

Купить МУ "Реле направления мощности"

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра электроснабжения горных и промышленных предприятий

РЕЛЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ

Методические указания к лабораторной работе  
по дисциплине «Релейная защита и автоматика СЭС»  
для студентов направления 551700 «Электроэнергетика»

Составитель Б.В.Соколов  
Утверждены на заседании кафедры  
Протокол № 2 от 25.10.00  
Рекомендованы к печати  
методической комиссией  
по направлению 551700  
Протокол № 2 от 29.01.01

Электронная копия находится  
в библиотеке главного корпуса  
КузГТУ

Кемерово 2001

ЦентрМаг

ЦентрМаг

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Кафедра электроснабжения горных и промышленных предприятий

## РЕЛЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ

Методические указания к лабораторной работе  
по дисциплине «Релейная защита и автоматика СЭС»  
для студентов направления 551700 «Электроэнергетика»

Составитель Б.В.Соколов  
Утверждены на заседании кафедры  
Протокол № 2 от 25.10.00  
Рекомендованы к печати  
методической комиссией  
по направлению 551700  
Протокол № 2 от 29.01.01

Электронная копия находится  
в библиотеке главного корпуса  
КузГТУ

Кемерово 2001

## ЦЕЛИ РАБОТЫ:

- Изучение принципа работы и конструкции индукционных реле направления мощности серии РБМ-171, РБМ-177.
- Изучение принципа работы и особенностей реализации реле направления мощности на интегральных микросхемах серии РМ-11, РМ-12.
- Ознакомление с основными параметрами реле направления мощности.
- Получение практических навыков по проверке и регулировке параметров реле направления мощности.

## 1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### 1.1. Индукционные реле направления мощности

Реле направления мощности (РНМ) реагируют на значение и знак мощности  $S$ , подведенной к их зажимам. Они используются в схемах в качестве органа, который по направлению (знаку) мощности, протекающей по защищаемому элементу, определяет место, в котором произошло повреждение – на защищаемом элементе или на других присоединениях, отходящих от шин подстанции (рис. 1,а).

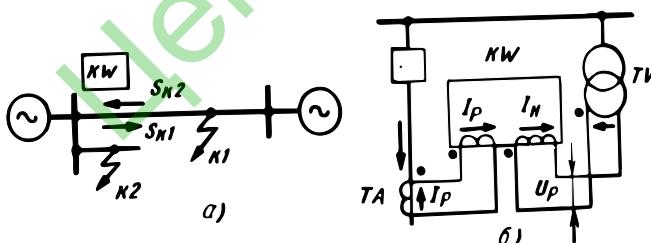


Рис.1. Реле направления мощности:  
а) принцип действия; б) схема включения

В первом случае (при КЗ в точке  $K1$ ) мощность КЗ  $S_{k1}$  направлена от шин в линию и считается положительной. В этом случае РНМ должно срабатывать и замыкать свои контакты. Во втором случае (при КЗ в точке  $K2$ ) мощность КЗ  $S_{k2}$  направлена от линии в шину. В этом случае реле

РНМ не должно срабатывать.

### 1.1.1. Конструкция и принцип действия индукционных реле направления мощности

Реле направления мощности индукционного типа имеет два измерительных органа: измерительный орган тока (ИОТ) и измерительный орган напряжения (ИОН).

Оно имеет две обмотки: одна питается напряжением  $U_p$ , а другая – током  $I_p$  (рис. 1, б). Взаимодействие токов, проходящих по обмоткам такого реле, создает электромагнитный момент, значение и знак которого зависят от напряжения  $U_p$ , тока  $I_p$  и угла сдвига  $\Phi_p$  между ними.

Реле направления мощности (в отличие от индукционных реле тока) выполняются мгновенными. Время их действия должно быть минимальным и практически составляет величину 0,04 с.

Индукционные реле мощности выполняются с подвижной системой в виде цилиндрического ротора (рис.2,а). Они имеют замкнутый четырехполюсный магнитопровод 1 с выступающими внутрь полюсами. Между полюсами установлен стальной цилиндр (сердечник) 2, предназначенный для повышения магнитной проницаемости междуполюсного пространства. Алюминиевый цилиндр (ротор) 3 может поворачиваться в зазоре между стальным сердечником и полюсами. При повороте ротора 3 происходит замыкание контактов реле 6.

Для возврата ротора и контактов в исходное положение предусматривается противодействующая пружина 7 (рис.2, б). Обмотка напряжения 4 питается напряжением  $U_p = U_C / K_U$ , а обмотка тока 5 – током  $I_p = I_C / K_I$ , где  $U_C$  и  $I_C$  - напряжение и ток первичной сети (зашитаемого элемента),  $K_U, K_I$  - коэффициенты трансформации измерительного трансформатора напряжения и измерительного трансформатора тока соответственно. Ток  $I_H = U_p / Z_H$ , проходящий по обмотке напряжения 4, создает магнитный (поляризующий) поток напряжения  $\Phi_H$ . Ток  $I_p$ , проходящий по обмотке тока 5, создает магнитный (рабочий) поток  $\Phi_T$ .

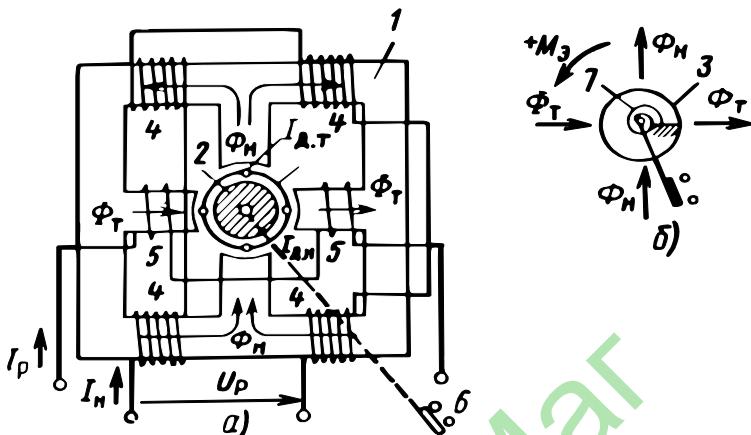


Рис.2. Реле направления мощности:

а – с цилиндрическим ротором;

б – ротор реле и направление положительного момента  $M_3$

На рис. 3 изображена векторная диаграмма токов (потоков) индукционного реле. За исходный для ее построения принят вектор напряжения  $U_p$ . Ток  $I_H$  сдвинут (отстает) по фазе относительно напряжения  $U_p$  на угол  $\alpha$ , а ток  $I_p$  – на угол сдвига по фазе  $\varphi_p$ .

Угол  $\alpha$  определяется соотношением между индуктивным и активным сопротивлениями обмотки 4, питаемой напряжением. Он называется углом внутреннего сдвига реле и зависит от параметров сети и фаз, подведенных к реле  $U_C$  и  $I_C$ .

Магнитные потоки  $\Phi_H$  и  $\Phi_T$  изображены на диаграмме совпадающими с создающими их токами  $I_H$  и  $I_p$ .

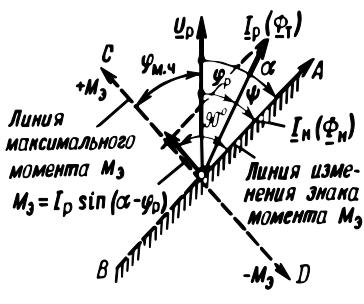


Рис.3. Векторная диаграмма реле мощности

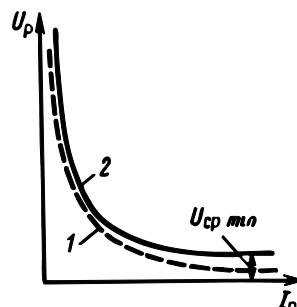


Рис.4. Характеристики чувствительности реле мощности:  
1- теоретическая;  
2- действительная

Из векторной диаграммы следует, что потоки  $\dot{\Phi}_H$  и  $\dot{\Phi}_T$ , а также токи  $I_H$  и  $I_p$  сдвинуты по фазе на угол  $\psi \equiv \alpha - \varphi_p$ , электромагнитный момент вращения  $M_3$  равен:  $M_3 = k \dot{\Phi}_H \dot{\Phi}_T \sin \psi$ , где  $k$  — коэффициент пропорциональности.

Выражая  $\dot{\Phi}_H$  и  $\dot{\Phi}_T$  через создающие их ток и напряжение, получим

$$M_3 = k_1 U_P I_p \sin(\alpha - \varphi_p) = k_1 S_P, \quad (1)$$

где  $S_P = U_P I_p \sin(\alpha - \varphi_p)$  — мощность, подведенная к реле.

Анализируя выражение (1), можно сделать следующие выводы:

- электромагнитный момент (вращения) реле пропорционален мощности на его зажимах;
- знак электромагнитного момента реле определяется знаком сомножителя  $\sin(\alpha - \varphi_p)$  и зависит от значения  $\varphi_P$  и угла внутреннего сдвига  $\alpha$ . Это иллюстрируется рис. 3, где зона отрицательных моментов заштрихована. Незаштрихованная часть диаграммы соответствует области положительных моментов (где  $\dot{\Phi}_T$  опережает  $\dot{\Phi}_H$ ), а  $\varphi_P$  и его синус имеют

ют положительный знак.

Линия АВ называется *линией изменения знака момента*. Она всегда расположена под углом  $\alpha$  к вектору  $\dot{U}_p$ , т. е. совпадает с направлением векторов  $\dot{I}_H$  и  $\dot{\Phi}_H$ .

Линия СД (перпендикулярная линии АВ) называется *линией максимальных моментов*. Электромагнитный момент  $M_\vartheta$  достигает максимума при  $\alpha - \varphi_p = 90^\circ$ , т. е. когда  $\dot{I}_p$  опережает  $\dot{I}_H$  на  $90^\circ$ . Угол  $\varphi_p$ , при котором  $M_\vartheta$  достигает максимального значения, называется *углом максимальной чувствительности*  $\varphi_{mc}$ . Он образуется линией максимальных моментов и вектором подведенного к реле напряжения (зависит от величины угла внутреннего сдвига  $\alpha$ ).

Реле не действует, если в нем отсутствует напряжение или ток, а также если  $\sin(\alpha - \varphi_p) = 0$ . Последнее условие имеет место при  $\varphi_p = \alpha$  или  $\varphi_p = \alpha + 180^\circ$ .

Таким образом, выражение (1) и рис. 3 показывают, что реле рассматриваемой конструкции реагирует на знак мощности  $S_k$  или, иными словами, – на угол сдвига  $\varphi_p$  между напряжением  $\dot{U}_p$  и током  $\dot{I}_p$ .

### 1.1.2. Основные характеристики индукционного реле направления мощности

Минимальная подведенная к реле мощность, при которой оно срабатывает (замыкает свои контакты), называется мощностью срабатывания реле  $S_{cp}$ . Зависимость мощности срабатывания реле от тока  $\dot{I}_p$  и угла  $\varphi_p$  принято оценивать характеристикой чувствительности и угловой характеристикой.

*Характеристика чувствительности* представляет собой зависимость  $U_{cp} = f(I_p)$  при неизменном  $\varphi_p$  (рис. 4).  $U_{cp\ min}$  – наименьшее напряжение, необходимое для действия реле (при данных значениях  $\dot{I}_p$  и  $\varphi_p$ ). Обычно эта характеристика снимается при  $\varphi_p$ , равном углу макси-

мальной чувствительности, т. е. для случая, когда  $\sin(\alpha - \varphi_p) = 1$ .

Угловая характеристика представляет собой зависимость  $U_{cp} = f(\varphi_p)$  при неизменном значении  $I_p$ . На рис. 5 она показана для реле смешанного типа с  $\alpha = +45^\circ$ .

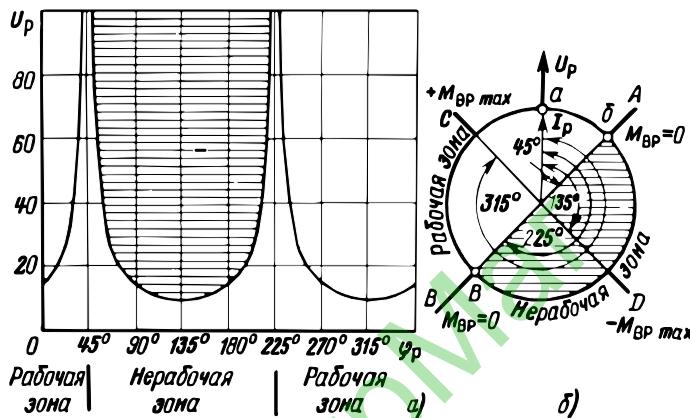


Рис. 5. Угловая характеристика реле мощности при  $\alpha = 45^\circ$

Угловая характеристика позволяет определить:

- изменение чувствительности реле (характеризуемое величиной  $U_{cp}$ ) при разных значениях угла  $\varphi_p$ ;
- минимальное значение напряжения  $U_{cp\ min}$  и наиболее выгодную зону углов  $\varphi_p$ , в пределах которой  $U_{cp}$  близко к  $U_{cp\ min}$ ;
- при каких углах  $\varphi_p$  меняется знак электромагнитного момента и пределы углов  $\varphi_p$ , которым соответствуют положительные и отрицательные моменты.

Знак электромагнитного момента реле зависит от относительного направления токов  $I_p$  и  $I_h$  в его обмотках. Принято изготавливать РНМ так, чтобы реле замыкало свои контакты при одинаковом направлении токов в обмотках напряжения и тока. Однаковым называется направле-

ние тока в обеих обмотках от начала к концу обмотки или наоборот. При изготовлении реле указывают однополярные зажимы обмоток, отмечая их начало условным знаком (точкой).

Реле РНМ подключается к трансформатору тока (токовая обмотка) и к трансформатору напряжения (обмотка напряжения) с учетом полярности обмоток так, чтобы при КЗ в защищаемом объекте оно замыкало свои контакты (срабатывало).

Самоходом РНМ называют срабатывание его при прохождении тока только в одной его обмотке – токовой или напряжения. Реле, имеющее самоход от тока, может неправильно срабатывать при обратном направлении мощности, когда повреждение возникает в непосредственной близости от реле в зоне его недействия, в результате чего напряжение на его зажимах будет равно нулю.

Причиной самохода обычно является несимметрия магнитных систем реле относительно цилиндрического ротора. Для устранения самохода на стальном сердечнике 2 (рис. 2, а) предусмотрен срез. Изменяя положения сердечника, можно компенсировать неравномерность потоков в воздушном зазоре.

### 1.1.3. Индукционные реле мощности типа РБМ

В настоящее время находят широкое применение быстродействующие реле направления мощности типа РБМ-170. Их конструктивное выполнение соответствует варианту, показанному на рис. 6.

Электромагнитный момент реле выражается уравнением

$$\begin{aligned} M_3 &= k U_P I_P \sin(\alpha - \varphi_p) = k U_P I_P \cos(\varphi_p + \beta) = \\ &= k U_P I_P \cos(\varphi_p + \varphi_{m\eta}), \end{aligned}$$

где  $\beta = 90^\circ - \alpha$ .

Имеются два основных варианта исполнения реле этой серии: РБМ-171 и РБМ-271. Они обычно используются для включения на фазный ток и междуфазное напряжение. Угол максимальной чувствительности у этих реле может изменяться и имеет два значения:  $\varphi_{m\eta} = -45^\circ$  и  $\varphi_{m\eta} = -30^\circ$ .

Реле РБМ-178, РБМ-278 и РБМ-177, РБМ-277 включаются на ток и напряжение нулевой последовательности. Угол их максимальной чувствительности  $\varphi_{m\eta} = +70^\circ$ . Для реле РБМ-178 и РБМ-278  $S_{cp} = 0,2 \dots 4$  ВА, для

реле РБМ-177 и РБМ-277  $S_{cp}=0,6...3$  ВА.

Реле РБМ-271, РБМ-277, РБМ-278 – двустороннего действия и имеют два замыкающих контакта.

Индукционные РНМ в настоящее время сняты с производства. Однако в эксплуатации находится большое количество таких реле. Промышленностью освоен выпуск РНМ на интегральных микросхемах серий РМ-11 (с угловой характеристикой, аналогичной РБМ-171) и РМ-12 (с угловой характеристикой, аналогичной РБМ-178).

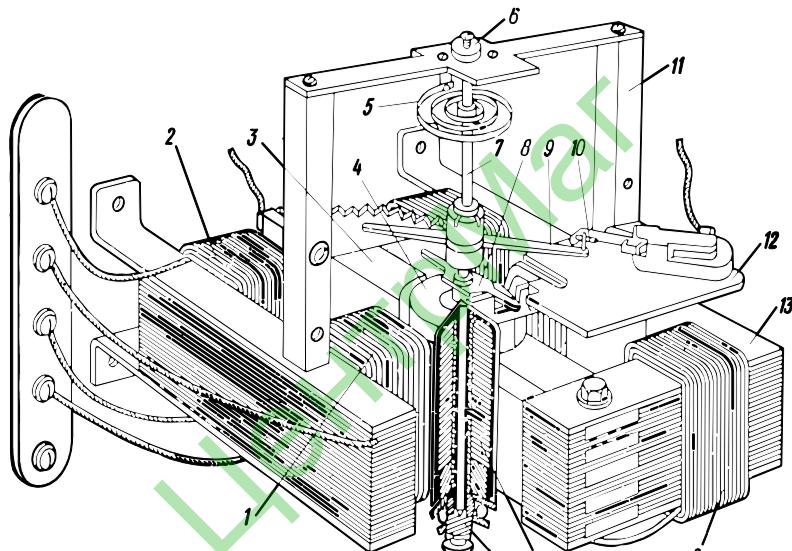


Рис. 6. Реле направления мощности серии РБМ:  
 1-токовая обмотка; 2-обмотка напряжения; 3-полюсы;  
 4-ротор; 5-спиральная пружина; 6-под пятник; 7-ось;  
 8-ограничитель угла; 9-подвижный контакт; 10-неподвижный  
 контакт; 11-стойка; 12-площадка; 13-ярмо

## 1.2. Реле направления мощности на интегральных микросхемах

Реле направления мощности на интегральных микросхемах выпол-

няются в виде реле мощности (РМ-11, РМ-12) и реле сопротивления (РС). Воздействующими на них величинами также являются две входных величины: напряжение и ток защищаемого объекта ( $U_p$  и  $I_p$ ).

При построении РНМ на интегральных микросхемах (ИМС) используется в основном принцип сравнения фаз двух входных величин ( $U_I$  и  $U_{II}$ ), позволяющий получить большее быстродействие, чем у реле, построенных на сравнении абсолютных значений напряжений. Ниже рассмотрены реле серии РМ-10 (РМ-11, РМ-12), выпускаемые вместо индукционных реле типов РБМ-171 и РБМ-177. Новые РНМ типа РМ-10 изготавливаются из отдельных электронных элементов, операционных усилителей (ОУ) и ИМС. В основе их работы лежит принцип раздельного сравнения времени совпадения мгновенных значений двух электрических величин (напряжений) с временем их несовпадения в положительном полупериоде с аналогичными величинами в отрицательном полупериоде. Этим достигается отстройка реле от апериодических составляющих во входных сравниваемых величинах.

Структурная схема реле представлена на рис.7. Ее основными элементами являются: узел измерения (УИ), узел формирования (УФ), узел сравнения (УС), узел выхода (УВ), узел питания (УП). Узлы 1 и 2 включают в себя блоки (узлы) измерения и преобразования. Блоки измерения являются промежуточными преобразователями (датчиками) напряжения (ДН) и тока (ДТ) соответственно. Они обеспечивают гальваническую развязку полупроводниковой части реле от вторичных цепей первичных измерительных преобразователей. Входные сигналы (напряжение  $\dot{U}_p$  и ток  $\dot{I}_p$ ) на их входы поступают от измерительных трансформаторов напряжения ТН (ТВ) и тока ТТ (ТА) защищаемого объекта. В узлах измерения входные сигналы преобразуются в пропорциональные им напряжения  $\dot{U}_u = k_U U_p$  и  $\dot{U}_I = k_I I_p$ . Затем они поступают в узлы формирования. В узле формирования эти сигналы приводятся к виду, удобному для работы узла сравнения (для реализации требуемой характеристики срабатывания реле). В узле формирования блока 1 напряжение  $U_u$  с помощью фазоповоротной схемы (фазоповоротного устройства) сдвигается по фазе относительно вектора  $U_p$  на некоторый постоянный угол  $\alpha$ .

В этом же блоке с помощью переключателей SB1...SB4 может подключаться одна из двух фазоповоротных схем для получения (выбора угла максимальной чувствительности минус 30° или минус 45° для РМ-11). Сдвиг по фазе напряжения  $\dot{U}_u$  относительно  $\dot{U}_p$  обеспечивает получение требуемого угла максимальной чувствительности  $\Phi_{мч}$  и угловой характеристики срабатывания реле.

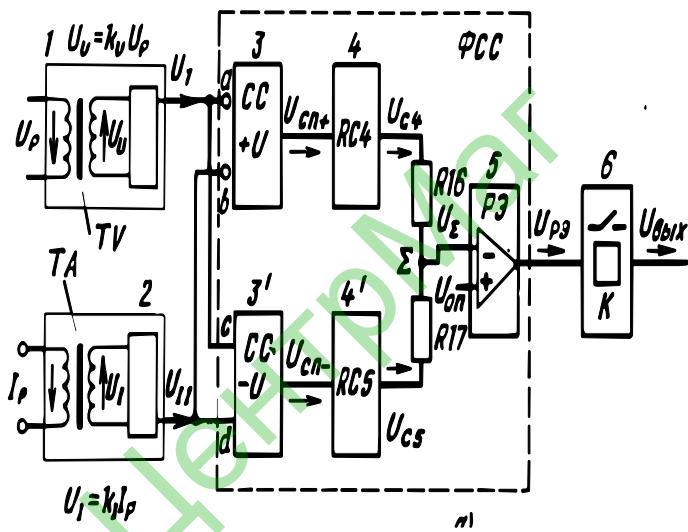


Рис.7. Структурная схема реле направления мощности РМ-11 (РМ-12)

В узле формирования блока 2 напряжение  $\dot{U}_I$  проходит через фильтр, снижающий уровень высших гармоник в нем.

В результате указанных преобразований на выходе блока 1 появляется напряжение  $\dot{U}_I$ , а на выходе блока 2 – напряжение  $\dot{U}_{II}$ .

Выходные напряжения  $\dot{U}_I = \dot{U}_u e^{j\alpha} = k_1 \dot{U}_p$  и  $\dot{U}_{II} = k_2 \dot{I}_p$  блоков 1 и 2 поступают на блоки 3 и 3' фазосравнивающей схемы (ФСС), входящей в состав узла сравнения, схема которого остается неизменной для

всех типоисполнений реле. В ФСС производятся преобразования сравниваемых напряжений в удобную для сравнения форму и образуется управляющий сигнал, соответствующий условиям сравнения.

Управляющий сигнал на его выходе ФСС появляется при условии, что напряжения оказываются сдвинутыми на угол не более чем  $90^\circ$ . Величиной этого угла определяется зона срабатывания реле. Работа этого узла основана на принципе сопоставления (фаз) времени совпадения  $t_{cn}$  знаков однополярных мгновенных значений сравниваемых синусоидальных напряжений  $u_{1t} = k_1 U_{pm} \sin(\omega t + \phi)$  и  $u_{2t} = k_2 I_{pm} \sin\omega t$  со временем несовпадения  $t_h$  знаков этих же напряжений. При этом время несовпадения фаз  $t_h$  определяется сдвигом фаз между сравниваемыми величинами и определяется уставкой  $t_y$ , которая для данного реле составляет четверть периода промышленной частоты. Если время совпадения знаков превышает четверть периода промышленной частоты, т. е. если  $t_{cn} \geq t_y$ , то реле срабатывает. Если оно меньше этого значения, то реле не срабатывает.

Особенностью фазосравнивающей схемы (рис.7) является раздельное сравнение интервалов совпадения и несовпадения мгновенных значений положительного и отрицательного знаков. Для этого она разделена на две параллельные части – два канала прохождения сигналов сравниемых напряжений. В одном канале (верхнем) измеряется время совпадения положительных значений  $U_I$  и  $U_{II}$ , а в другом (нижнем) – отрицательных мгновенных значений этих же напряжений. Такое разделение с последующим суммированием выходных сигналов обоих каналов устраниет влияние апериодической составляющей.

Схема совпадения (СС) 3 выявляет и фиксирует совпадение мгновенных значений  $\dot{U}_I$  и  $\dot{U}_{II}$  положительного знака, а схема совпадения (СС) 3' – тех же напряжений отрицательного знака. В интервале времени совпадения мгновенных значений  $\dot{U}_I$  и  $\dot{U}_{II}$  положительной полярности на выходе узла 3 появляется напряжение  $U_{CPI}$  прямоугольной формы, а при совпадении отрицательных значений такое же по форме и амплитуде напряжение  $U_{CP-}$  появляется на выходе узла 3' (рис. 7).

Каждый из сигналов ( $U_{CPI}$  и  $U_{CP-}$ ) поступает на интеграторы 4 и 4', фиксирующие длительность совпадения знаков сравниваемых вели-

чин. Они выполняются в виде цепей RC4 и RC5 с одинаковыми значениями  $R$  и  $C$ . По мере заряда конденсаторов С4 и С5 на выходе соответствующего интегратора появляются напряжения  $U_{c4}$  и  $U_{c5}$ , значения которых пропорциональны длительности положительных и отрицательных сигналов совпадения.

Каждое из этих напряжений нарастает на обкладках конденсаторов интеграторов 4 и 4' по экспоненте, имеющей в начальной части линейный характер.

После исчезновения совпадающих по знаку напряжений конденсатор интегратора разряжается. С интеграторов оба напряжения подводятся на вход аналогового сумматора (R16, R17), где происходит их сложение.

Результатирующее пилообразное напряжение  $U_{\Sigma} = 0,5(U_{c4} + U_{c5})$  с выхода сумматора подводится к реагирующему элементу (РЭ) 5, который выполнен в виде порогового компаратора релейного действия (триггера Шмитта) на базе операционного усилителя. Суммарное (положительное) напряжение  $U_{\Sigma}$  подводится на его инвертирующий вход, а опорное (пороговое)  $U_{on}$  - на неинвертирующий вход. Триггер срабатывает при появлении на его входе напряжения  $U_{\Sigma}=U_{on}$ , значение которого соответствует продолжительности времени совпадения  $t_{cn} \geq 0,005$  с (для случая, когда сдвиг фаз равен  $90^\circ$ ). Если суммарное напряжение превысит пороговое напряжение триггера, то он переключается и на его выходе появляется сигнал отрицательного знака. Под действием этого напряжения срабатывает узел выхода 6, в качестве которого используется транзисторный каскад и промежуточное электромагнитное (РП-13) или герконовое (РПГ-5) реле KL, которое срабатывает и своими контактами подает сигнал в цепь управления коммутационным аппаратом.

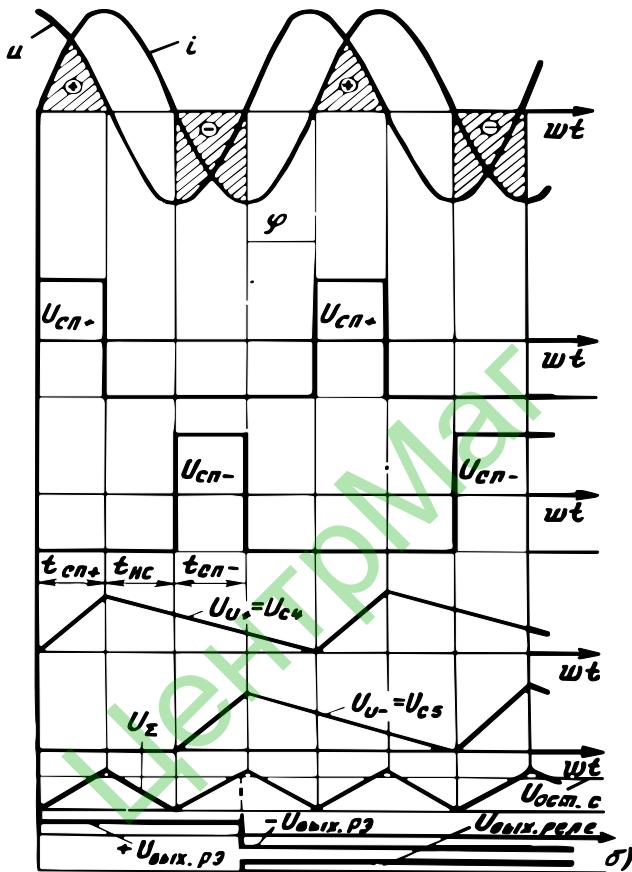


Рис.8. Диаграммы работы схемы ФСС реле серии РМ-11 (РМ-12)

Если время совпадения (следовательно, и продолжительность импульсов) меньше допустимого значения, то конденсаторы С4 и С5 не успевают зарядиться до требуемых значений, а напряжение  $U_z$  не достигает значения напряжения срабатывания  $U_{cp}$ . В этом случае реле также не срабатывает.

Фазосравнивающая схема и схема выходного блока питаются от стабилитронного делителя, включенного между плюсом и минусом напряжения постоянного тока 220 или 110 В (на делителе имеются ответвления + 28, + 10, -5 и 0 В). Предусмотрена возможность использования в качестве источника питания выпрямленного напряжения, получаемого с помощью комбинированного блока питания, включаемого на напряжение и ток сети.

Узел питания предназначен для получения от источника оперативного тока защищаемого объекта стабилизированных напряжений постоянного тока, необходимых для работы интегральных микросхем и исполнительного выходного реле.

Основные параметрами реле РМ-11:

- время срабатывания (при  $\varphi = \varphi_{mc}$ ) - 30 мс;
- чувствительность  $U_{cp} = 0,25$  В;
- ток срабатывания  $I_{cp} = 0,25I_{nom}$ ;
- потребление в цепи переменного тока - 0,15 В·А, в цепи переменного напряжения - 0,1 В·А, в цепях оперативного тока - 10 Вт.

### 1.3. Направленная защита в сети с двусторонним питанием

Направленной называется релейная защита, действующая только при определенном направлении (знаке) мощности КЗ. Необходимость применения направленных защит возникает в сетях с двусторонним питанием и в кольцевых сетях с одним источником питания. При двустороннем питании места КЗ для ликвидации повреждения релейная защита должна устанавливаться с обеих сторон защищаемой ЛЭП.

Самым простым способом защиты от КЗ в сетях с двусторонним питанием, как и в сетях с односторонним питанием, может служить защита, реагирующая на амплитуду тока КЗ. Однако обычная МТЗ, реагирующая только на значение тока, в подобных сетях не может обеспечить селективного отключения повреждения. Для селективного действия ее необходимо дополнить реле направления мощности, реагирующими на знак мощности, протекающей по защищаемому присоединению. При этом защита должна действовать, если мощность КЗ будет положительна (направлена

из шины в линию). Исходя из сказанного, можно сформулировать следующие принципы построения селективной защиты в сетях с двусторонним питанием:

- защита должна устанавливаться с обеих сторон каждой ЛЭП и действовать на отключение при появлении тока КЗ, если мощность КЗ положительна (направлена от шин в линию);
- выдержки времени защит, работающих при одном направлении мощности, должны согласовываться по встречно-ступенчатому принципу, нарастаая по направлению к источнику питания.

#### 1.4. Функциональная схема и принцип действия направленной защиты

Направленная токовая защита (НТЗ) при КЗ должна реагировать на значение тока и направление мощности в поврежденных фазах защищаемой ЛЭП. Структурная схема направленной МТЗ показана на рис. 9. Она включает в себя три основных элемента (органа):

- два пусковых реле тока КА (измерительные органы тока - ИОТ), которые срабатывают при появлении тока КЗ и выдают сигнал, разрешающий РЗ действовать;
- два реле направления мощности KW (органы направления мощности – ОНМ), которые срабатывают при положительном направлении мощности (от шин в линию) и подают сигнал, разрешающий действовать (срабатывать) защите;
- логическую схему (которая действует по заданной программе: получив сигнал о срабатывании ИОТ, ОНМ формирует сигнал о срабатывании РЗ, который с заданной выдержкой времени поступает на электромагнит отключения (ЭО) выключателя (YAT) и производит его отключение).

Пусковое реле тока (КА) включают на полный ток фазы ЛЭП, а реле направления мощности (РНМ) – на ток той же фазы и соответствующее междуфазное напряжение. Поведение РНМ определяется знаком мощности, подведенной к его зажимам  $S_p = U_p I_p \sin(\alpha - \varphi_p)$ .

При КЗ на защищаемой ЛЭП  $S_p$  положительна ( $+S_p$ ), и РНМ разрешает НТЗ действовать на отключение. В этом случае реле КА и KW, при-

ходя в действие, подают сигналы на вход логического элемента И (рис. 9). На выходе элемента И появляется сигнал, который приводит в действие реле времени КТ. Через заданное время на выходе КТ появляется сигнал, действующий на исполнительный элемент KL, который подает команду на отключение выключателя.

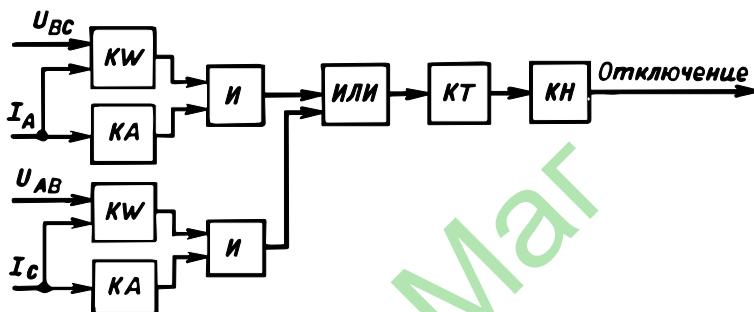


Рис. 9. Структурная схема направленной МТЗ

При КЗ на других присоединениях данной подстанции КА срабатывает, если  $I_k > I_{c.z.}$ , но так как KW не работает, элемент И, а следовательно, и НТЗ в целом не действуют.

Рассматриваемая структурная схема может быть реализована с помощью как контактных, так и бесконтактных (микроэлектронных) реле направления мощности в виде принципиальной схемы, представленной на рис.10.

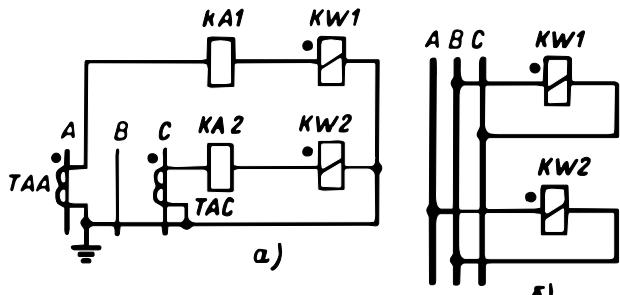


Рис. 10. Схема принципиальная (двуфазная) направленной МТЗ:  
а - цепи тока; б - цепи напряжения

В нормальном режиме, если мощность нагрузки направлена от шин в ЛЭП, РНМ может также сработать (ложно). Для исключения ложного срабатывания НТЗ ее пусковой орган КА необходимо отстраивать от тока нагрузки ( $I_{c3} > I_{n \max}$ ).

При качаниях в энергосистеме НТЗ может также сработать ложно, если ток качания окажется больше  $I_{c3}$ . Мощность  $S_p$  на зажимах реле KW будет направлена от шин в ЛЭП, а период качаний будет больше выдержки времени НТЗ. Для исключения действия НТЗ при качаниях ее время действия должно быть больше 1с.

В кольцевой сети НТЗ может срабатывать каскадно, т.е. последовательно срабатывают РЗ и отключаются выключатели, установленные по концам защищаемой ЛЭП.

### 1.5. Схемы включения реле направления мощности

Реле направления мощности включаются, как правило, на фазный ток и междуфазное напряжение. Сочетание фаз тока и напряжения реле, называемое его схемой включения, должно быть таким, чтобы реле правильно определяло знак мощности КЗ при всех возможных случаях и видах повреждений. При этом к нему должна подводиться возможно большая мощность. Мощность, подводимая к реле 2, в общем случае может иметь недостаточное для действия РНМ значение при КЗ, близких к месту

установки реле. Этот факт может быть обусловлен:

- снижением напряжения  $U_p$ ;
- значением угла  $\Phi_p$ , при котором  $\sin(\alpha - \Phi_p)$  равен или близок к нулю.

Практически в схемах НТЗ применяется включение РНМ по так называемой 90-градусной схеме сочетания токов и напряжений.

Название схемы (90-градусная) носит условный характер. В нем отражается величина угла  $\Phi_p$  между напряжением и током, подведенным к РНМ в симметричном трехфазном режиме при условии, что токи в фазах совпадают с одноименными фазными напряжениями.

Диаграммы работы РНМ типа РБМ-171 с углом максимальной чувствительности  $\varphi_{\text{мч}} = -30^\circ$ , включенного по 90-градусной схеме, показаны на рис. 11.

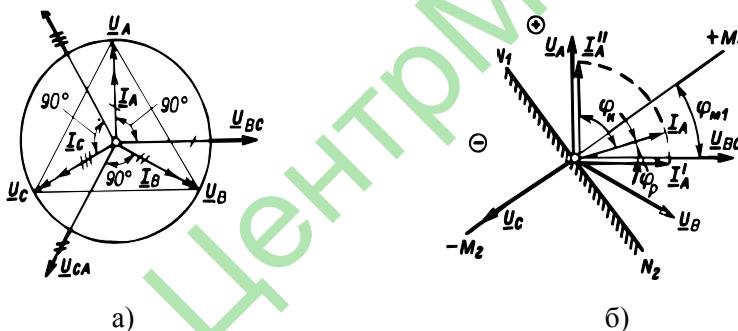


Рис. 11. Векторные диаграммы токов и напряжений для реле мощности при 90-градусной схеме включения

Угол внутреннего сдвига этого реле  $\alpha = 90^\circ + \varphi_{\text{мч}} = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$ .

Мощность на зажимах такого реле равна  $S_p = k_p U_p I_p \cos(\varphi_p + 30^\circ)$ . РНМ включено на ток  $I_p = I_A$  и напряжение  $U_p = U_{BC}$ .

На рис. 11,б изображена векторная диаграмма напряжений и тока  $I_A$  при трехфазном КЗ на ЛЭП. Ток  $I_A$  отстает от напряжения  $U_A$  на угол  $\varphi_k$ . Вектор  $I_A$  имеет два предельных положения:  $I'_A$  – при КЗ за чисто реактивным сопротивлением  $X$ , когда  $\varphi_k = 90^\circ$ ,  $I''_A$  – при КЗ через дугу в на-

чале ЛЭП, когда  $\varphi_k \approx 0^\circ$ .

По найденным значениям  $\varphi_p$  определяют знак и значение мощности на входе РНМ. С этой целью строят диаграммы тока и напряжения на захимах РНМ для рассматриваемого случая КЗ (рис.11,б). С этой целью на ней относительно  $U_p$  для данного типа РНМ строят линию  $N_1N_2$  (изменение знака мощности  $S_p$ ) и линию  $M_1M_2$  (максимальной мощности  $S_p$ ). Проекция вектора  $I_A$  на линию максимальной мощности, равная  $I_A = \sin(\alpha - \varphi_p)$ , характеризует значение и знак мощности.

При КЗ в зоне проекция вектора  $I_A$  имеет положительный знак, а в случае КЗ вне зоны – отрицательный. Значение мощности на реле достигает максимума  $S_{p\ max}$  при  $\varphi_{m\ u} = -30^\circ$  (чему соответствует  $\varphi_k = 60^\circ$ ).

Из диаграммы и характеристики реле РНМ следует, что поведение реле направления мощности при трехфазном коротком замыкании в зоне и вне зоны будет правильным и значение  $S_p$  достаточным для его действия.

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При проверке параметров РНМ производится:

- внешний осмотр;
- проверка (регулировка) механической части и контактов;
- регулировка (измерение) электрических параметров.

### 2.1. Проверка (регулировка) механической части и контактов

Снять кожух с реле, удалить пыль и грязь с деталей.

Проверить надежность паяк, затяжку винтов и гаек, крепежные проводники и детали реле, исправность и состояние нижнего и верхнего подпятников и концов оси барабанчика. Вертикальный люфт подвижной системы не должен превышать  $0,3\dots0,5$  мм. Горизонтальный люфт зависит от диаметра камней подпятников.

Проверить ход барабанчика при полностью ослабленной пружине. Подвижная система отклоняется в крайнее положение (на  $90^\circ$ ). Зазор между барабанчиком и полюсами должен быть равномерным и иметь величину  $0,9\dots1,0$  мм.

Отрегулировать взаимное положение подвижного и неподвижного контактов. Расстояние между ними должно быть 1,0...1,5 мм. Регулировка неподвижного контакта производится специальным винтом и поворотом колодки в отверстиях платы, имеющей предназначенные для этого прорези. Из-за малого зазора в магнитной цепи подвижная система реле подвержена значительной вибрации при большой кратности подведенной мощности.

## 2.2. Регулировка (измерение) электрических параметров

Проверка и регулировка электрических характеристик (параметров) реле производится при помощи специальных комплектов аппаратуры (У-5053) либо на лабораторном стенде. Схема стенд для проверки электрических параметров реле приведена на рис. 12.

### 2.2.1. Определение потребляемой мощности

Для определения мощности, потребляемой обмоткой напряжения, измеряют ток в ней при номинальном напряжении 100 В. Потребляемая мощность определяется по формуле  $P_n = U_p I_n$ .

Для определения мощности, потребляемой обмоткой тока, измеряют напряжение на ней при номинальном токе реле 5 или 1 А. Потребляемая мощность определяется аналогично по формуле  $P_m = I_p I_m$ . Полученные значения не должны отличаться более чем на 10-12% от паспортных данных реле.

### 2.2.2. Проверка и устранение “самохода”

Проверка и устранение “самохода” производится затяжкой возвратной пружины на рабочий угол, исключающий самопроизвольное движение подвижной системы в сторону замыкания контактов. Проверка производится в соответствии со схемой (рис. 9). Самоходом называется самопроизвольный ход подвижной системы, вызываемый только током или только напряжением. Вращающий момент при самоходе появляется в результате несимметрии магнитной системы и может быть направлен в сто-

рону замыкания контактов или в сторону их заклинивания. Он может менять знак при изменении величины тока или напряжения.

Вращающий момент самохода в сторону заклинивания “загрублляет” реле и может привести к отказу защиты. Вращающий момент самохода в сторону замыкания контактов может привести к ложному действию защиты. Поэтому он должен быть полностью устранен или уменьшен до величины, при которой затяжка возвратной пружины на рабочий угол исключает самоход подвижной системы в сторону замыкания контактов.

Устранение самохода, вызываемого током, должно производиться при токах в диапазоне от номинального тока реле до максимального тока КЗ, протекающего по защищаемому присоединению при КЗ на шинах подстанции, где установлена защита.

Устранение самохода, вызываемого напряжением, должно производиться при изменении напряжения в диапазоне 0...110 В.

Устранение вращающих моментов от самохода рекомендуется начинать с устранения самохода от тока. Значение тока при этом должно быть разным для защит от междуфазных КЗ и защит от замыкания на землю. В первом случае этот ток должен быть равен току КЗ в присоединении, на котором установлена проверяемая защита. Для защит от замыкания на землю этот ток должен быть равен току срабатывания наиболее чувствительной направленной защиты от замыкания на землю на проверяемом присоединении.

Проверку и устранение вращающего момента самохода производят при полностью ослабленной возвратной пружине реле. Самоход, вызываемый током, проверяют при замкнутой накоротко обмотке напряжения. Самоход, вызываемый напряжением, проверяют при разомкнутой токовой обмотке. Устранение вращающего момента самохода производят путем поворота стального сердечника вокруг своей оси. Для этого ключом (накидным, диамагнитным) ослабляют большую гайку, крепящую сердечник, настолько, чтобы его можно было повернуть на небольшой угол.

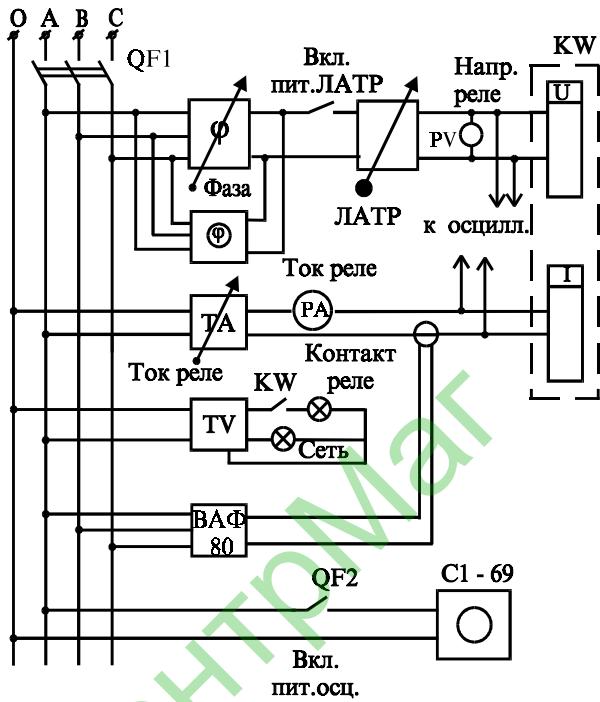


Рис. 12. Схема стенда для проверки реле направления мощности

Поворот сердечника для выравнивания магнитного сопротивления следует производить при поданном на реле токе или напряжении, наблюдая за подвижной системой. Добившись состояния, при котором вращающий момент оказывается равным нулю, следует тщательно закрепить сердечник большой гайкой и еще раз убедиться в отсутствии самохода (а также в отсутствии затирания барабанчика и в установленном нормальному люфте оси).

При проверке реле необходимо следить за температурой обмоток реле, не допуская их перегрева.

Если самоход, вызываемый током, не удается устранить указанным способом, то рекомендуется произвести незначительный сдвиг вправо или влево полюсов системы напряжения. С этой целью необходимо ослабить полюсные болты, сдвинуть полюсы и снова закрепить болты, следя за равномерностью зазора между барабанчиком и полюсами.

Устранение самохода путем сдвига полюсов является весьма ответственной операцией, и поэтому может выполняться лишь опытным, квалифицированным персоналом.

### 2.2.3. Проверка зоны действия

Проверить зоны действия, определить угол максимальной чувствительности и однополярные зажимы реле.

Проверку зоны действия реле производят (по схеме рис. 9) при рабочей затяжке возвратной пружины реле.

В реле серии РБМ нормальный заводской угол затяжки составляет  $120^\circ$ . В большинстве же реле этого типа, установленных в схемах защит, он колеблется от  $90$  до  $180^\circ$ .

При проверке зоны действия реле (при неизменных величинах тока и напряжения на реле) фазорегулятором  $\varphi$  изменяют угол сдвига между током и напряжением от  $0$  до  $360^\circ$  (затем в обратную сторону – от  $360$  до  $0^\circ$ ). При этом измеряют величины углов, при которых реле замыкает и размыкает контакты.

Угол максимальной чувствительности реле определяют подсчетом или графически, как показано на рис. 5. Для этого на диаграмму наносят исходный вектор  $U_p$  и линии замыкания (или размыкания) в соответствии с полученными результатами измерений.

Угол, в пределах которого срабатывает реле, делят пополам (проводят биссектрису). Биссектриса образует линию максимальных моментов, а угол между линией максимальных моментов и вектором  $U_p$  образует угол максимальной чувствительности.

Если фазометр и реле соединены между собой правильно в отношении полярных зажимов, то при совпадении полученной зоны действия ре-

ле с зонами, показанными на рис. 5, угловая характеристика реле считается удовлетворительной, а заводская маркировка однополярных зажимов реле правильной.

Расхождение полученных результатов с номинальными (паспортными) данными допускается не более чем на 5%.

#### 2.2.4. Проверка чувствительности реле

Проверку чувствительности реле, т.е. мощности срабатывания реле, производят (по схеме рис. 9) также при рабочей затяжке возвратной пружины, номинальном токе. При этом угол между током и напряжением устанавливают равным углу максимальной чувствительности. Коэффициент возврата реле должен быть не менее 0,6. Мощность срабатывания не должна превышать номинальное значение.

При отсутствии вольтметра со шкалой на малые пределы измерений допустимо измерять мощность срабатывания при токе, равном 20...40% от номинального.

При токах, превышающих номинальный, реле загрублется из-за насыщения магнитопровода. Чувствительность реле определяется углом затяжки возвратной пружины.

У реле серии РНМ двустороннего действия чувствительность должна быть проверена на замыкание левого и правого контактов отдельно.

#### 2.2.5. Проверка работы контактов реле

Контакты реле должны замыкаться без вибрации, искрения и отскакиваний. При размыкании контактов не должно быть искрения, вызывающего их подгорание. Проверка поведения контактов реле при подаче и сбросе обратной мощности производится для устранения возможного ложного срабатывания защиты.

### 2.3. Содержание отчета по лабораторной работе

В отчете по лабораторной работе должны быть представлены:

- основные теоретические положения (принцип работы, определения, конечные математические выражения, практические выводы);

- типы (модификации) реле, их основные паспортные характеристики (данные);
- схема и результаты измерений (в табличной и графической форме);
- выводы по результатам опытов и расчетов.

### **3. СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

1. Изучить основные теоретические положения.

2. Ознакомиться с принципом построения и конструкцией реле направления мощности (серии РБМ), а также с оборудованием и приборами, необходимыми для проведения работы (лабораторным стендом для проверки реле).

3. Проверить (отрегулировать) механическую часть и контакты реле.

4. Уяснить принципиальную схему стендса и его органов управления.

5. Установить органы управления в первоначальное положение, обеспечивающее минимальные напряжения и минимальные токи в соответствующих цепях.

6. Проверить (и устранить при необходимости) самоход реле (по току и по напряжению). Устанавливать ток в пределах от 0 до 20 А и подавать его кратковременно для того, чтобы убедиться в наличии или отсутствии самохода. Для устранения самохода поворачивают сердечник, расположенный внутри барабанчика, а также смешают обмотки напряжения вдоль их оси. Если самоход полностью устраниТЬ не удается, можно допустить незначительный самоход, но только в сторону размыкания контактов.

7. Проверить зону действия реле (снять угловую характеристику).

Установив величину тока 5 А, изменять угол между током и напряжением от 0 до 360°. Поведение реле фиксируется через каждые 30°. Ток устанавливать в пределах от 5 до 20 А, а в момент изменения состояния контактной системы соответствующие углы зафиксировать с точностью до 1° (знак «+» – контакты замкнуты, знак «–» – контакты разомкнуты). При снятии угловой характеристики проверить правильность маркировки начальных зажимов обмоток тока и напряжения.

8. При угле между током и напряжением, равном углу максимальной чувствительности (ток 1 А) проверить чувствительность реле (мощность срабатывания и коэффициент возврата). Для этого плавно изменять напряжение с помощью ручки управления ЛАТР.

9. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу.

10. Начертить угловую характеристику, круговую и векторную диаграммы для реле РБМ-171 с углом максимальной чувствительности минус 30°.

11. Разобрать схему, привести в порядок рабочее место.

#### 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Основные элементы конструкции и принцип действия индукционных РНМ.

2. Векторная диаграмма токов и напряжений индукционных РНМ.

3. Углы внутреннего сдвига и максимальной чувствительности РНМ.

4. Момент вращения, мощность, подведенная к реле, и мощность срабатывания РНМ.

5. Линии нулевого и максимального моментов РНМ.

6. Характеристика чувствительности и угловая характеристика РНМ.

7. Основные параметры РНМ типа РБМ-171 (271, 178, 278).

8. Принцип работы микроэлектронных РНМ (РМ-10). Особенности построения этих реле, назначение элементов структурной схемы, основные параметры.

9. Место и роль РНМ в направленной защите (на примере МТЗ). Особенности построения функциональной и принципиальной схем с применением РНМ.

10. Схемы включения реле направления мощности (определение, векторные диаграммы).

11. Явление «самохода» в РНМ (причины и способы устранения).

12. Порядок проверки зоны действия РНМ, практическое определение угла максимальной чувствительности.

13. Порядок проверки чувствительности РНМ, практическое определение минимального напряжения и мощности срабатывания РНМ.

### Список рекомендуемой литературы

1. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Учеб. для вузов.- М.: Энергоатомиздат, 1991.
2. Чернобровов Н.В. Релейная защита энергетических систем: Учеб. пособ. для техн.- М.: Энергоатомиздат, 1998.
3. Линт Г.Э. Серийные реле защиты, выполненные на интегральных микросхемах.- М.: Энергоатомиздат, 1990.
4. Темкина Р.В. Измерительные органы релейной защиты на интегральных микросхемах.- М.: Энергоатомиздат, 1985.

ЦентрМаг

## Содержание

1.	Основные теоретические положения.....	1
1.1.	Индукционные реле направления мощности.....	1
1.2.	Реле направления мощности на интегральных микросхемах.....	9
1.3.	Направленная защита в сети с двусторонним питанием.....	14
1.4.	Функциональная схема и принцип действия направленной защиты.....	15
1.5.	Схемы включения реле направления мощности.....	17
2.	Методические указания.....	19
2.1.	Проверка (регулировка) механической части и контактов.....	19
2.2.	Регулировка (измерение) электрических параметров.....	20
2.3.	Содержание отчета по лабораторной работе.....	24
3.	Содержание лабораторной работы.....	25
4.	Контрольные вопросы.....	26
	Список рекомендуемой литературы.....	27

### СОСТАВИТЕЛЬ

Борис Васильевич Соколов

### РЕЛЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ

Методические указания к лабораторной работе  
по дисциплине «Релейная защита и автоматика СЭС»  
для студентов направления 551700 «Электроэнергетика»

Редактор З.М. Савина

ЛР № 020313 от 23.12.96

Подписано в печать 02.03.01. Формат 60x84/16.

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе. Уч.-изд.л. 1,50.

Тираж 50 экз. Заказ\_\_\_\_\_

Кузбасский государственный технический университет.

650026, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Типография Кузбасского государственного технического университета.

650099, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а.

ЧехоМар