное опорное напряжение (для реле максимального действия) и выходное напряжение ФНЧ. Описание работы при изменении величины активной мощности, подводимой к реле, дано в п. 10.1.1.

Интегратор, контролирующий длительность отрицательных импульсов и пауз между ними выходного напряжения компаратора, состоит из ОУ А8, резистора R38 и конденсатора С14. Суммирующая точка интегратора подключена к инвертирующему входу ОУ А8.

Пороговый элемент П выполнен на транзисторе VT3, резисторах R39 и R41, диоде VD10 и стабилитроне VD7.

При величине активной составляющей мощности на зажимах реле, меньшей уставки реле, напряжение на выходе компаратора (ОУ А7) определяется опорным напряжением компаратора и имеет положительное значение. Напряжение на выходе интегратора (ОУ А8) отрицательно, и, следовательно, транзистор VT3 заперт, и обмотка выходного промежуточного реле KL обесточена.

При величине активной составляющей мощности на зажимах реле, равной или большей уставки реле, длительность отрицательных импульсов выходного напряжения компаратора равна или больше длительности пауз между ними. На выходе интегратора появляется положительное напряжение, транзистор VT3 отпирается, и через обмотку выходного промежуточного реле KL протекает ток. Реле KL срабатывает. Контакты реле KL являются выходными контактами реле мощности, и срабатывание реле KL соответствует срабатыванию реле.

Цепь, состоящая из диода VD12 и резистора R42, предназначена для получения необходимого коэффициента возврата. При помощи этой цепи изменяется величина опорного напряжения компаратора после срабатывания порогового элемента.

Цепь, состоящая из резисторов R27 и R28, диода VD6 и конденсатора C10, предназначена для предотвращения ложной работы реле при подаче и перерывах напряжения питания. При подаче напряжения питания происходит заряд конденсатора C10 и напряжение отрицательной полярности, близкое по величине напряжению питания, подается на инвертирующий вход ОУ А5. Этим блокируется срабатывание выходного реле KL. По мере заряда конденсатора C10 напряжение на катоде диода VD6 становится положительным, диод VD6 закрывается и исключает влияние этой цепи на работу фильтра низших частот.

10.1.3. Определение и установка уставки срабатывания реле мощности. Уставки срабатывания реле мощности определяются и устанавливаются следующим образом. Расчетным путем определяются переключатели, которые должны быть в выступающем положении исходя из следующей формулы:

$$P_{уст} = 2 \cdot I_{ном} \cdot (1 + N), \quad (10.1)$$

где $P_{уст}$ – уставка по мощности срабатывания;

$I_{ном}$ – номинальный ток реле (5 А);

N – сумма чисел на шкале уставок, рядом с которыми переключатели установлены в выступающем положении.

Так как уставка по мощности является задаваемой величиной, то сумма чисел которую необходимо набрать переключателями, установленными в выступающем положении, может быть определена исходя из выражения (10.1):

$$N = P_{уст} / (2 \cdot I_{ном}) - 1. \quad (10.2)$$

По определенной при помощи выражения (10.2) сумме чисел подбираются соответствующие переключатели, которые должны находиться в выступающем положении.

10.2. Описание лабораторного стенда

На лабораторном стенде смонтировано статическое реле мощности серии РСМ-13. На лицевую панель стенда выведены клеммы для подачи на реле напряжения U_p , тока I_p , постоянного напряжения 220 В для питания реле. К клеммам ХР2, ХР1, ХР3, ХР5 лицевой панели стенда подведены напряжения, полученные соответственно на выходе усилителей А3, А5, А7, А8. Кроме того, на лицевой панели установлены кнопочные переключатели, дублирующие переключатели SB1 - SB6 реле мощности.

10.3. Содержание и порядок выполнения работы

10.3.1. Изучить принцип работы и схему реле мощности.

10.3.2. Собрать схему для испытания реле, приведенную на рис. 10.4. При сборке схемы необходимо соблюдать полярность подключения обмоток измерительного трансформатора тока и приборов, указанных в схеме.

10.3.3. Определить угол максимальной чувствительности реле. Для этого установить напряжение на входе реле 100 В и ток в реле, равный номинальному току реле. Установить мощность срабатывания реле, равную 50 Вт (отжата клавиша, соответствующая цифре 4 шкалы уставок). Изменяя фазорегулятором угол между током и напряжением, подводимых к реле, зафиксировать предельные углы срабатывания реле. Затем в зоне срабатывания реле, изменяя фазорегулятором угол с интервалом 5 градусов от одного предельного угла срабатывания до другого предельного угла срабатывания, определить мощность срабатывания реле. Мощность срабатывания реле при установленном угле определяется следующим образом: не меняя величину тока в реле, напряжение, подводимое к реле, увеличивать до момента срабатывания реле. По полученным величинам тока и напряжения срабатывания реле вычисляется мощность срабатывания реле. Угол, при котором мощность срабатывания минимальна, является углом максимальной чувствительности (этот угол соответствует нулевому сдвигу между векторами напряжения и тока, подводимых к реле). Данные занести в табл. 10.1.

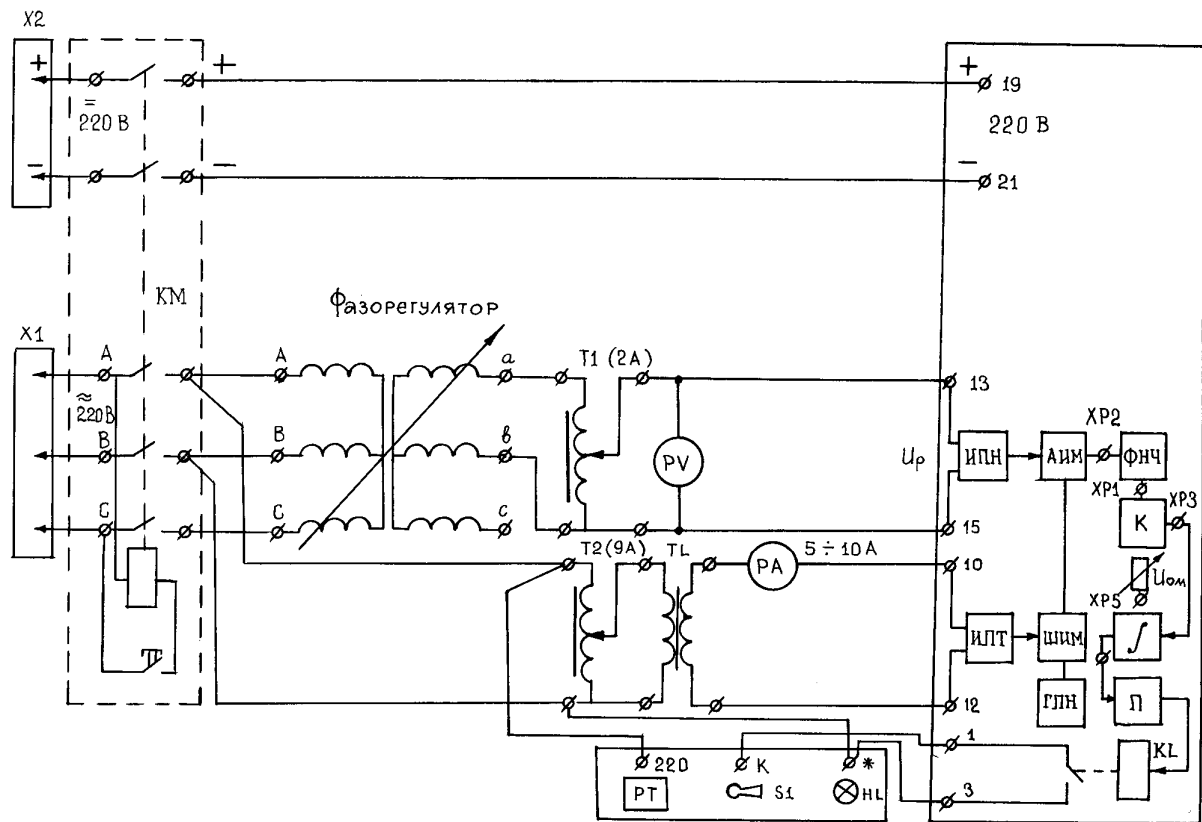


Рис. 10.4. Схема испытаний реле

Таблица 10.1

Ψ_p (град.)									
I_p (А)									
U_{cp} (В)									
S_{cp} (ВА)									

10.3.4. Расчетным путем определить сумму чисел на шкале уставок для реализации уставок по мощности срабатывания реле в пределах от 50 до 500 Вт с интервалом 50 Вт. Результаты расчета занести в табл. 10.2.

Таблица 10.2

$P_{уст}$ (ВА)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
$N_{расч}$										
I_p (А)										
U_{cp} (В)										
P_{cp} (ВА)										

Примечание:

1. Указанные пределы уставок по мощности срабатывания реле и интервал могут быть изменены преподавателем.

2. Набор уставок осуществляется отжатием соответствующих клавиш.

10.3.5. Проверить шкалу уставок реле мощности. Для этого установить фазорегулятором угол максимальной чувствительности реле. Установить ток в реле, равный номинальному току реле. Последовательно изменяя уставки реле, определять напряжение и мощность срабатывания реле. Данные занести в табл. 10.2.

10.3.6. Задав соответствующие значения тока и напряжения, установить на входе реле мощность, равную или большую мощности срабатывания реле. С помощью осциллографа снять осциллограммы напряжения в точках ХР1, ХР2, ХР3 и ХР5.

10.4. Содержание отчета

Схемы (рис. 10.1 и 10.2), результаты испытаний, осциллограммы напряжений.

10.5. Контрольные вопросы

1. В каких устройствах применяется реле мощности?
2. Объясните назначение отдельных блоков, входящих в состав реле (см. рис. 10.1).
3. Каким образом в реле выполняется преобразование входных тока и напряжения в их произведение?
4. Как определяется уставка срабатывания реле мощности?
5. Каким образом в реле мощности выставляется выбранная уставка срабатывания?
6. Какие опыты выполнялись вами при испытании реле?

Л и т е р а т у р а

1. Алексеев О.П. Автоматика электроэнергетических систем / Под ред. В.Л.Козиса и Н.И.Овчаренко. – М.: Энергоиздат, 1981. – 480 с.
2. Правила устройств электроустановок // Защита и автоматика / Под ред. С.Г.Королева. – 5-е изд. – М.: Энергоиздат, 1981. – Разд. 3. – 80 с.
3. Андреев В.А. Релейная защита, автоматика и телемеханика в системах электроснабжения. – М.: Высш. школа, 1985. – С. 391.
4. Беркович М.А., Молчанов В.В., Семенов В.А. Основы техники релейной защиты. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 376 с.
5. Гельфанд Я.С., Голубев М.Л., Царев М.И. Релейная защита и электроавтоматика на переменном оперативном токе. – М.: Энергия, 1973. – 278 с.

Содержание

Введение.....	3
Лабораторная работа № 1. АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ (АПВ)....	3
Лабораторная работа № 2. СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ АПВ И РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ.....	11
Лабораторная работа № 3. ПООЧЕРЕДНОЕ АПВ.....	16
Лабораторная работа № 4. АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ РЕЗЕРВНОГО ТРАНСФОРМАТОРА.....	21
Лабораторная работа № 5. РЕЛЕ ЧАСТОТЫ РЧ-1.....	28
Лабораторная работа № 6. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЧАСТОТНАЯ РАЗГРУЗКА (АЧР).....	37
Лабораторная работа № 7. ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО УСИЛИТЕЛЯ.....	43
Лабораторная работа № 8. ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО УСИЛИТЕЛЯ С ОБРАТНЫМИ СВЯЗЯМИ.....	49
Лабораторная работа № 9. УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ МАШИН.....	54
Лабораторная работа № 10. РЕЛЕ СТАТИЧЕСКОЕ МОЩНОСТИ СЕРИИ РСМ 13.....	62
Литература.....	76

Учебное издание

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ (ПРАКТИКУМ)

по дисциплине «Противоаварийная и режимная автоматика
энергетических систем»
для студентов энергетических специальностей

В 2-х частях

Часть 1

АВТОМАТИКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Составители: БОБКО Николай Николаевич
ГЛИНСКИЙ Евгений Владимирович
РОМАНЮК Федор Алексеевич и др.

Редактор О.Н.Воробьева

Компьютерная верстка Н.А.Школьниковой

Подписано в печать 24.02.2004.

Формат 60x84 1/16. Бумага типографская № 2.

Печать офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 4,4. Уч.-изд. л. 3,5. Тираж 200. Заказ 322.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

Лицензия ЛВ №155 от 30.01.2003. 220013, Минск, проспект Ф.Скорины, 65.