

О. И. Ульянов, В. М. Белоусов, А. А. Степанян

МЕТОД НАЛАДКИ И ПОВЕРКИ ПРЯМОУГОЛЬНО-КООРДИНАТНОГО КОМПЕНСАТОРА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ФАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫМ ФЕРРОДИНАМИЧЕСКИМ ГАЛЬВАНОМЕТРОМ

Типичным представителем компенсаторов переменного тока с фазочувствительным ферродинамическим гальванометром является компенсатор типа КПТ—I, выпускаемый в опытном порядке учебно-экспериментальным заводом Куйбышевского политехнического института [1].

До настоящего времени не имелось метрологически обоснованного метода наладки и поверки компенсаторов с фазочувствительным гальванометром. Это сдерживало выпуск опытных образцов таких приборов и тем более явилось бы препятствием для их промышленного производства. Действующая официальная инструкция по поверке компенсаторов переменного тока [2] в данном случае не может быть применена, так как разработана применительно к компенсаторам типа Р—56 с фазонечувствительным гальванометром, выпускаемым промышленностью.

Создание компенсаторов с фазочувствительным гальванометром является новым направлением в приборостроении, поэтому авторы разработали предлагаемый ниже метод наладки и поверки и внедрили его при опытном производстве компенсаторов КПТ—I. При решении поставленной задачи учитывалась необходимость по возможности сохранить метод и средства, применяемые для поверки приборов типа Р—56 [2]. Это облегчит составление единой инструкции по поверке компенсаторов переменного тока.

Принципиальная схема компенсатора КПТ—I изображена на рис. 1, панель управления — на рис. 2.

Особенностью компенсатора переменного тока с фазочувствительным ферродинамическим гальванометром является наличие ориентированных друг относительно друга определенным образом двух прямоугольно-координатных систем напряжений: компенса-

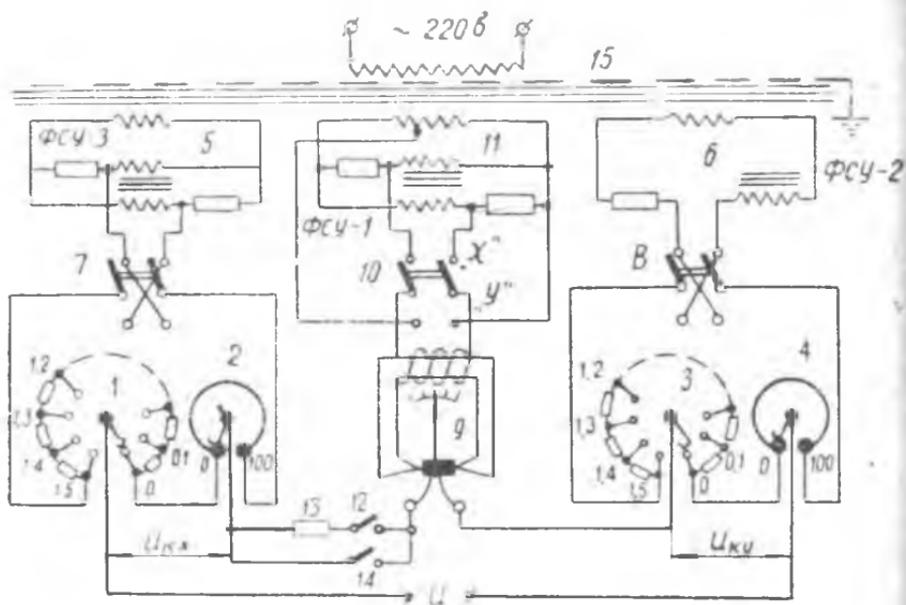


Рис. 1.

ционных цепей и цепей возбуждения ферродинамического гальванометра. Система компенсирующих напряжений $U_{\text{кх}}$, $U_{\text{кв}}$, (рис. 3) должна быть совмещена с системой э.д.с. $E_{\text{рх}}$, $E_{\text{рв}}$, индуктируемых в рамке гальванометра поочередно при смене положения переключателя в цепи возбуждения гальванометра. Эта особенность компенсатора и обуславливает специфику его наладки. Причем, следует отметить, что имеется в виду наладка полно-

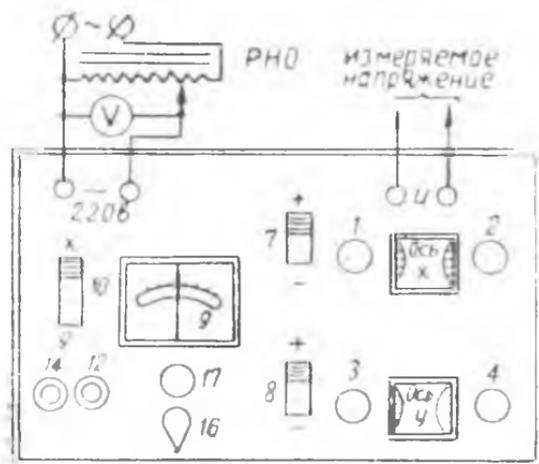


Рис. 2.

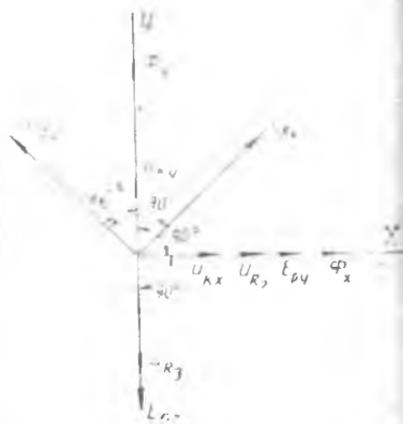


Рис. 3.

стью изготовленного прибора, предшествующая поверке его на точность.

В основу всех этапов наладки положен компенсационный метод измерения. За базовый вектор при наладке принят вектор напряжения $U_{вy}$, снимаемого со вторичной обмотки сетевого трансформатора 15 (рис. 1) и подаваемого на обмотку возбуждения гальванометра 9 (рис. 1 и 2) при переводе переключателя 10 в положение «У». При этом с рамкой гальванометра сцепляется магнитный поток Φ_y (рис. 3), индуктирующий в рамке э. д. с. E_{py} . Вектор Φ_y отстает от вектора $U_{вy}$ на угол $\tau_b + \alpha$, определяемый параметрами возбуждения гальванометра и углом магнитного запаздывания его железа.

1-й этап наладки. Цель этапа—подготовка цепей установки, собранной по схеме рис. 4, к наладке данного (подключенного к установке) компенсатора.

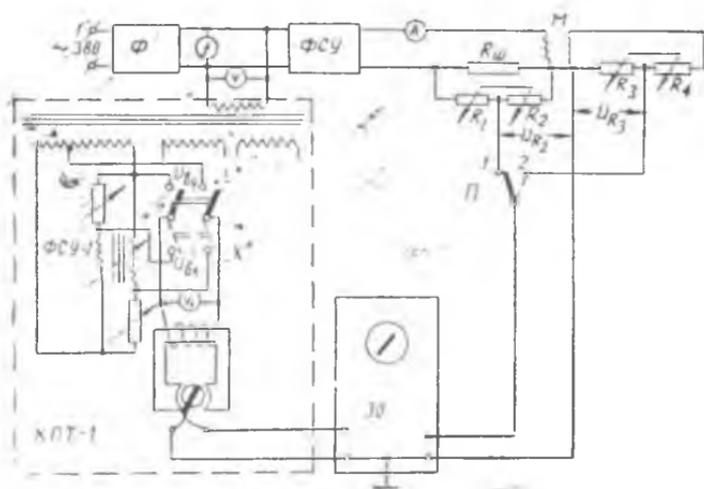


Рис. 4.

Установка и настраиваемый компенсатор получают питание через RC — фильтр Φ , улучшающий форму кривой напряжения.

Величина напряжения контролируется вольтметром V , частота — частотером f .

С помощью фазосдвигающего устройства $\Phi СУ$ фаза падения напряжения на сопротивлении R_2 изменяется таким образом, чтобы вектор его совпал по направлению с вектором э. д. с. E_{py} . Сравнение фаз указанных напряжений производится по фигуре Лиссажу на экране электронного осциллографа ЭО. Критерием синфазности сравниваемых напряжений служит фигура Лиссажу в виде эллипса, сплюсненного до прямой линии. Усиление осцил-

лографа по горизонтальной оси устанавливается максимальным, а усиление по вертикали подбирается так, чтобы прямая на экране расположилась под углом 45° . Согласно [3] погрешность совпадения фаз сравниваемых напряжений не превысит 10 минут и на точность наладки компенсатора влияния не окажет.

В результате выполненных операций на сопротивлении R_3 во вторичной цепи образцової катушки взаимоиндуктивности M будет падение напряжения, сдвинутое по фазе относительно вектора E_{py} на 90° . Следовательно, можно утверждать, что падение напряжения на R_3 совпадает по фазе с вектором потока $\dot{\Phi}_y$.

В качестве сопротивлений R_1, R_2, R_3 и R_4 применяются безреактивные магазины сопротивления.

2-й этап наладки. Цель этапа—вектор э. д. с. E_{px} совместить по направлению с вектором падения напряжения на сопротивлении R_3 или, иначе говоря, ориентировать вектор E_{px} на 90° относительно вектора E_{py} , кроме того, установить номинальное напряжение возбуждения гальванометра.

Регулируемым элементом на данном этапе является фазосдвигающее устройство ФСУ—1 в цепи возбуждения гальванометра. Выполняется наладка с помощью той же установки, что и этап 1, т. е. по схеме рис. 4. Для этого переключатель Π переводится в положение 2 и таким образом падение напряжения на R_3 подается на «горизонтальный» вход осциллографа ЭО: переключатель возбуждения гальванометра переводится в положение X. Элементы ФСУ—1 регулируются так, чтобы вольтметр V_1 показал номинальное напряжение возбуждения и в то же время на экране осциллографа получилась фигура Лиссажу в виде сплющенного до прямой линии эллипса.

В результате осуществления 1 и 2 этапов наладки будет установлен 90-градусный сдвиг фаз векторов E_{px} и E_{py} , а следовательно и векторов Φ_x и Φ_y , определяющих разную фазочувствительность гальванометра при двух положениях переключателя в цепи возбуждения. С направлением векторов Φ_x и Φ_y связана ориентация осей X и Y прямоугольно-координатной системы компенсатора. Погрешность 90-градусного сдвига между направлениями осей не будет превышать 20 минут.

3-й этап наладки. Имеет целью совмещение по модулю и фазе вектора компенсирующего напряжения U_{ky} с вектором падения напряжения U_{R_3} на образцовом сопротивлении R_3 . Одновременно достигается совмещение по фазе векторов U_{ky} и Φ_y .

Схема установки принимает вид, соответствующий фиг. 5. В качестве нулевого прибора используется гальванометр настраиваемого компенсатора. Переключатель Π ставится в положение 2, а переключатель δ знака напряжения U_{kv} — в такое положение,

при котором на рамку гальванометра подается разность сравниваемых напряжений $U_{кy}$ и U_{R_3} . Переключатель в цепи возбуждения гальванометра ставится в положение «У» (в качестве напряжения возбуждения будет подано U_{By}).

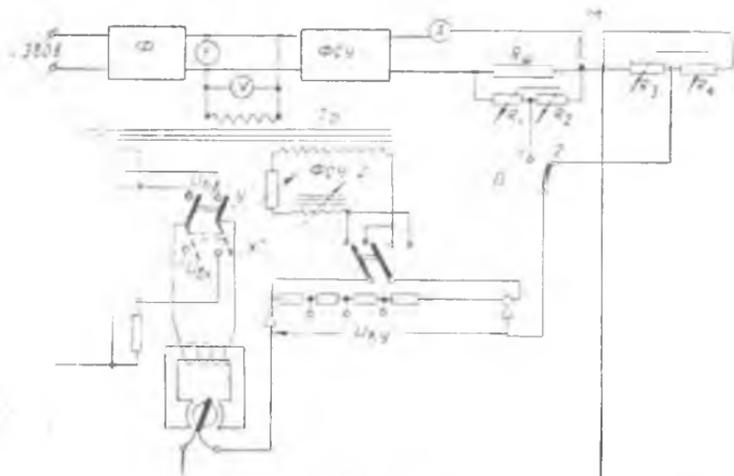


Рис. 5.

Регулировкой фазосдвигающего устройства ФСУ—2 необходимо добиться совмещения указателя гальванометра с нулевой отметкой шкалы. Затем переключатель цепи возбуждения переводится в положение X и опять необходимо добиться нулевого показания гальванометра. Эти операции повторяются несколько раз, в результате черг методом последовательных регулировок ФСУ—2 схема полностью уравнивается. Признаком этого является неподвижное состояние указателя гальванометра при переключениях цепи его возбуждения.

4-й этап. Цель этапа — совместимость по модулю и фазе векторы напряжения $U_{кx}$ и падения напряжения U_{R_2} и одновременно добиться совпадения фаз векторов $U_{кx}$ и Φ_x . Осуществляется это по схеме рис. 6. Переключатель П находится в положении 1. Регулируется фазосдвигающее устройство ФСУ—3. Действия производятся такие же, как и при выполнении этапа 3.

Схема установки регулируется на первом этапе наладки так, чтобы при номинальной частоте в сети на зажимах питания компенсатора установилось его номинальное напряжение, а в первичной обмотке катушки взаимоиндуктивности М — расчетное значение тока. При этом также обеспечивается необходимый фазовый сдвиг этого тока. В последующих этапах наладки параметры фазосдвигающего устройства ФСУ и фильтра Φ остаются неизменными. В связи с тем, что все элементы установки являются линейными, требования к точности поддержания постоянства величины напря-

жения питания компенсатора и тока в первичной обмотке катушки взаимдуктивности не являются жесткими. Допустимыми при наладке могут считаться пропорциональные изменения указанного напряжения и тока в пределах до $\pm 5\%$. Завершение любой промежуточной и конечной операции по наладке должно происходить при номинальной частоте питающего напряжения.

Наличие погрешности 90° сдвига фаз напряжений возбуждения гальванометра при двух положениях переключателя в этой цепи на погрешность компенсатора не оказывает влияния. Практически полученная величина этой погрешности не оказывает влияния также и на процесс уравнивания при эксплуатации компенсатора.

Погрешность в подгонке модуля падения напряжения в компенсационной цепи оси X может быть оценена, исходя из следующих данных.

Абсолютная погрешность установки падения напряжения на сопротивлении R_2 (рис. 6).

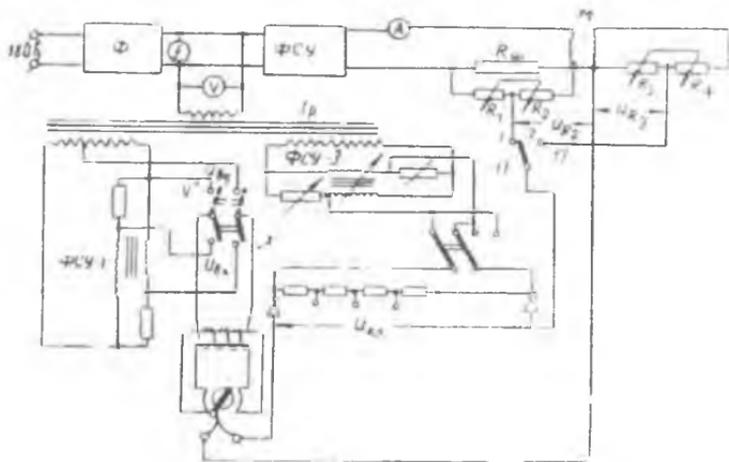


Рис. 6.

$$\Delta(IR_2) = \left(\frac{\Delta R_2}{R_2} - \frac{\Delta I}{I} \right) (IR) = (0,0005 - 0,001) \cdot 1,6 = 0,0024 \text{ в.}$$

Падение напряжения в компенсационной цепи оси X

$$U_{кx} = IR_2 \pm [\Delta(IR_2) + \delta U],$$

где δU — порог чувствительности ферродинамического гальванометра.

При чувствительности гальванометра 1 град/мв и погрешности установки его указателя в нулевое положение $\pm 0,5 \text{ град}$, порог чувствительности равен $\delta I = 5 \cdot 10^{-4} \text{ в.}$

Относительная погрешность напряжения в компенсационной цепи X составляет

$$\frac{\Delta(IR_2) + \delta U}{IR_2} \cdot 100 = \frac{0,0024 + 0,0005}{1,6} \cdot 100 = 0,18\%.$$

С учетом неточности установки напряжения питания компенсатора по вольтметру эта погрешность равна 0,28%.

Погрешность в фазе компенсирующего напряжения оси X определяется как $\Theta = \frac{10\,800 \vartheta U}{\pi IR_x} = \frac{10\,800 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{3,14 \cdot 1,6} \approx 1'$.

При разработке метода поверки учитывалась возможность использования его и для контроля наладочных операций с тем, чтобы иметь единую универсальную установку. Такая установка была создана. Выше она частично описана: далее она рассматривается с точки зрения использования ее для поверки. Разработанный метод поверки может быть предложен в качестве проекта официального издания «Инструкции по поверке компенсатора переменного тока прямоугольно-координатного типа с фазочувствительным ферродинамическим гальванометром». Ниже излагаются материалы в том виде, в каком они вошли в предлагаемый проект инструкции.

МЕТОД И СРЕДСТВА ПОВЕРКИ

1. Погрешность компенсатора характеризуют следующие частные погрешности:

а) основные погрешности показаний по шкалам измерительных сопротивлений компенсационных цепей:

б) фазовая погрешность измерительного сопротивления компенсационной цепи X — угол Θ_x — сдвиг по фазе между напряжениями, снимаемыми со всего измерительного сопротивления и с части его; Θ_x считается положительным, если напряжение, снимаемое с части измерительного сопротивления, является опережающим по отношению к напряжению на всем измерительном сопротивлении;

в) фазовая погрешность компенсатора $\Delta\varphi$ — отклонение от 90° угла сдвига фаз между напряжением, снимаемым с измерительного сопротивления компенсационной цепи «У» и напряжением, снимаемым со всего измерительного сопротивления цепи X ; $\Delta\varphi$ считается положительным, если указанный угол больше 90° .

2. Компенсатор переменного тока прямоугольно-координатного типа с фазочувствительным ферродинамическим гальванометром поверяется по образцовым мерам.

3. При поверке прямоугольно-координатных компенсаторов по

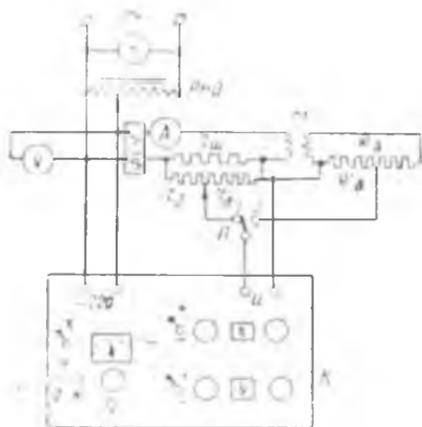


Рис. 7.

образцовым мерам определение основной погрешности показания по шкале компенсационной цепи X и фазовой погрешности измерительного сопротивления этой цепи производится на переменном токе по схеме (рис. 7).

Основными элементами этой схемы являются:

- K — поверяемый компенсатор;
- PHO — лабораторный автотрансформатор;
- $\Phi СУ$ — фазосдвигающее устройство;
- $r_{ш}$ — низкоомный четырехзажимный безреактивный шунт или безреактивная измерительная катушка сопротивления;
- $r_{\partial}, R_{\partial}$ — высокоомные безреактивные делители напряжения;
- M — образцовая катушка взаимной индуктивности;
- Π — однополюсный переключатель;
- f — образцовый частотомер;
- V — образцовый вольтметр;
- A — образцовый амперметр.

С части сопротивления образцового делителя r'_{∂} (переключатель Π установлен в положение I) снимается напряжение, по величине равное пределу измерения по компенсационной цепи X , а по фазе — точно совпадающее с ним, что достигается с помощью фазовращателя.

В последующих этапах проверки параметры фазовращателя должны оставаться неизменными.

Значение сопротивления r'_{∂} для поверяемого показания подсчитывается по формуле

$$r_{\partial}^1 = \frac{U_{xH}}{I} \cdot n, \quad (1)$$

где U_{xH} — поверяемое показание по шкале компенсационной цепи X , v ;
 I — номинальное значение тока в первичной обмотке катушки взаимной индуктивности M , a ;

$n = \left(1 + \frac{r_{\partial}}{r_{ш}} \right)$ — коэффициент шунтирования;

r_{∂} — сопротивление делителя напряжения, $ом$;

$r_{ш}$ — сопротивление шунта, $ом$.

Основная погрешность показания по шкале компенсационной цепи X подсчитывается по формуле

$$\Delta_{x\%} = \frac{U_{kx} \cdot \frac{r'_{\partial\partial}}{n_{\partial}} \cdot I}{U_{xH}} \cdot 100, \quad (2)$$

где U_{kx} — показание по шкале компенсационной цепи X , полученное при компенсации напряжения, снятого с сопротивления r'_{∂} , v ;

$r'_{\partial\partial}$ — действительное значение сопротивления (исправленное согласно таблице поправок к делителю напряжения), $ом$;

$n_{\partial} = \left(1 + \frac{r_{\partial\partial}}{r_{ш\partial}}\right)$ — действительное значение коэффициента шунтирования;
 $r_{\partial\partial}$ — действительное значение сопротивления делителя напряжения, *ом*;
 $r_{ш\partial}$ — действительное значение сопротивления шунта, *ом*.

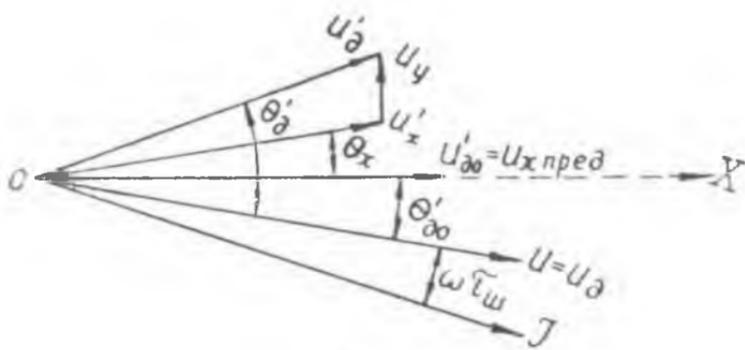


Рис. 8.

Фазовая погрешность измерительного сопротивления компенсационной цепи X поверяемого компенсатора в радианах (рис. 8) подсчитывается по формуле

$$\theta_x = -\frac{U_{ку}}{U_{кx}} + (\theta'_{\partial} - \theta'_{\partial\partial}), \quad (3)$$

где $U_{ку}$ — показание по шкале компенсационной цепи U , полученное при компенсации напряжения, снятого с сопротивления r'_{∂} , *в*;
 θ'_{∂} — угол сдвига фаз между напряжением, приложенным к делителю r_{∂} , и напряжением, снимаемым с части его r'_{∂} , радиан;
 $\theta'_{\partial\partial}$ — то же, но в случае, когда с r_{∂} снимается напряжение, равное пределу измерения по компенсационной цепи X , радиан.

Углы θ'_{∂} и $\theta'_{\partial\partial}$ считаются положительными, если напряжение, снимаемое с r'_{∂} , является опережающим по отношению к напряжению на r_{∂} .

В формуле (3) значения $U_{кx}$ и $U_{ку}$ подставляются с учетом знаков.

4. Определение основных погрешностей по шкале компенсационной цепи U и фазовой погрешности компенсатора производится при положении переключателя Π в позиции 2 (рис. 7) с помощью образцовой катушки взаимной индуктивности M и безреактивного делителя напряжения R_D . На этом делителе устанавливается напряжение, соответствующее поверяемой отметке шкалы компен-

сационной цепи U , которое и компенсируется на поверяемом приборе.

Значения частей сопротивления делителя, с которых снимается напряжение, соответствующее каждой поверяемой отметке шкалы, подсчитывается по формуле

$$R_D = (R_D + R_2) \cdot \frac{U_{yn}}{\omega MI} \quad (4)$$

- где R_D — общее сопротивление делителя напряжения, ом ;
 R'_D — часть сопротивления делителя, с которой снимается напряжение, ом ;
 R_2 — активное сопротивление вторичной обмотки катушки взаимной индуктивности, ом ;
 U_{yn} — поверяемое показание по шкале компенсационной цепи U , в ;
 M — значение взаимной индуктивности поверяемой катушки, гн ;
 I — номинальное значение тока в первичной обмотке катушки взаимной индуктивности, а ;

Основная погрешность показаний по шкале компенсационной цепи U подсчитывается по формуле

$$\Delta_{y, \text{осн}} = \left(U_{ky} - \frac{\omega M_{\partial} I R_{D\partial}}{R_{D\partial} + R_2} \right) \cdot \frac{100}{U_{yn}} \quad (5)$$

- где U_{ky} — показание по шкале компенсационной цепи U , полученное при компенсации напряжения, снятого с сопротивления R'_D , в ;
 M_{∂} — действительное значение взаимной индуктивности катушки, гн ;
 $R_{D\partial}$ — действительное значение сопротивления делителя напряжения, ом ;
 $R'_{D\partial}$ — действительное значение сопротивления части делителя, с которой снимается напряжение, ом .

Фазовая погрешность компенсатора в радианах (фиг. 9) подсчитывается по формуле

$$\Delta\varphi = \frac{U_{x\partial}}{U_{ky}} - \left[\frac{\omega L_2}{R_D + R_2} - \Theta'_{\partial\partial} + \omega (\tau_{ш} - \tau'_D) \right] \quad (6)$$

- где U_{ky} — показание по шкале компенсационной цепи U , в ;
 $U_{x\partial}$ — действительное значение показания по шкале компенсационной цепи X , в ;
 L_2 — индуктивность вторичной обмотки катушки взаимной индуктивности, гн ;
 $\tau_{ш}$ — постоянная времени образцового шунта, сек .;
 τ'_D — постоянная времени сопротивления R'_D образцового делителя напряжения, сек .

5. При проверке компенсатора по образцовым мерам должна применяться следующая аппаратура:

а) образцовая катушка взаимной индуктивности, номинальное значение взаимной индуктивности которой выбирается, исходя из верхнего предела измерения поверяемого компенсатора, и подсчитывается по формуле

$$M = \frac{U_{yn}}{\omega I}, \quad (7)$$

где M значение взаимной индуктивности образцовой катушки, $гн$;

U_{yn} — максимальное значение по шкале компенсационной цепи U компенсатора, $в$.

Фазовая погрешность образцовой катушки взаимной индуктивности на рабочей частоте компенсатора (50 $гц$) не должна превышать одной минуты.

Для целей проверки могут быть, например, использованы катушки взаимной индуктивности КВ с обмотками, намотанными в отдельных пазах каркаса катушки.

Действительное значение взаимной индуктивности при частоте 50 $гц$ должно быть известно с точностью до $\pm 0,1\%$.

Значение индуктивности вторичной обмотки катушки взаимной индуктивности должно быть известно с точностью до $\pm 10\%$;

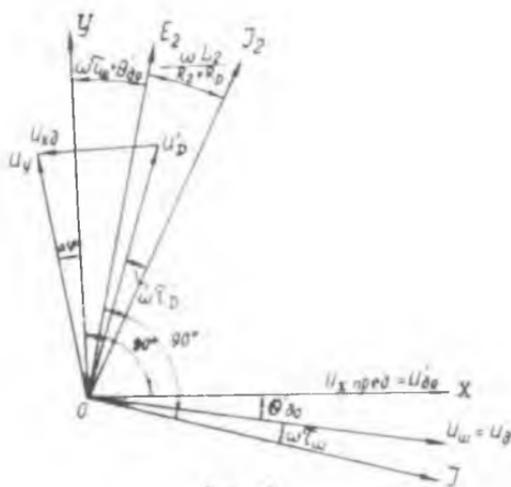


Рис. 9.

б) безреактивные делители напряжения с погрешностью коэффициента деления, не превышающей $\pm 0,1\%$. Постоянная времени делителей напряжения не должна превышать $5 \cdot 10^{-7}$ $сек$.

При отсутствии безреактивного делителя напряжения последний может быть собран из безреактивных магазинов сопротивления класса не ниже $0,1\%$, с постоянной времени не более $5 \cdot 10^{-7}$ $сек$., при условии введения поправок к показаниям магазинов с точностью до $\pm 0,05\%$;

в) катушка сопротивления измерительная безреактивная класса точности не ниже $0,02$ (ГОСТ 6864-54) или безреактивный четырехзажимный шунт с основной погрешностью, не превышающей $0,1\%$ при условии введения поправок с точностью $\pm 0,02\%$.

При проверке показаний по шкале компенсационной цепи X

номинальные сопротивления делителя напряжения и шунта должны удовлетворять следующим условиям.

Эквивалентное сопротивление делителя напряжения и шунта равно

$$R_{\text{эква}} = \frac{r_{\partial} \cdot r_{\text{ш}}}{r_{\partial} + r_{\text{ш}}} \quad (8)$$

Коэффициент шунтирования $n = 1 + \frac{r_{\partial}}{r_{\text{ш}}}$ должен быть больше значения, определяемого по формуле

$$n > 3r_0 \frac{I}{\Delta x_{\text{мин}}} \quad (9)$$

где r_0 — начальное сопротивление делителя напряжения или соответствующего магазина сопротивления, *ом*;

$\Delta x_{\text{мин}}$ — минимальное значение допустимой погрешности показаний по шкале компенсационной цепи X компенсатора, *в*.

Конструкция делителя напряжения должна обеспечивать при заданном коэффициенте шунтирования возможность проверки показаний компенсатора на всех отметках шкалы компенсационной цепи X .

Для первой числовой отметки (наименьшего значения) должно выполняться следующее соотношение

$$r'_{\partial \text{ мин}} \geq \frac{U_{x \text{ мин}}}{\Delta x_{\text{мин}}} \cdot 3r_0 \quad (10)$$

где $r'_{\partial \text{ мин}}$ — часть сопротивления образцового делителя напряжения, с которой снимается напряжение при проверке показаний на первой числовой отметке шкалы компенсационной цепи X , *ом*;

$U_{x \text{ мин}}$ — значение напряжения для первой числовой отметки шкалы компенсационной цепи X , *в*.

Номинальное сопротивление делителя напряжения R_D для проверки показаний по шкале компенсационной цепи Y должно удовлетворять следующим условиям

$$R_D > \frac{I \omega M}{U_{y \text{ мин}}} \cdot R_{D \text{ мин}} \quad (11)$$

где $U_{y \text{ мин}}$ — наименьшее поверяемое показание по шкале компенсационной цепи Y , *в*;

R_D — часть сопротивления образцового делителя, с которой снимается напряжение $U_{y \text{ мин}}$, *в*.

В свою очередь должно быть

$$R_{D \text{ мин}} > 3R_0 \quad (12)$$

где R_0 — начальное сопротивление делителя напряжения или соответствующего магазина сопротивления;

$$\frac{\omega L_2}{R_D} \ll \Delta\varphi, \quad (13)$$

где $\Delta\varphi$ — допустимая фазовая погрешность поверяемого компенсатора, *радиан*;

- г) вспомогательное устройство для регулирования напряжения РНО;
- д) вспомогательное устройство для регулирования фазы напряжения ФСУ;
- е) частотомер не ниже класса 0,2 для частот 45—55 гц. (ГОСТ 7590-55);
- ж) вольтметр класса 0,1 с пределом измерения 0—300 в;
- з) амперметр класса 0,1 с пределом измерения 0—0,5—1,0 а.

ПОВЕРКА

6. Поверка компенсатора не проводится, если при внешнем осмотре будет обнаружено наличие хотя бы одного из следующих дефектов:

- а) неисправность переключателей или реохордов;
- б) отсутствие или неисправность зажимов;
- в) наличие внутри прибора отсоединившихся частей или посторонних предметов (обнаруживаемых на слух при наклонах компенсатора);
- г) загрязнение;
- д) отсутствие или повреждение маркировки;
- е) неисправность гальванометра.

7. При расположении аппаратуры в поверочной установке и выполнении электрических соединений, а также при проведении поверки необходимо устранить влияние внешних магнитных полей.

Для того, чтобы убедиться в фактическом отсутствии влияния внешних магнитных полей на образцовую катушку взаимной индуктивности, необходимо уравновесить схему при некотором положении катушки, а затем повернуть катушку на 180°; при этом нарушение равновесия схемы не должно превосходить допустимой погрешности компенсатора. В противном случае необходимо удалить катушку от источника сильных магнитных полей и расположить ее в пространстве таким образом, чтобы остаточное магнитное поле оказало на нее влияние, не превосходящее допустимого.

8. Поверка прямоугольно-координатного компенсатора состоит из следующих операций:

- а) определения основных погрешностей показаний по шкале компенсационной цепи X и фазовой погрешности измерительного сопротивления этой цепи;
- б) определения основных погрешностей по шкале компенсационной цепи Y ;

в) определения фазовой погрешности компенсатора.

9. При поверке компенсатора по образцовым мерам определение основной погрешности показаний шкалы компенсационной цепи X или компенсационной цепи $У$, а также фазовой погрешности измерительного сопротивления компенсационной цепи X и фазовой погрешности компенсатора производится при номинальном рабочем напряжении и номинальной частоте на каждой числовой отметке шкалы.

10. Номинальное рабочее напряжение в цепи питания компенсатора и номинальное значение тока в первичной обмотке катушки взаимоиндуктивности M устанавливаются одновременно и в дальнейшем поддерживаются с точностью до $\pm 5\%$.

11. Коэффициент искажения формы кривой рабочего напряжения компенсатора не должен превышать 5% .

12. Частота напряжения питания должна быть равна $50 \text{ гц} \pm 0,1 \text{ гц}$.

13. Поверка компенсаторов должна проводиться при температуре окружающей среды $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$.

14. При поверке показаний по шкалам компенсационных цепей X и $У$ компенсатора коэффициент деления образцового делителя напряжения устанавливается соответствующим значению напряжения для поверяемой отметки (необходимые значения сопротивлений плеч делителя напряжения подсчитываются по формулам (4) и (11)). Напряжение, снимаемое с делителя напряжения, компенсируется на поверяемом компенсаторе. Для исключения остаточного влияния внешнего магнитного поля на результат измерения определение погрешности показания для каждой числовой отметки шкалы компенсационной цепи $У$ должно проводиться дважды: при найденном (наилучшем в отношении магнитных полей) положении катушки в пространстве, а другой раз — при повороте катушки на 180° .

Результат измерения определяется как среднее арифметическое из полученных отсчетов.

15. На компенсаторы при государственной поверке накладывается поверительное клеймо в том случае, когда они:

1) удовлетворяют по точности требованиям технических условий, по которым были выпущены;

2) в результате государственных испытаний допущены к применению в СССР;

3) удовлетворяют требованиям, указанным на самом приборе.

16. На остальные компенсаторы переменного тока с фазочувствительным нулевым прибором, требования к которым не указаны на приборе, но которые удовлетворяют всем требованиям настоящей инструкции, при государственной поверке выдается свидетельство с указанием предельных основных и фазовых погрешностей. Предельные значения основных погрешностей прямоуголь-

но-координатных компенсаторов указываются в виде следующих формул:

$$\Delta_{x \text{ макс}} = aU_{кx} + u_x,$$

$$\Delta_{y \text{ макс}} = bU_{кy} + u_y,$$

где $\Delta_{x \text{ макс}}$ и $\Delta_{y \text{ макс}}$ — предельные значения основных погрешностей показаний по шкалам компенсационных цепей X и Y , δ ;

$U_{кx}$, $U_{кy}$ — показания по соответствующим шкалам, δ ;

u_x , u_y — цены наименьших делений шкал компенсатора, δ ;

a , b — постоянные коэффициенты; a и b могут иметь только следующие значения $2 \cdot 10^{-3}$; $5 \cdot 10^{-3}$; $1 \cdot 10^{-2}$.

Фазовая погрешность измерительного сопротивления компенсационной цепи X и фазовая погрешность компенсатора указываются в радианах или минутах.

17. На компенсаторы, не удовлетворяющие какому-либо одному или ряду требований настоящей инструкции, выдается справка о том, что этот компенсатор не удовлетворяет требованиям настоящей инструкции.

ПОДБОР АППАРАТУРЫ ДЛЯ ПОВЕРКИ КОМПЕНСАТОРА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА КПТ-1 ПО ОБРАЗЦОВЫМ МЕРАМ

В качестве делителей напряжения r_d (R_D) могут быть использованы два магазина сопротивления Р-58 и Р-517 (ГОСТ 7003-54), включенные последовательно (рис. 10).

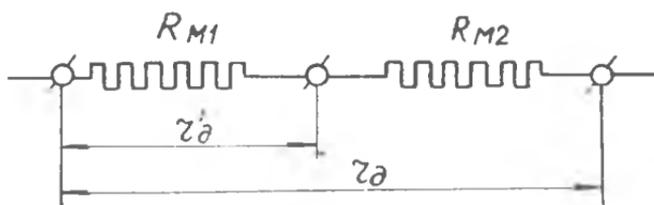


Рис. 10.

При увеличении (уменьшении) сопротивления магазина R_{M1} на некоторую величину, на такую же величину должно быть уменьшено (увеличено) сопротивление магазина R_{M2} , чтобы общее сопротивление делителя r_d (R_D) оставалось неизменным.

В качестве шунта $r_{ш}$ может быть использована безреактивная измерительная катушка сопротивления КСИБ (ГОСТ 6864—54) с номинальным сопротивлением в 10 ом .

По формуле (9) определяется минимальное значение коэффициента шунтирования n .

Например, дано

$$\begin{aligned}U_{хп} &= U_{уп} = 1,6 \text{ в}; \\ \Delta_{х \text{ мин}} &= \Delta_{у \text{ мин}} = 1 \text{ мв}; \\ r_0 &= R_0 \leq 0,02 \text{ ом},\end{aligned}$$

Из формулы (7), приняв $M = 0,01 \text{ гн.}$, определяем номинальное значение тока в первичной обмотке катушки взаимной индуктивности:

$$I = \frac{U_{уп}}{\omega M} = \frac{1,6}{314 \cdot 0,01} = 0,51 \text{ а.}$$

Принимаем $I = 0,5 \text{ а.}$

Из формулы (9) находим

$$n \geq 3r_0 \frac{I}{\Delta_{х \text{ мин}}} = 3 \cdot 0,02 \cdot \frac{0,5}{1 \cdot 10^{-3}} = 30.$$

Для простоты подсчета значений сопротивлений $r'_d = R_{м1}$, соответствующих поверяемым показаниям, выбираем $n = 50$. Тогда общее сопротивление делителя напряжения будет равно:

$$r_d = r_{ш} (n - 1) = 10 (50 - 1) = 490 \text{ ом.}$$

Значение сопротивления $R_{м1}$, определяемое по формуле (1), находится из

$$r'_d = R_{м1} = \frac{U_{хп}}{I} \cdot n = \frac{U_{хп}}{0,5} \cdot 50 = 100 \cdot U_{хп}.$$

Наименьшее значение сопротивления

$$(R_{м1})_{\text{мин}} = 100 \cdot U_{х \text{ мин}} = 100 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 1 \text{ ом},$$

что удовлетворяет формуле (10), поскольку

$$r'_{d \text{ мин}} > \frac{U_{х \text{ мин}}}{\Delta_{д \text{ мин}}} \cdot 3r_0 = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3}} \cdot 3 \cdot 0,02 = 0,6 \text{ ом},$$

т. е.

$$(R_{м1})_{\text{мин}} > r'_{d \text{ мин}}.$$

В качестве образцовой катушки взаимной индуктивности может быть использована катушка взаимной индуктивности типа КВ-1. Например, катушка КВ-1 № 21382 имеет следующие характеристики.

Действительное значение взаимной индуктивности $M_d = 0,009983 \text{ гн.}$

Индуктивность вторичной обмотки $L_2 = 0,022 \text{ гн.}$

Сопротивление вторичной обмотки $R_2 = 3,2 \text{ ом.}$

Значение сопротивления делителя определяется по формуле (13):

$$R_D > \frac{\omega L_2}{\Delta \varphi} = \frac{314 \cdot 0,022}{5,6 \cdot 10^{-3}} = 1234 \text{ ом.}$$

Для простоты подсчета значений сопротивления $R_D = R_{m1}$, принимается $R_D + R_2 = 1570$ ом, тогда R'_D , определяемое по формуле (11), будет равно

$$R'_D = (R_D + R_2) \frac{U_{ку}}{\omega MI} = 1570 \frac{U_{ку}}{314 \cdot 0,01 \cdot 0,5} = 1000 \cdot U_{ку},$$

т. е.

$$R_D = R_{m1} = 1000 \cdot U_{ку}.$$

Наименьшее значение сопротивления $R_{D \text{ мин}}$ будет равно

$$R_{D \text{ мин}} = 1000 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 10 \text{ ом}.$$

Полученное значение $R_{D \text{ мин}}$ удовлетворяет условию (12).

ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Белоусов, А. А. Степанян, О. И. Ульянов. Прямоугольно-координатный компенсатор переменного тока с фазочувствительным гальванометром, вып. 5, тема 34. П-62—59/5, ГОСИНТИ, 1962.
2. Инструкция 190—56 по поверке потенциометров переменного тока, ВНИИ комитета стандартов, мер и измерительных приборов при СМ СССР, 1956.
3. В. М. Белоусов, Ю. И. Видманов, А. А. Степанян. Методика настройки компенсаторов переменного тока с фазочувствительным индикатором. Сборник научных трудов Куйбышевского индустриального института им. В. В. Куйбышева, вып. VII, 1957.
4. Авторское свидетельство на имя Л. Ф. Куликовского, выданное за № 66781 от 30 апреля 1945 года.