

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Промышленная электроника»

Н. И. Вяхирев, В. В. Гизенко, Н. А. Красовская

МЕТРОЛОГИЯ

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
по курсу «Метрология, стандартизация
и сертификация в электронике» для студентов
специальности 1-36 04 02 «Промышленная электроника»
дневной и заочной форм обучения
В трех частях
Часть 3**

Гомель 2009

УДК 621.317(075.8)
ББК 31.221я73
В99

*Рекомендовано научно-методическим советом
факультета автоматизированных и информационных систем
ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 5 от 30.06.2008 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Информационные технологии» ГГТУ им. П. О. Сухого
А. С. Курочка

Вяхирев, Н. И.

В99 Метрология : лаборатор. практикум по курсу «Метрология, стандартизация и сертификация в электронике» для студентов специальности 1-36 04 02 «Промышленная электроника» днев. и заоч. форм обучения. В 3 ч. Ч. 3 / Н. И. Вяхирев, В. В. Гизенко, Н. А. Краковская. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009. – 81 с. – Систем. требования: РС не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Даны необходимые сведения для освоения теоретического материала и практического закрепления знаний по метрологии (профиль – радиоэлектроника). Включены две лабораторные работы по изучению компенсаторов постоянного и переменного тока.

Для студентов специальности 1-36 04 02 «Промышленная электроника» дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.317(075.8)
ББК 31.221я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2009

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

КОМПЕНСАТОРЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

1. Цель работы

Изучить устройство и принцип работы компенсаторов постоянного тока с ручным и автоматическим уравниванием. Ознакомится с назначением и типами компенсаторов постоянного тока с ручным и автоматическим уравниванием, освоить методику измерения компенсаторами ПП-63, УПП-60М и методику поверки автоматического компенсатора.

2. Основные теоретические сведения

2.1. Нулевой метод сравнения и мера ЭДС

Компенсаторы постоянного тока относятся к приборам сравнения, в которых используется нулевой метод сравнения. Применяются они для измерения активных величин – напряжения и тока. Нулевой метод сравнения заключается в том, что результат сравнения измеряемой величины с мерой сводится к нулю за счет регулировки меры.

Мерой эдс в измерительной технике служит так называемый нормальный элемент (НЭ), представляющий собой гальванический элемент с раствором из сернокислого кадмия. В НЭ может использоваться насыщенный и ненасыщенный раствор. Нормальные элементы с ненасыщенным раствором имеют очень малый температурный коэффициент ($15 \text{ мкВ на } 1^\circ\text{К}$), внутреннее сопротивление порядка 300 Ом и выдают определенное неизменное значение эдс (примерно равное 1 В) только при бесконечной нагрузке, т.е. когда по НЭ не протекает ток.

Последнее обстоятельство существенно влияет и на устройство компенсаторов, в которых в качестве меры используется нормальный элемент. В них вместо регулируемой меры эдс применяется потенциометрический делитель (ПД), по которому протекает точно установленный по нормальному элементу ток. Потенциометрический де-

литель снабжается отсчетным устройством, позволяющим считывать результат измерения.

2.2. Компенсатор постоянного тока с ручным уравниванием.

Упрощенная схема компенсатора постоянного тока с ручным уравниванием приведена на рис. 1.

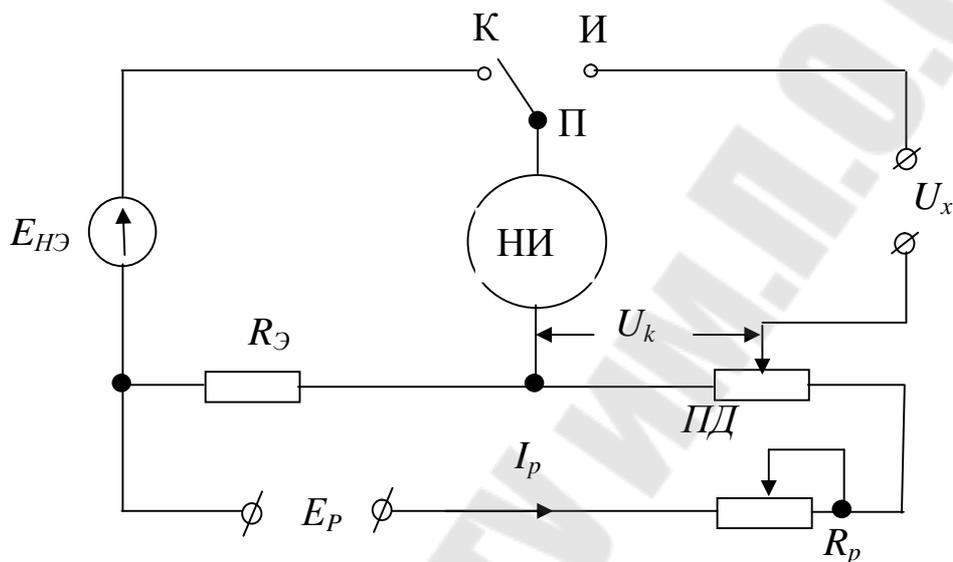


Рис. 1. Схема компенсатора постоянного тока с уравниванием

На рис. 1: $E_{HЭ}$ – ЭДС нормального элемента; $R_Э$ – эталонное сопротивление; НИ – нуль-индикатор; П – переключатель рода работы К – контроль; И – измерения; U_x – измеряемое напряжение; U_k – компенсирующее напряжение, снимаемое с потенциметрического делителя ПД.

Измерение производится в два этапа. На первом этапе переключатель П ставится в положение “К” – контроль рабочего тока, и нуль-индикатор НИ подключается для измерения разности между $E_{HЭ}$ и $I_p \cdot R_Э$. Регулируемое сопротивление R_p изменяет ток I_p до нулевого показания НИ. При этом будет выполняться равенство

$$E_{HЭ} = I_p \cdot R_Э,$$

а величина рабочего тока установится равной

$$I_p = \frac{E_{HЭ}}{R_Э},$$

т.е. будет определяться мерами эдс (НЭ) и сопротивления ($R_Э$). Следует обратить внимание, что при компенсации (т.е. при выполнении равенства $E_{HЭ} = I_p \cdot R_Э$) по НЭ ток не протекает, и он будет выдавать точные значения. Т.е. во время первого этапа по НЭ устанавливается рабочий ток I_p .

На втором этапе переключатель П переводится в положение “И” – измерение, и нуль-индикатор НИ подключается для измерения разности между измеряемым напряжением U_x и компенсирующим U_k . Перемещение движка потенциометрического делителя ПД изменяется U_k до нулевого показания НИ. При этом будет выполняться равенство

$$U_x = U_k$$

Величина введенного U_k (а значит и U_x) отсчитывается по отсчетному устройству ОУ. Необходимо отметить, что показания отсчетного устройства будут правильными только в том случае, когда правильно установлено значение рабочего тока I_p и предыдущей операции.

Наша промышленность серийно выпускает высоковольтные компенсаторы постоянного тока с ручным уравниванием Р308, Р309, Р348, Р355, Р3663, Р364, Р368 классов точности от 0,001 до 0,05 для измерения напряжения и выдачи калиброванных напряжений до 2-х, 3-х В и низковольтные компенсаторы с ручным уравниванием типа УПИП-60М, ПП63 класса точности 0,05 для измерения малых напряжений до 200 мВ и проверки автоматических компенсатором постоянного тока.

2.3. Потенциометрические делители.

Потенциометрические делители должны удовлетворять следующим потребностям:

1. Их сопротивление не должно меняться при перемещении движка, т.к. включено в цепь рабочего тока и влияет на него значение.

2. С целью исключения составляющей ошибки отсчета, зависящей от наблюдателя, ПД желательно выполнять дискретным. Это позволяет осуществить цифровой отсчет.

3. При выполнении потенциометрического делителя дискретным, он должен позволять использовать как можно меньшее число номиналов резисторов.

Эти требования удовлетворяют потенциометрические делители с последовательными и шунтирующими декадами.

На рисунке 2 приведена схема потенциометрического делителя с последовательными декадами.

В каждую декаду входит 18 резисторов одного канала. Из них 9 участвуют для формирования неизменного сопротивления декады при перемещении переключателя П этой декады. Переключатель каждой состоит из двух контактов: с помощью одного (верхнего) вводится сопротивление в цепь рабочего тока, а с помощью другого (нижнего) “выводится” такое же сопротивление из цепи рабочего тока.

Сопротивление резисторов I, II, III декад отличаются в десятки раз: например, $R_{11}=R_{12}=\dots=R_{19}=R'_{11}=\dots=R'_{19}=1$ Ом, $R_{21}=\dots=R_{29}=R'_{21}=\dots=R'_{29}=10$ Ом, $R_{31}=\dots=R_{39}=R'_{31}=\dots=R'_{39}=100$ Ом. Как видно на рисунке 2, общее сопротивление ПД при любом положении переключателей П1, П2, П3 неизменно и равно ($9 \cdot R_1 = 9 \cdot R_2 = 9 \cdot R_3$).

Недостатком такого ПД является необходимость использования трех различных номиналов резисторов для трехдекадного ПД (для 4-х разрядного – четыре и т.д.). В потенциометрических делителях с шунтирующими декадами используются только один номинал независимо от числа декад. Схема трехдекадного ПД с шунтирующими декадами приведена на рисунке 3. Каждая декада такого ПД состоит из девяти одинаковых резисторов R . Каждая последующая (младшая) декада формируется за счет шунтирования девятью резисторами номинала R одного из сопротивлений R старшей декады. Найдем падение напряжения ΔU_i на одном сопротивлении R каждой декады, обозначив индексами 1, 2, 3 падения напряжения на одном сопротивлении I, II, III декады. Ясно, что

$$\Delta U_1 = I_p \cdot R_1$$

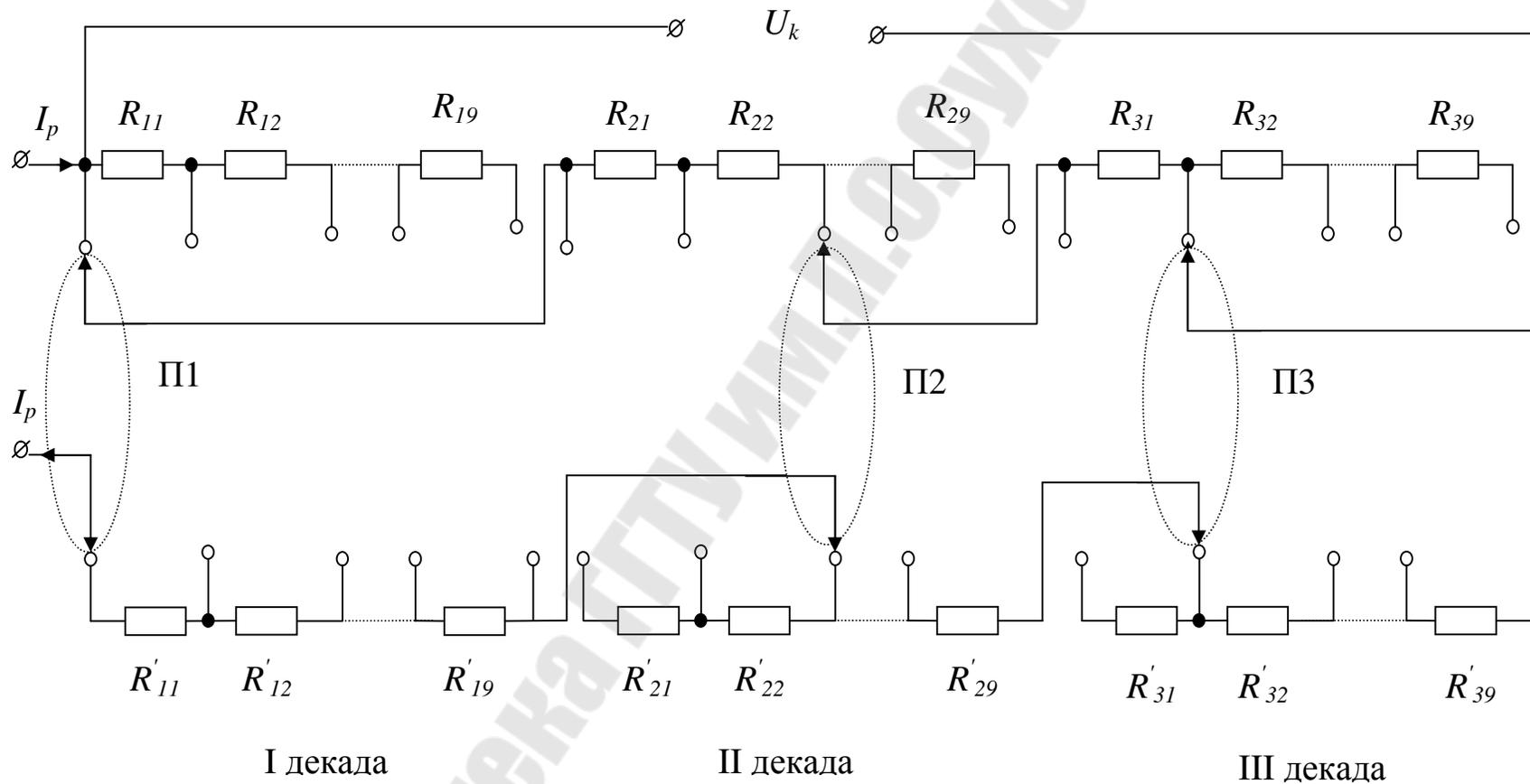


Рис.2. Схема трехдекадного потенциметрического делителя с последовательными декадами: $R_{11} \div R_{19}, R'_{11} \div R'_{19}$ – резисторы первой декады; $R_{21} \div R_{29}, R'_{21} \div R'_{29}$ – резисторы второй декады; $R_{31} \div R_{39}, R'_{31} \div R'_{39}$ – резисторы третьей декады; U_k – компенсирующее напряжение, формируемое ПД; I_p – рабочий ток; П1, П2, П3 – переключатели I, II, III декад.

Падение напряжения на элементе второй декады найдется так:

$$\Delta U_2 = I_p \cdot R_{II},$$

где $R_{II} = R \parallel 9 \cdot R = \frac{R^2 \cdot 9}{10 \cdot R} = 0,9 \cdot R$ - соответствует сопротивлению параллельно соединенных: сопротивления одного элемента первой декады и девяти резисторов R второй декады, а падение на 9 соответствует тому, что определяется падение на одном элементе второй декады.

Учитывая значение R_{II} , можно получить:

$$\Delta U_2 = \frac{I_p \cdot 0,9 \cdot R}{9} = 0,1 \cdot I_p \cdot R,$$

т.е. падение напряжения на одном элементе второй декады в десять раз меньше падения напряжения на элементе первой декады.

Аналогично можно показать, что

$$\Delta U_3 = 0,01 \cdot I_p \cdot R,$$

т.е. ΔU_3 в десять раз меньше ΔU_2 и в сто раз меньше ΔU_1 .

Если обозначить через n_1, n_2, n_3 – номер соответственно I, II, III декады, с которого снимается напряжение на следующую декаду, то снимаемое такое ПД компенсирующее напряжение будет:

$$U_k = n_1 \cdot I_p \cdot R + 0,1 \cdot n_2 \cdot I_p \cdot R + 0,01 \cdot n_3 \cdot I_p \cdot R = I_p \cdot R \cdot (n_1 + 0,1 \cdot n_2 + 0,01 \cdot n_3).$$

Рассмотренные потенциметрические делители применяются в высоковольтных компенсаторах постоянного тока, например, в Р309, Р348, Р355, Р363, предназначенных для измерения напряжений до 2 В. В компенсаторах, предназначенных для измерения малых напряжений (до 100 мВ), применяются такие потенциметрические делители, в которых из цепи компенсирующего напряжения исключаются переключающиеся контакты, т.к. они могут значительно исказить результат формирования U_k . Схема такого потенциметрического делителя приведена на рисунке 4. Как видно из него, цепь U_k не разрывается при переключении переключателей П1 и П2 включено последовательно с резисторами R_1 и R_2 , сопротивление которых во много раз

больше и сопротивлений контактов П1 и П2 и сопротивлений резисторов r , с которых снимается U_{κ} . Так как $R_1 \gg r$ и $R_2 \gg r$, то значения токов I_1 и I_2 определяется только значениями $E_{всп}$, R_1 и R_2 :

$$I_1 = \frac{E_{всп}}{R_1}; \quad I_2 = \frac{E_{всп}}{R_2}.$$

Обозначив n_1 и n_2 число введенных сопротивлений соответственно переключателями П1 и П2, компенсирующее напряжение U_{κ} определяются так:

$$U_{\kappa} = n_1 \cdot I_1 \cdot r + n_2 \cdot I_2 \cdot r.$$

Если выбрать $I_2 = 0,1 \cdot I_1$ и учесть, что $I_p = I_1 + I_2$, то

$$U_{\kappa} = \frac{r \cdot I_p}{1,1} \cdot (n_1 + 0,1 \cdot n_2)$$

т.е. по введению n_1 и n_2 можно, с учетом I_p , отсчитывать U_{κ} , а значит и U_x .

Рассмотренный потенциометрический делитель используется в низковольтных компенсаторах с ручным уравниванием типа ПП-63, УПИП-60М класса точности 0,05.

2.4. Автоматические компенсаторы постоянного тока.

Отечественной промышленностью не выпускаются высококлассные (0,1 и лучше) автоматические компенсаторы постоянного тока, т.к. процесс уравнивания в компенсаторах постоянного тока прост и не требует больших временных затрат.

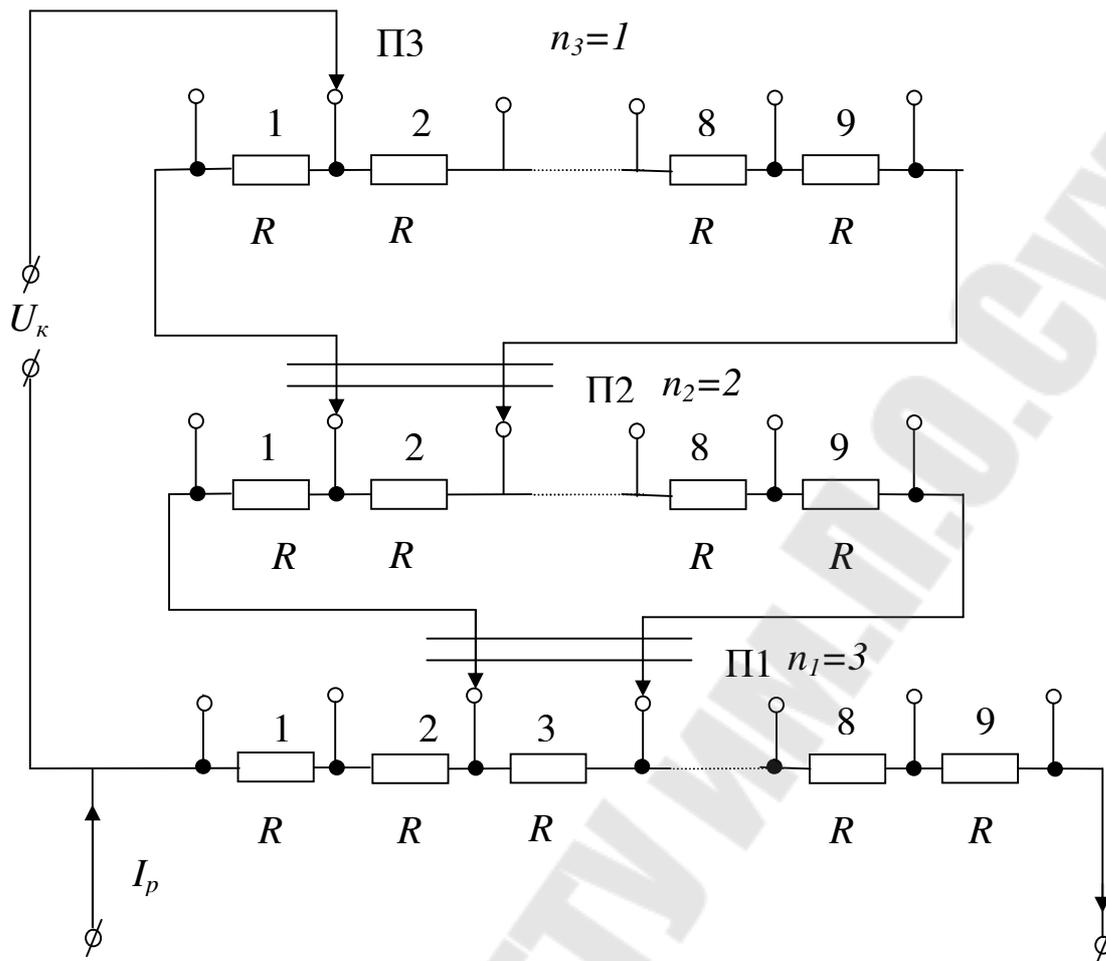


Рис.3. Схема трехдекадного потенциметрического делителя с шунтирующими декадами.

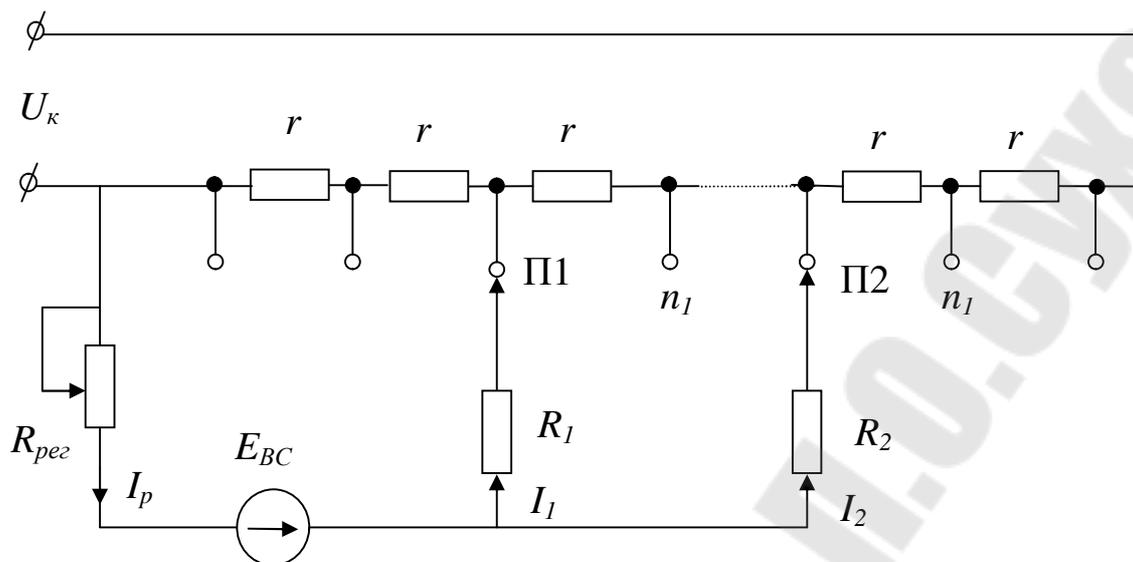


Рис.4. Схема потенциметрического делителя низковольтного компенсатора.

Серийно выпускаются автоматические компенсаторы типа ЭПД, КСП классов точности $0,5 \div 2,0$, основное назначение которых – измерение ЭДС термопар с целью автоматического контроля температуры технологических объектов и автоматизации производственных процессов. Такие автоматические компенсаторы для возможности использования их при автоматизации производственных процессов снабжаются различного рода контактными устройствами, используемыми при релейном регулировании, и реостатными датчиками, используемыми в системах непрерывного регулирования.

Упрощенная функциональная схема такого автоматического компенсатора приведена на рис.5.

Переключатель П2 в положении К осуществляет механическое соединение движка потенциметра $R_{рег}$ с выходным валом Р. Переключатели П1 и П2 переводятся в положение К одновременно, и в этом случае происходит автоматическое установление рабочего тока I_p . После установки рабочего тока переключатели П1 и П2 переводятся в положение И, при котором происходит измерение эдс термопары ТП. Результат измерения отсчитывается по отсчетному устройству ОУ и записывается на диаграммной бумаге ДБ пишущим элементом, укрепленном на каретке К.

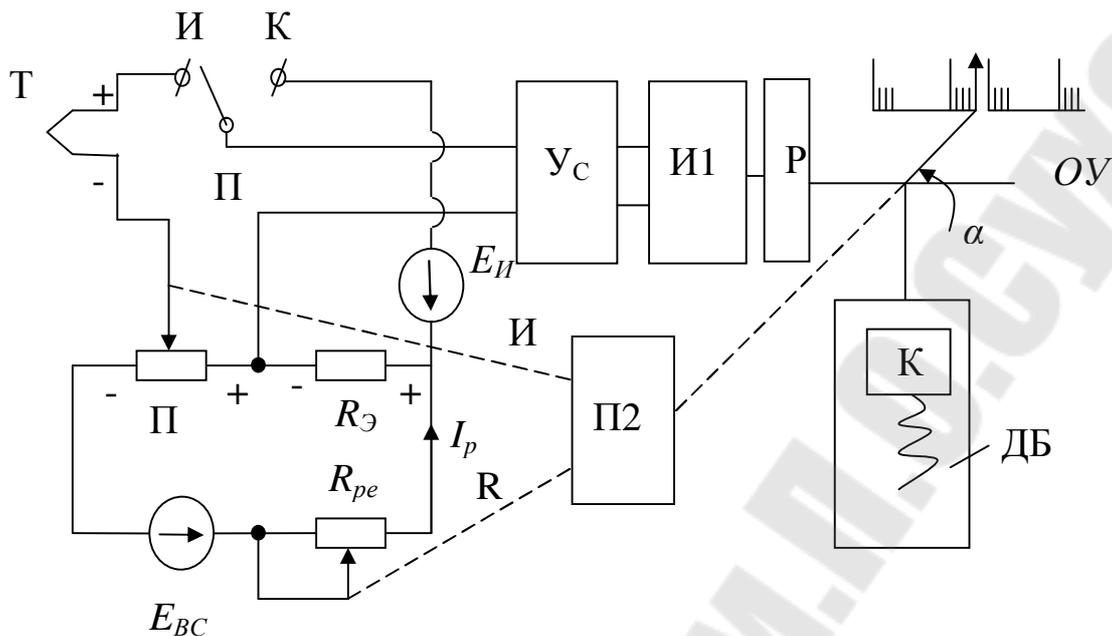


Рис.5. Функциональная схема автоматического компенсатора постоянного тока: $У_c$ – усилитель; ИД – исполнительный двигатель; Р – редуктор; ОУ –отсчетное устройство; К – каретка; ДБ – диаграммная бумага; И – измерения; К – контроль; П1, П2 – переключатели; ПД – потенциметрический делитель; $R_{э}$ – эталонное сопротивление; $R_{рег}$ – регулируемое сопротивление; $E_{всп}$ – ЭДС вспомогательного источника питания; $E_{ИЭ}$ – ЭДС нормального элемента; ТП – термомпара; I_p – рабочий ток.

Автоматические компенсаторы постоянного тока выполняются и многоканальными (3-х, 6-ти, 12-ти канальные) с целью контроля температуры в разных точках. В таких автокомпенсаторах отсутствуют вспомогательные устройства для регулирования, а запись осуществляется печатанием цветных точек с номера канала.

3. Используемое оборудование и схемы эксперимента

3.1. Используемое оборудование:

1. Потенциометр постоянного тока ПП-63 (УПИП-60М).
2. Цифровой вольтметр В7-27.
3. Автоматический компенсатор постоянного тока КСП4 (КСП2).

4. Источник регулируемого напряжения постоянного тока ИРН.
5. Делитель напряжения ДН.
6. Лабораторный планшет №11.

Приборы ПП-63 (УПИП-60М), В7-27, КСП4 (КСП2) располагаются на лабораторном столе; источник ИРН встроен в лабораторный стенд; ДН встроен в лабораторный планшет №11.

Принцип работы приборов ПП-63, УПИП-60М, КСП4, КСП2 и правила пользования ими приведены в приложениях П1-П4 данных методических указаний. Описание и правила работы с цифровым вольтметром В7-27 приведены в методических указаниях «Электроизмерительные приборы» по курсу «Основы метрологии и электрические измерения».

Источник регулируемого напряжения (ИРН) позволяет устанавливать любые значения напряжения постоянного тока от 0 до 30В и имеет два регулятора грубой и плавной настройки.

Делитель напряжения (ДН) осуществляет деление напряжения примерно в 300 раз с тем, чтобы получить значения напряжения, которые могут быть измерены компенсатором ПП-63 (УПИП-60М).

3.2. Схемы эксперимента

Схемы эксперимента приведены на рисунках 6 и 7. На рис.6 приведена схема проверки цифрового вольтметра В7-27, а на рис.7 – схема поверки автоматического компенсатора.

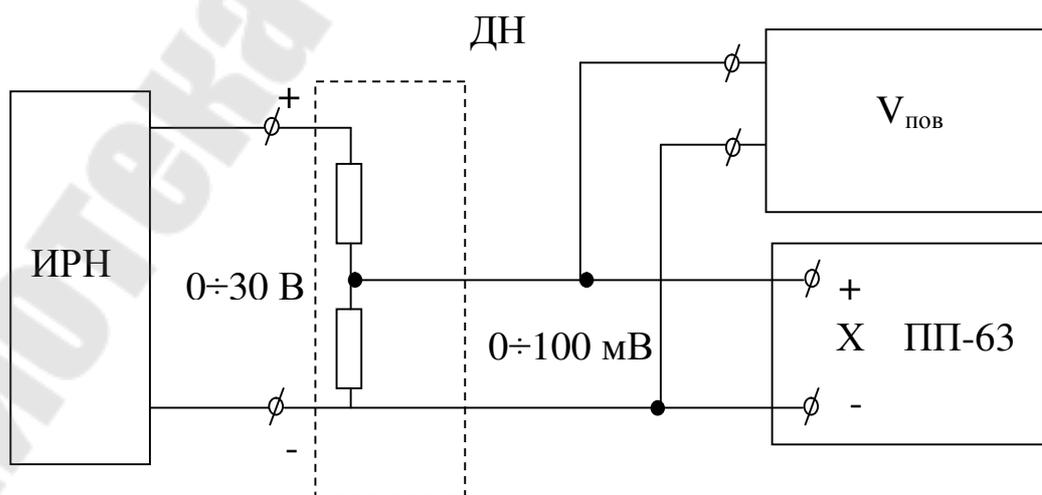


Рис.6. Схема поверки вольтметра: ИРН – источник регулируемого напряжения; ДН – делитель напряжения; V_{пов} – поверяемый

вольтметр; ПП–63 – компенсатор постоянного тока, используемый в качестве образцового прибора.

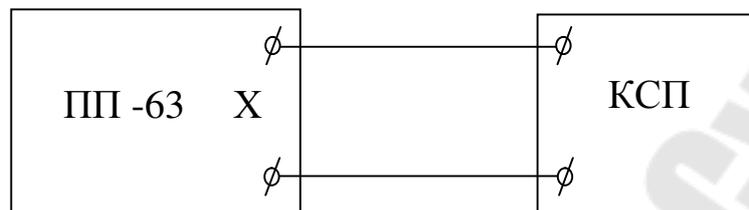


Рис.7. Схема поверки автоматического компенсатора: КСП – поверяемый автоматический компенсатор; ПП-63 - компенсатор постоянного тока с ручным уравниванием, используемый в качестве источника регулируемого напряжения и образцового прибора.

4. Требования по технике безопасности

Каждый студент в начале семестра перед выполнения лабораторных работ по курсу «Основы метрологии и электрические измерения» обязан пройти инструктаж по технике безопасности с соответствующим оформлением журнала регистрации инструктажа по технике безопасности.

5. Последовательность выполнения работы.

5.1. Произвести поверку цифрового вольтметра В7-27 на пределе 100 мВ. Для этого:

- 5.1.1. Собрать схему эксперимента, приведенную на рис.6.
- 5.1.2. Включить компенсатор ПП-63 (УПИП-60М) и установить рабочий ток.
- 5.1.3. Включить ИРН, В7-27 и убедиться в правильности подачи полярности напряжения на потенциометр (В7-27 автоматически показывает полярность).
- 5.1.4. Устанавливая на выходе ДН по цифровому вольтметру значения напряжения примерно через 10 мВ, измерить их с помощью компенсатора ПП-63 (УПИП-60М).
- 5.1.5. Результаты выполнения п. 5.1.4. свести в таблицу №5.1

Результаты поверки В7-27

$U_{\text{пов}}[\text{мВ}]$	
ПП-63[мВ]	
ΔU	
$\delta_{\text{отн}}[\%]$	
$\delta_{\text{пр}}[\%]$	

5.1.6. По результатам п.п. 5.1.4 и 5.1.5 вычислить: - абсолютную погрешность $\Delta U = U_{\text{пов}} - U_{\text{обр}}$, где $U_{\text{пов}}$, $U_{\text{обр}}$ – показания соответственно поверяемого и образцового приборов;

– относительную погрешность

$$\delta_{\text{отн}} = \frac{\Delta U_i}{\Delta U_{\text{обр}i}} \cdot 100 \%,$$

где i – номер опыта

– приведенную погрешность

$$\delta_{\text{пр}} = \frac{\Delta U_i}{\Delta U_{\text{макс}}} \cdot 100 \%,$$

где $U_{\text{макс}}$ – максимальное значение измеренного напряжения.

5.1.7. По результатам п. 5.1.6. установить к какому классу точности можно отнести поверяемый цифровой вольтметр на этом пределе измерения.

5.2. Произвести поверку автоматического компенсатора постоянного тока.

5.2.1. Собрать схему эксперимента приведенную на рис.7.

5.2.2. Переключить ПП-63 (УПИП-60М) в режиме поверки автоматических компенсаторов постоянного тока.

5.2.3. Проверить и установить в случае необходимости рабочий ток ПП-63 (УПИП-60М).

5.2.4. Включить КСП и убедитесь в правильности подключения полярности входных концов КСП к ПП-63, изменяя регулятором Р3, Р4 (см. рис. П.1-1 приложения 1) напряжение подаваемое на КСП. В случае правильного соединения указатель КСП будет перемещается и останавливаться в пределах шкалы. Если указатель уходит в лево – полярность неправильная. Если указатель безразличен к изменениям

входного сигнала – неправильно установлен переключатель каналов. Необходимо, чтобы выходной сигнал подавался на каналы 1-6. Для правильной установки каналов нужно включить КСП на «запись», – в этом случае каналы начинают переключаться. Остановкой записи нужно установить необходимый (от первого до шестого) канал.

5.2.5. Устанавливая с помощью регуляторов Р3 и Р4 ПП-63 указатель КСП на оцифрованные (в мВ) точки шкалы, измерить соответствующие им значения напряжения компенсатором ПП-63 дважды: при движении от нуля к максимальному значению и обратно.

5.2.6. Результаты выполнения п. 5.2.5. свести в таблицу №5.2.

Таблица 5.2

Результаты поверки КПС

$U_{\text{ксп}}$ [мВ]	
$U_{\text{обр}}$ [мВ]	→
$U_{\text{обр}}$ [мВ]	←
ΔU	→
ΔU	←
$\delta_{\text{пр}}$ [%]	→
$\delta_{\text{пр}}$ [%]	←

5.2.7. По результатам п.п. 5.2.5. и 5.2.6. вычислить абсолютные и приведенные значения погрешностей для каждой точки. Стрелки в таблице 5.2. соответствуют измерениям, проведенным при увеличении

(→) и уменьшении (←) входного напряжения; $U_{\text{ксп}}$ – показания КСП; $U_{\text{обр}}$ – показания ПП-63.

5.2.8. По результатам п.п. 5.2.7. установить к какому классу точности можно отнести данный автоматический компенсатор.

6. Содержание отчета.

Отчет должен содержать цель работы, схемы компенсатора с ручным уравниванием и автоматического компенсатора, схемы эксперимента и результаты, полученные при выполнении п.п. 5.1. и 5.2.

7. Контрольные вопросы.

1. Что такое мера?
2. Назовите меры ЭДС.
3. Назначение и устройство нормального элемента.
4. В чем заключается компенсационный метод измерения?
5. Назначение потенциметрических делителей.
6. Устройство потенциметрических делителей с последовательными и шунтирующими декадами.
7. Устройство потенциметрических делителей низковольтных компенсаторов.
8. Назначение рабочего тока.
9. Упрощенная схема компенсатора с ручным уравниванием и принцип работы компенсатора.
10. Назначение нуль-индикатора.
11. Как должны быть включены измеряемое и компенсирующее, напряжения – встречно или согласно? Почему?
12. Какими мерами определяется точность измерения компенсатора.
13. Цель и содержание операций в положении переключателя «К» (контроль) и «И» (измерение).
14. В чем заключается поверка вольтметра?
15. Назначение делителя напряжения в лабораторной работе.
16. Что такое ИРН и его назначение.
17. Выпускаются ли точные (класса 0,1 и лучше) автоматические компенсаторы с ручным уравниванием?
18. Назначение и класс точности промышленных автоматических компенсаторов постоянного тока.
19. Упрощенная схема и работа автоматического автокомпенсатора постоянного тока.
20. Схема поверки автоматического компенсатора постоянного тока.
21. Что такое термопара?
22. Назначение регулирующих устройств промышленных автоматических компенсаторов постоянного тока.

Список литературы

1. Электрические измерения / Байда Л.И., Добровольский Н.С., Душин Е.М. и др.; Под ред. А.В. Фремке. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1973.
2. Основы электроизмерительной техники; под ред. М.И. Левин. – М.: Энергия, 1972.
3. Электрические измерения: Учебное пособие для втузов / Дьяченко К.П., Зорин Д.И., Новицкий П.В. и др.; Под ред. Е.Г. Шрамкова. – М.: Высшая школа, 1972.
4. Электрические измерения: Учебник для вузов / Байда Л.И., Добровольский Н.С., Душин Е.М. и др.; Под ред. А.В. Фремке и Е.М. Душина. – 5-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1980.
5. Электроизмерительные приборы: Методические указания к раторным занятиям по курсу «Основы метрологии и электрические измерения»; Гомель: Ротапринт ГПИ, 1985.
6. Метрология и радиоизмерения : учеб. пособие для вузов / Б.В.Дворяшин. - Москва : Академия, 2005.
7. Электрорадиоизмерения : учебник / В. Ю. Шишмарев, В. И. Шанин. – Москва: Академия, 2004.
8. Основы стандартизации, метрологии, сертификации : учебник / О. П. Яблонский, В. А. Иванова. - Ростов-на-Дону : Феникс, 2004.
9. Потенциометр постоянного тока ПП-63. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
10. Универсальный переносной измерительный прибор УПИП-60М. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
11. Автоматический потенциометр КСП4. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
12. Потенциометр самопишущий КСП2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №12

КОМПЕНСАТОРЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

1. Цель работы

Ознакомление с компенсационным методом измерения на переменном токе, с особенностями и назначением компенсаторов переменного тока, с устройством компенсатора переменного тока К509 и приобретение навыков работы с ним.

2. Основные теоретические сведения

2.1. Компенсационный метод измерения

Компенсационным методом относится к нулевым методам сравнения, в которых измеряемая величина сравнивается с мерой, а разность между измеряемой величиной и мерой сводится к нулю за счет изменения меры. Результат измерения определяется по отсчётному устройству меры и равен введённому значению меры.

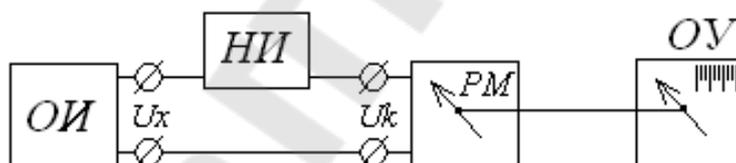


Рис.1. Блок-схема, поясняющая компенсационный метод измерения

Компенсационный метод используется для измерения активных величин – напряжения, тока. Блок-схема, иллюстрирующая компенсационный метод приведена на рис.1, где: U_x – измеряемое напряжение; ОИ – объект измерения; РМ – регулируемая мера напряжения; U_k – компенсирующее напряжение, формируемое мерой РМ; ОУ – отсчётное устройство, по которому отсчитывается введённое значение меры; НИ – нуль-индикатор, показывающий нуль при равенстве $U_x = U_k$.

Основные достоинства компенсационного метода:

- Отсутствие потребления энергии от объекта измерения после выполнения условия компенсации $U_x = U_k$, так как в этом случае

ток между *OИ* и *PM* не протекает, а входное сопротивление измерительного устройства, реализующего компенсационный метод, равно бесконечности.

- Высокая точность, обусловленная классом точности используемых мер. Точность измерения будет зависеть также от точности отсчётного устройства, которая должна соответствовать классу точности мер.

Особенностью измерений на переменном токе является то, что переменное напряжение (ток) при известной частоте характеризуется двумя параметрами:

- амплитудой синусоидальных колебаний;
- начальной фазой ψ или фазовым сдвигом φ измеряемого напряжения (тока) относительно какого-то «опорного» напряжения (тока).

Вольтметры переменного тока измеряют только один из этих параметров – амплитуду, причём шкалы их градуируются в действующих значениях.

Компенсаторы переменного тока измеряют оба параметра переменного напряжения (тока). Как известно, для расчёта цепей синусоидального тока в установившемся режиме пользуются комплексным методом, при котором параметры синусоидального напряжения (тока) отражаются комплексными числами, а это позволяет пользоваться для наглядности векторными диаграммами, строящимися на комплексной плоскости. Комплексные числа, как известно, могут представляться в алгебраической и показательной форме. В соответствии с этим компенсаторы переменного тока могут измерять либо ортогональные составляющие \dot{U}_x и \dot{U}_y (сдвинутые по фазе на 90° друг относительно друга) вектора переменного напряжения \dot{U} , либо его модуль U и фазовый сдвиг φ относительно какого-то «опорного» напряжения \dot{U}_{on} (рис.2). Причём расположение ортогональных осей, в которых измеряются составляющие вектора переменного напряжения, также задаётся «опорным» напряжением \dot{U}_{on} , а точнее его начальной фазой (рис.2).

Выражается вектор переменного напряжения при этом следующим образом:

$$\underline{U} = Uk + jUy = U \cdot e^{j\varphi}$$

Компенсаторы переменного тока, измеряющие модуль и фазу переменного напряжения называются полярными или полярно-координатными, а компенсаторы, измеряющие ортогональные составляющие, называются прямоугольно-координатными.

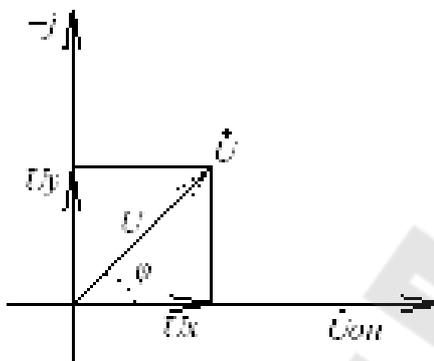


Рис.2. Представление вектора переменного напряжения \dot{U} либо ортогональными составляющими \dot{U}_x, \dot{U}_y , либо модулем U и фазовым сдвигом φ относительно опорного напряжения \dot{U}_{on} .

2.2. Полярные компенсаторы переменного тока

Блок-схема полярного компенсатора приведена на рис.3, где: ФЭВ – фазовращатель (устройство, позволяющее регулировать фазу выходного напряжения); \dot{U}_k - компенсирующее напряжение; П – потенциометр, позволяющий регулировать амплитуду компенсирующего напряжения; НИ – нульиндикатор; \dot{U} - измеряемое напряжение; \dot{U}_{on} - опорное напряжение.

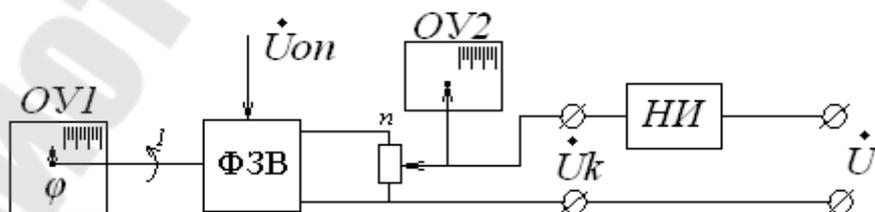


Рис.3. Блок-схема полярного компенсатора переменного тока

Как видно из блок-схемы, приведённой на рис.3, измеряемое напряжение \dot{U} сравнивается с компенсирующим \dot{U}_k с помощью нуля-индикатора НИ. Компенсирующее напряжение формируется с помощью фазовращателя ФЭВ и потенциометра П. Положение движка потенциометра контролируется отсчётным устройством ОУ2, а фаза выходного напряжения ФЭВ относительно опорного ОУ1. Путём последовательных регулировок фазы φ и модуля \dot{U}_k добиваются нулевого показания нуля-индикатора. В этом случае $\dot{U}_k = \dot{U}_\varphi$ а отсчётные устройства покажут параметры измеряемого вектора напряжения \dot{U} в полярных координатах.

В качестве фазовращателей используют трёхфазные или двухфазные асинхронные макромашинны, в статоре которых создаётся вращающееся магнитное поле, начальная фаза которого задаётся опорным напряжением \dot{U}_{on} . В роторной цепи в этом случае наводится напряжение, фазовый сдвиг которого относительно \dot{U}_{on} зависит от угла поворота ротора.

Полярные компенсаторы используются в различных измерительных устройствах составными частями, но серийно, как самостоятельные приборы, не выпускаются.

2.3. Прямоугольно-координатные компенсаторы переменного тока

Блок-схема прямоугольно-координатного компенсатора приведена на рис.4, где \mathcal{U} - изменяемое напряжение; НИ – нуля-индикатор; \mathcal{U}_{kn} - компенсирующее напряжение; \mathcal{U}_{kx} , \mathcal{U}_{ky} - ортогональные составляющие вектора \mathcal{U} ; \mathcal{I}_n - опорный ток, с начальной фазой которого совпадает составляющая \mathcal{U}_{kx} ; P_{kx} , P_{ky} - потенциометры с нулевой средней точкой, позволяющие формировать напряжения, проходящие через нуля и изменяющие фазу на 180° ; ФСУ 90° – фазосдвигающее устройство, осуществляющее сдвиг выходного напряжения на 90° относительно входного; Rш - шунт, формирующий входной сигнал ФСУ.

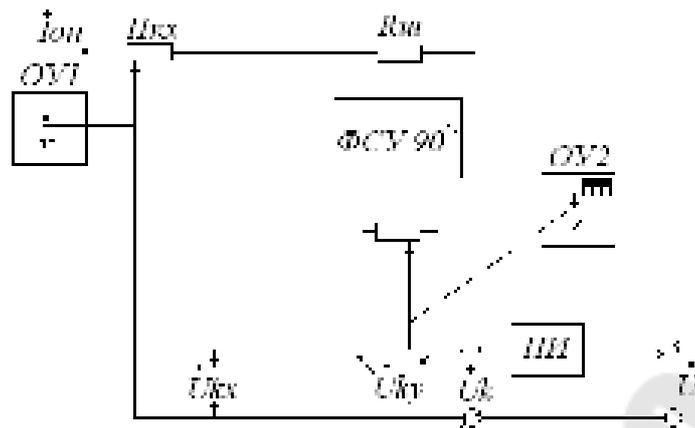


Рис.4. Блок-схема прямоугольно-координатного компенсатора переменного тока

В прямоугольно-координатных компенсаторах компенсирующее напряжение $U_{\&k}$ формируется суммированием двух напряжений $U_{\&kk}$ к $U_{\&ky}$, сдвинутых по фазе друг относительно друга на 90° ; фаза $U_{\&kk}$ совпадает с фазой опорного тока $I_{\&n}$ (рис.5), а фаза $U_{\&ky}$ сдвигается относительно тока $I_{\&n}$ с помощью фазосдвигающего устройства ФСУ 90° на 90° :

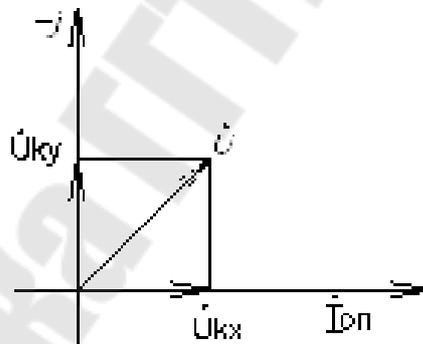


Рис. 5. Векторная диаграмма, поясняющая формирование $U_{\&k}$ в прямоугольно-координатных компенсаторах переменного тока

Изменение величины $U_{\&kk}$ и $U_{\&ky}$ осуществляется с помощью потенциометра $П_{кx}$ и $П_{кy}$, а отсчёт ортогональных составляющих измененного вектора производится по отсчётным устройствам ОУ1 (составляющая X, совпадающая по фазе с током $I_{\&n}$) и ОУ2 (составляющая Y, сдвинутая по фазе относительно тока $I_{\&n}$ на 90°). Отсчёт производится после окончания процесса уравнивания, т.е. после

достижения нулевого показания нульиндикатора в результате последовательных перемещений движков $П_{кx}$ и $П_{кy}$.

При формировании 90° -го сдвига обычно используется естественный сдвиг на 90° между током и напряжением в реактивных элементах – емкости и индуктивности.

В серийно выпускаемом прямоугольном-координатном компенсаторе переменного тока К509 для формирования 90° -го сдвига используется индуктивность – воздушный трансформатор, имеющий первичную и вторичную обмотки, так как он позволяет также гальванически разделить вторичную цепь, в которую включается потенциометр $П_{кy}$ от опорного тока $I_{оп}$.

2.4. Измерение прямоугольно-координатным компенсатором тока и комплексных сопротивлений

2.4.1. Измерение тока

Для измерения тока компенсатором ток необходимо преобразовать в напряжение. Схема измерения тока прямоугольно-координатным компенсатором приведена на рис.6, где $R_{э}$ – эталонное сопротивление, с помощью которого измеряемый ток I преобразуется в напряжение U_i ; ВТ – воздушный трансформатор, формирующий 90° -ный сдвиг по фазе $U_{кy}$ относительно $U_{кx}$; остальные обозначения те же, что и на рис.4.

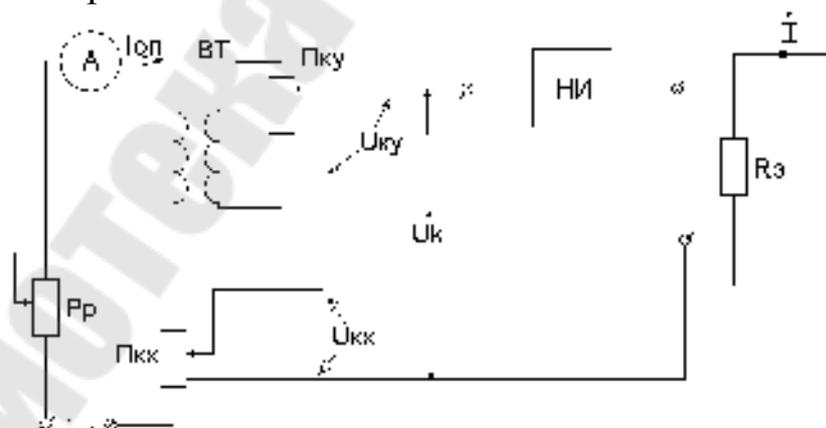


Рис.6. Схема измерения параметров тока I с помощью прямоугольно-координатного компенсатора

После уравнивания \dot{U}_k и определения по отсчётным устройствам U_{kx} и U_{ky} , определяются ортогональные составляющие тока:

$$\dot{I}_k = I_k + jI_y = \frac{U_{kx}}{R_{\Sigma}} + j \frac{U_{ky}}{R_{\Sigma}},$$

а могут быть также найдены модуль измеряемого тока I и его фазовый сдвиг φ относительно опорного тока:

$$\dot{I}_k = I e^{j\varphi}$$

$$I = \frac{\sqrt{U_{kx}^2 + U_{ky}^2}}{R_{\Sigma}}, \quad \varphi = \arctg \frac{\text{Im}[\dot{I}_k]}{\text{Re}[\dot{I}_k]} = \frac{U_{ky}}{U_{kx}} \quad (1)$$

При измерениях необходимо помнить, что измеряемый \dot{I}_k и опорный \dot{I}_n токи должны иметь одинаковую частоту и питаться от одной сети. В противном случае измерения не имеют смысла.

На рис.6 показаны также амперметр А и реостат R_p. Они необходимы для установки точного значения опорного тока \dot{I}_n , при котором отсчёты по шкалам отсчётным устройств соответствуют напряжению.

2.4.2. Измерение комплексных сопротивлений с помощью прямоугольно-координатного компенсатора

Для этого комплексное сопротивление должно быть преобразовано в напряжение, гальванически несвязанное с цепью опорного тока. Удобнее всего это делать с помощью высокоточного трансформатора ТТ с единичным коэффициентом трансформации, как это показано на рис.7.

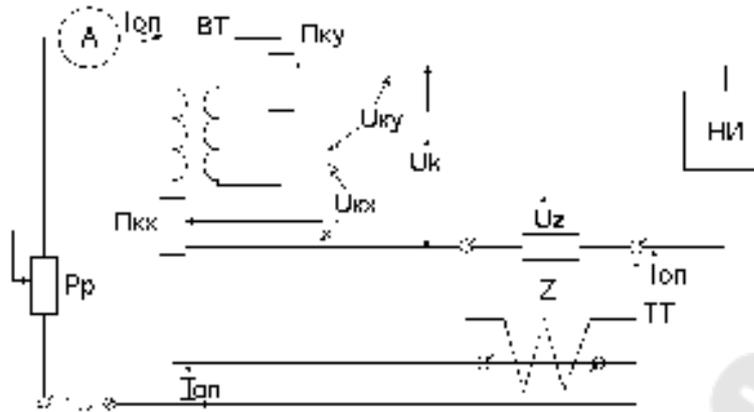


Рис.7. Схема измерения параметров комплексного сопротивления \underline{Z} с помощью прямоугольно-координатного компенсатора

После уравнивания \dot{U}_z и определения по отсчётным устройствам соответствующих U_{kx} и U_{ky} находятся активная R и реактивная X составляющие \underline{Z} , а также его модуль и аргумент по формулам:

$$R = \frac{U_{kx}}{I_{0n}} \quad X = \frac{U_{ky}}{I_{0n}} \quad (2)$$

$$Z = \frac{\sqrt{U_{kx}^2 + U_{ky}^2}}{I_{0n}} \quad \varphi_z = \arctg \frac{U_{ky}}{U_{kx}} \quad (3)$$

так же:

$$\underline{Z} = \frac{\underline{U}_z}{I_{0n}} = \frac{U_{kx}}{I_{0n}} + j \frac{U_{ky}}{I_{0n}} = R + jK = Ze^{j\varphi_z}$$

Параметры параллельной схемы находятся по формулам:

$$R_{нар} = \frac{Z}{\cos \varphi_z} \quad X_{нар} = -\frac{Z}{\sin \varphi_z} \quad (4)$$

(см. Методические указания к лабораторной работе №4 «Измерение комплексных сопротивлений фазометрическим и ваттметровым методами»).

Характер реактивности определяется знаком U_{ky} . Однако надо иметь в виду, что при несогласованном включении \underline{U}_z или обмоток трансформатора тока ТТ – может оказаться отрицательным U_{kx} . При этом R , вычислено по формуле (2), получается отрицательным. В

этом случае для получения правильного вывода о характере реактивности надо в формуле (2) изменить знак U_{kx} и U_{ky} на обратный.

Для получения правильного вывода о характере реактивности можно пользоваться и векторной диаграммой, на которой откладываются \dot{U}_{kx} , \dot{U}_{ky} и \dot{I}_{on} - см. рис.8.

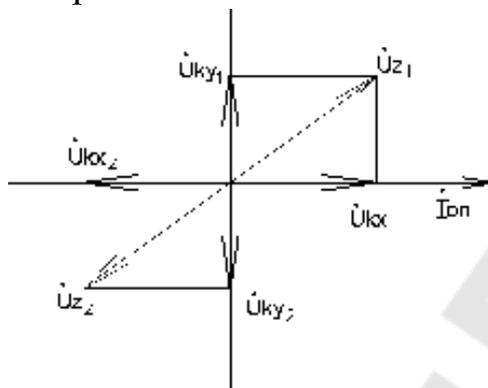


Рис.8. Векторная диаграмма, позволяющая правильно определить характер реактивности

На векторной диаграмме, приведённой на рис.8, случай (1) соответствует согласованному включению, а случай (2) – несогласованному. Как видно, вектор \dot{U}_{z} в обоих случаях опережает опорный ток (сдвиг не может быть больше 90°), что говорит об индуктивном характере комплексного сопротивления.

3. Аппаратура и схема эксперимента

В лабораторной работе измерения проводятся компенсатором переменного тока К509. Ниже приводится упрощенная его схема, его состав и порядок уравнивания. Более подробно сведения о нем помещены в приложении, где приводятся выписки из его технического описания.

3.1. Компенсатор переменного тока К509

3.1.1. Упрощенная схема прямоугольно-координатного компенсатора переменного тока К509

Упрощенная схема компенсатора переменного тока К509 приведена на рис.9.

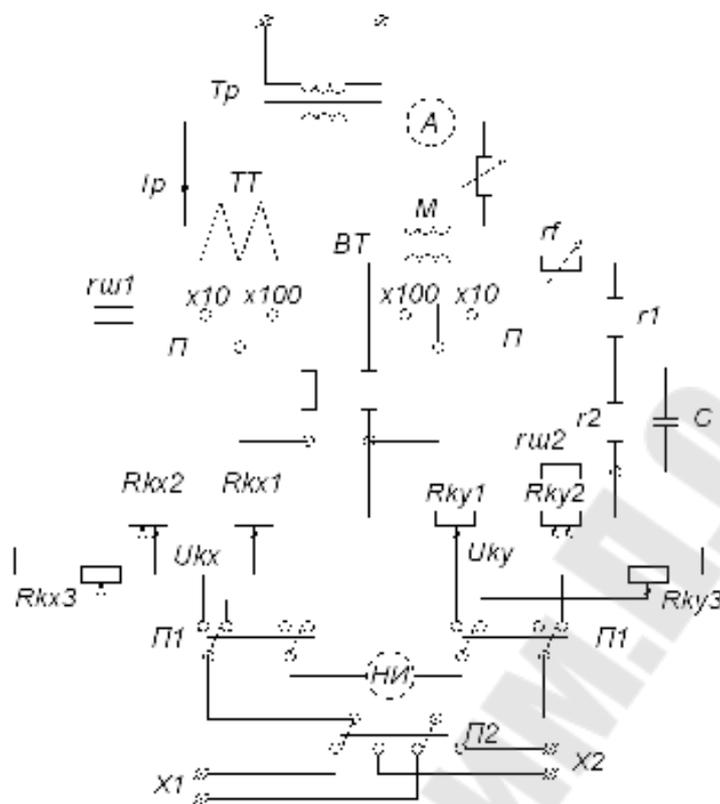


Рис.9. Упрощенная схема прямоугольно-координатного компенсатора переменного тока К509

Тр – разделительный трансформатор. I_p – рабочий ток потенциометра, равный 0,5 А. В цепь рабочего тока включены первичные обмотки трансформатора тока ТТ и катушки взаимной индуктивности М (воздушный трансформатор ВТ). Параллельно вторичной обмотке ТТ включены последовательно соединенные реохорд R_{kx1} сопротивлением в 1 Ом и магазин сопротивлений R_{kx2} , состоящий из 15 секций по 10 Ом каждая. В контур квадратурной составляющей (вторичная обмотка ВТ), включены: реохорд R_{ky1} сопротивлением в 1 Ом, магазин сопротивлений R_{ky2} с 15-ю секциями по 10 Ом каждая, магазин r_f , цепочка r_1, r_2, C , корректирующая фазовый недосдвиг до 90° . Магазин r_f позволяет поддерживать ток во вторичной цепи воздушно-го трансформатора неизменным, при разных частотах питающего тока. Магазины сопротивлений R_{kx3} и R_{ky3} включены по схеме делителя с шунтирующими декадами (см. лаб. Работу №11 «Компенсаторы постоянного тока») и позволяют увеличить разрешающую способность отсчета. Параметры синфазного и квадратурного контуров подобраны так, что при включении переключателей П в положение

“Х100” предел измерения потенциометра по каждой оси составляет 1,6В, а общая величина измеряемого напряжения \dot{U} равна:

$$\dot{U} = (\pm 1,6 \pm j 1,6) \text{ В}$$

При включении переключателей П в положение “Х10” предел измерения потенциометра с помощью шунтов гш1 и гш2 уменьшается в 10 раз и равен 0,16В по каждой оси.

Переключатели П1 позволяет изменять полярность составляющих компенсирующего напряжения \dot{U}_k на 160° , что обеспечивает уравнивание напряжения \dot{U} в любом из четырех квадратов.

Компенсатор К509 имеет два независимых входа Х1 и Х2 для подключения измеряемых напряжений \dot{U} . Включение соответствующей измеряемой величины осуществляется с помощью переключателя П2.

3.1.2 Комплект компенсатора переменного тока К509

В комплект компенсатора К509 входят (см. рис. 10):

1. Блок синфазной составляющей К516 (ось Х), где формируется компенсирующее напряжение \dot{U}_{kx} и встроен делитель, позволяющий измерять напряжение до 600В на следующих пределах: 1,5; 3; 7,5; 15; 30; 75; 150; 300; 600В. На лицевой панели этого блока расположены зажимы подключения измеряемых напряжений величиной до 1,6В, на задней – зажимы «Х3» для подключения измеряемых напряжений, больших 1,5В (вход встроенного делителя напряжения) и зажимы «Iр» для подключения рабочего тока, которым запитываются формирователи компенсирующих напряжений.

2. Блок квадратурной составляющей К517 (ось у), где формируется компенсирующее напряжение \dot{U}_{ky} .

Компенсирующее напряжение \dot{U}_{kx} и \dot{U}_{ky} создаются с помощью одинаковых отсчетных устройств, каждое из которых состоит из двух ступенчато-изменяющихся блоков образцовых резисторов (набор мер), переключаемых двумя переключателями П1 и П2 («0-15» и «0-10») и плавно-переменного резистора (реохорда) Р. (см. рис. 10).

Отсчетное устройство «ось Х» питается от вторичной обмотки трансформатора тока, расположенного в блоке К516. Отсчетное устройство «ось Y» питается от вторичной обмотки воздушного трансформатора, расположенного в блоке К517.

При положении переключателя пределов ПЗ (рис. 10) каждого из отсчетных устройств на отметке «Х10» цена ступени переключателя «0-15» (П1 на рис. 10) равна 10 мВ переключателя «0-10» (П2) - 1 мВ, цена деления шкалы реохорда Р (рис. 10) – 0,1 мВ; при положении переключателя пределов измерения на отметке «Х100» цены ступеней переключателей и цена деления шкалы реохорда 100, 10 и 1 мВ соответственно.

3. Нуль индикатор НИ типа Ф5046, предназначенный для работы в качестве указателя равновесия в мостовых и компенсационных измерительных схемах. Нуль индикатор состоит из входного трансформатора, делителя напряжения, избирательного усилителя, выходного прибора магнитоэлектрической системы и блока питания. Поступающий с делителя сигнал усиливается избирательным усилителем, выпрямляется диодным выпрямителем и измеряется прибором магнитоэлектрической системы. Входное сопротивление нуля индикатора 600 Ом, максимальная чувствительность не менее 5 миллиметров шкалы на микровольт (5мм/мкВ). Чувствительность индикатора изменяется кнопочным переключателем с положениями «1», «2», «3», «тах» с помощью трех ступеней делителя, каждая из которых ослабляет сигнал на 30° до (в 31,6 раза). Наименьшая чувствительность – при нажатой кнопке «1».

4. Многопредельный трансформатор тока И 55/1 класса точности 0,1. Номинальные значения первичных токов равны: 0,5; 1; 2; 5; 20; 50 А. Номинальное значение вторичного тока – 0,5 А, что соответствует рабочему току компенсатора К509.

5. Понижающий разделительный трансформатор И57. Номинальное напряжение питания первичной обмотки 127 В и 220 В. Вторичная обмотка состоит из нескольких секций, различное соединение которых дает возможность получать вторичные напряжения с номинальными значениями от 3 В до 36 В.

6. Амперметр электродинамической системы Д 5054 со световым отсчетом и двухрядной шкалой класса точности 0,1. Номинальная область частот 45 Гц – 500 Гц; пределы измерения 0,5 А и 1 А.

3.1.3. Измерение напряжения компенсатором переменного тока К509

Схема измерения напряжения до 1,611 В компенсатором переменного тока К 509 приведена на рис. 10, где изображены лицевые («осьХ» и «осьУ») и задние (К 516 и К 517) панели блоков формиро-

вания соответственно синфазного и квадратурного компенсирующих напряжений. На рис. 10: НИ – нуль индикатор ф5046; А – амперметр Д 5054; Тр 2 – трансформатор И 57; Тр.1 – лабораторный автотрансформатор (ЛАТР); Гц – частотомер ф5043; \dot{U} – измеряемое напряжение; \dot{I}_p – рабочий ток; X1÷X5 – разъемы соединительных кабелей; X1, X2 – зажимы подключения измеряемых напряжений до 1,611 В; X3 – зажимы подключения измеряемого напряжения свыше 1,5 В (вход встроенного образцового делителя); П1 – переключатель «0÷15» старших ступеней; Р – ручка перемещения движка и указателя реохорда; ПЗ – переключатель пределов – в положении «X100» цена ступеней П1 и П2 соответственно 100 мВ и 10 мВ, а цена деления Р – 1 мВ; в положении ПЗ «X10» цена ступеней П1 и П2 – 10 мВ и 1 мВ соответственно, а цена деления Р – 0,1 мВ; П4 – подключает ко входу компенсатора зажимы «X1», «X2», «Д»; Пд – переключатель пределов делителя напряжения, которые равны 1,5; 3; 7,5; 15; 30; 75; 150; 300; 600 В, номинальное напряжение выхода делителя – 1,5 В; Пf1, Пf2 – переключатели, которые устанавливаются в положение, соответствующие частоте измеряемого напряжения; П5 – переключатель знака компенсирующих напряжений, в положении «0» компенсирующее напряжение соответствующей составляющей равно нулю; Пб – кнопочный переключатель чувствительности нульиндикатора.

При соединении элементов К 509 необходимо зажимы “ \perp ” всех блоков объединить и заземлить.

После соединения всех блоков и подключения измеряемого напряжения до включения напряжения питания необходимо установить некоторые переключатели в определенные положения:

1. П1, П2, Р – на нулевые отметки;
2. ПЗ – в положение «X100»;
3. П5 – либо «+», либо «-»;
4. П4 – в положение, соответствующее зажимам, напряжение которых будет измеряться;
5. Если предполагается измерять неизвестное большое напряжение, подключенное к зажимам X3, необходимо Пд установить в положение 600 В. При положении переключателя П4 в «X1» или «X2» – положение Пд безразлично.
6. Переключатель Пб чувствительности НИ установить в положение «1», соответствующее самой низкой чувствительности.

После этого устанавливают движок ЛАТРа в нулевое положение и включают питание нульиндикатора и ЛАТРа. Затем с помощью

ЛАТРа устанавливают по амперметру А рабочий ток, равный 0,5 А и приступают к уравниванию измеряемого напряжения.

Процесс уравнивания несколько трудоемок, требует внимания и неторопливости, особенно со стороны тех, кто впервые сталкивается с К 509.

Процесс уравнивания заключается в поочередном вводе компенсирующих напряжений \dot{U}_{kx} и \dot{U}_{ky} с помощью переключателей П1, П2, Р осей X и Y до сведения к нулю модуля разности $\Delta\dot{U}$ измеряемого напряжения \dot{U} и компенсирующих \dot{U}_{kx} и \dot{U}_{ky} . Разность $\Delta\dot{U}$ называют также разбалансом, рассогласованием:

$$\Delta\dot{U} = \dot{U}_1 - \dot{U}_{kx} - \dot{U}_{ky}$$

Модуль $\Delta\dot{U}$ в компенсаторе К 509 измеряется нуль-индикатором Ф5046.

После включения схемы измерения П1, П2, Р стоят на нулевых отметках, т.е. $\dot{U}_{kx} = 0$ и $\dot{U}_{ky} = 0$, и $\Delta\dot{U}$ будет равно измеряемому напряжению \dot{U} ($\Delta\dot{U} = \dot{U}$). Поэтому разбаланс будет большой и стрелка нуль-индикатора будет отклонена на большой угол даже в положении 1 переключателя П6, соответствующем самой низкой чувствительности. Уравнивание можно начинать с любой оси, но переключатели П5 должны стоять либо в положении «+» либо «-», но не в «0».

Процесс уравнивания удобно изобразить на векторной диаграмме – рис. 11а, на которой уравнивание начинается с ввода \dot{U}_{ky} . Если знак \dot{U}_{ky1} (на рис. 11а изображен пунктиром) выбран неправильно, то ΔU будет увеличиваться и в связи с этим переключатель П5 оси Y надо перевести в противоположное положение. Теперь при введении \dot{U}_{ky} $\Delta\dot{U}$ будет уменьшаться.

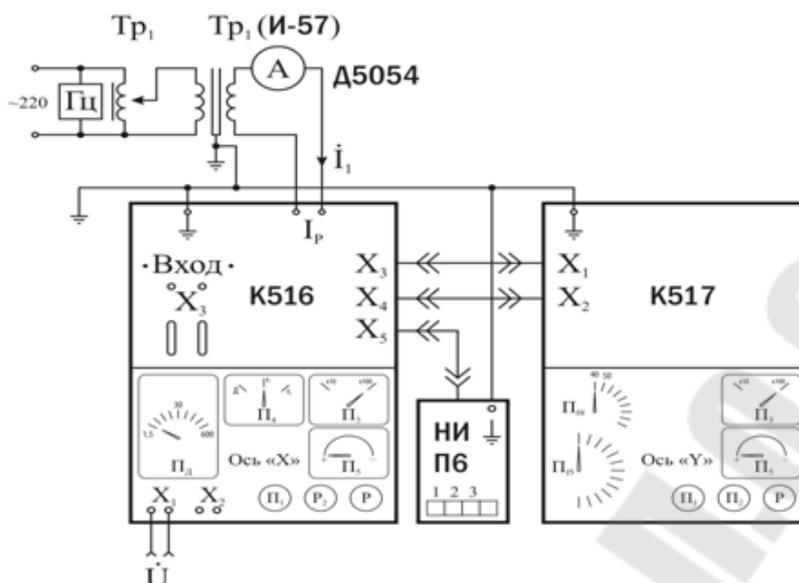


Рис.10. Схема соединения элементов К509 и подключения измеряемого напряжения до 1,611 В.

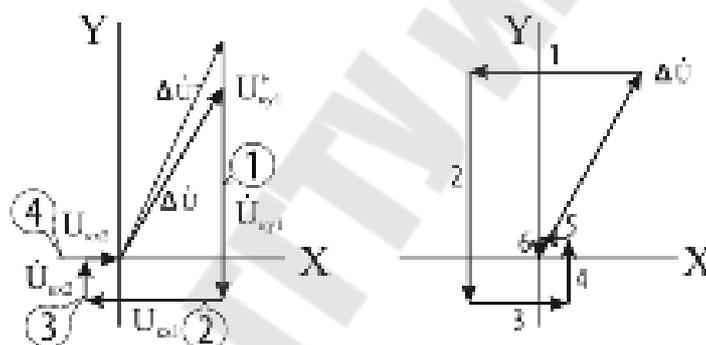


Рис. 11. Векторные диаграммы, поясняющие процесс уравнивания

При уравнивании следует придерживаться следующих правил:

1. Компенсирующее напряжение начинать вводить старшими ступенями (П 1);
2. После введения ступени надо дождаться установления (остановки) стрелки указателя нуля – индикатора и только после этого принимать решение о направлении следующего шага.
3. Если введением старших ступеней не удастся достичь уменьшения ΔU , то надо переходить к введению младших. Если и введением младших не удастся достичь уменьшения ΔU , то надо изменить знак U_k по этой оси (переключателем П5). Если же и при этом знаке

нельзя добиться уменьшения ΔU , то надо переходить к введению другой составляющей (оси).

4. При уменьшении ΔU в результате введения ступеней – надо их вводить до тех пор, пока ΔU не достигнет сначала минимального значения, а затем начнет увеличиваться. После этого надо вернуться в положение, где ΔU было минимально, и начинать уравнивание малыми ступенями.

5. После достижения минимума по одной составляющей надо переходить к вводу другой составляющей.

6. После уравнивания обеими составляющими (достижения нулевого показания нульиндикатора) при низкой чувствительности (Пб в положении «1») надо увеличить чувствительность и добиться регулировками $U_{кх}$ и $U_{кy}$ (П1, П2, Р) нулевого показания нуль – индикатора сначала в положении «2», а затем «3» кнопочного переключателя Пб. Результат измерения определяется по положениям переключателей П1, П2 и реохорда Р с учетом знака (переключатель П5).

7. Если по какой – либо составляющей (или по обеим) показания будут меньше 10 мВ, то надо перевести переключатель П3 в положение “Х10” и повторить измерение (процесс уравнивания).

При определении результата измерения необходимо помнить, что указанные выше цены ступеней и делений реохордов верны только в том случае, если рабочий ток равен 0,5 А. Если же рабочий ток не равен 0,5 А, то результат измерения нужно определять по формулам:

$$U_x = U_{x0} \cdot \frac{I_p}{0,5},$$

$$U_y = U_{y0} \cdot \frac{I_p}{0,5}$$

где : U_{x0} , U_{y0} – значения напряжений, отсчитанные по осям “Х”, и “У”;

U_x , U_y – действительные значения напряжений;

I_p – действительное значение рабочего тока, [А].

При определении результата измерения составляющей оси “У”, необходимо учитывать частоту измеряемого сигнала (измеряется частотомером «Гц» – см. рис. 10) отличается от значения, установленно-го переключателями Пf1 и Пf2, составляющая U_y определяется по формуле:

$$U_y = U_{y0} \cdot \frac{f}{f_0}$$

где: U_{y0} – значение напряжения, отсчитанное по оси «У»;

f – действительное значение частоты, измеренное частотомером;
 f_o – значение частоты, установленное переключателями Пф1, Пф2.

3.2.Схема эксперимента

Схема эксперимента приведена на рис. 12 с учетом элементов, укрепленных на лабораторном планшете, и цепи, собранной на планшете. M – взаимная индуктивность; \dot{U}_1, \dot{U}_2 – напряжение на первичной и вторичной обмотках взаимной индуктивности; \underline{Z} – комплексное сопротивление; \dot{U}_3 – падение напряжения на \underline{Z} . Сплошными линиями показаны цепи, собранные на планшете. Пунктирными линиями изображены провода соединения. Цепь на планшете собрана так, чтобы все соединения (подключение рабочего тока I_p , измеряемых напряжений $\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{U}_3$, трансформаторов) выполнялись двойными проводами. При подсоединении $I_p, \dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{U}_3$ необходимо пользоваться двойным цветным шнуром, каждый провод которого имеет разный цвет, с тем, чтобы можно было определить какой конец измеряемого напряжения подключается к зажиму, отмеченному значком «*».

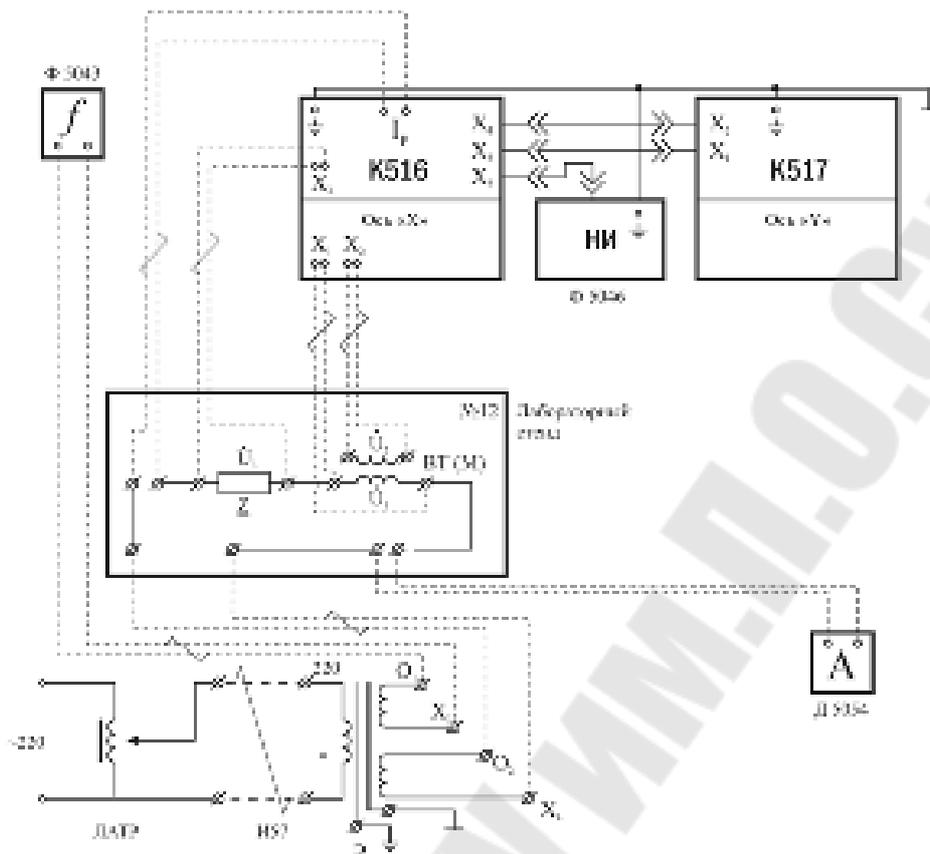


Рис.12. Схема эксперимента.

4. Задание

4.1 Собрать схему эксперимента, приведенную на рис. 12.

4.2 Измерить ортогональные составляющие напряжений \dot{U}_1 , \dot{U}_2 , \dot{U}_3 , вычислить их модули и аргументы. Результаты свести в таблицу 4.1.

Таблица 3.1.

Результаты измерения \dot{U}_1 , \dot{U}_2 , \dot{U}_3

	f [Гц]	I_p [A]	X [мВ]	Y [мВ]	U_x []	U_y []	M []	φ []
\dot{U}_1								
\dot{U}_2								
\dot{U}_3								

4.3. Изобразить на векторной диаграмме $\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{U}_3$ в координатных осях рабочего тока \dot{I}_p .

4.4. Вычислить индуктивность L_1 и активное сопротивление первичной обмотки воздушного трансформатора.

4.5. Вычислить взаимную индуктивность M_{12} воздушного трансформатора.

4.6. Определить характер реактивности \underline{Z} и вычислить параметры \underline{Z} для последовательной и параллельной схем замещения.

Таблица 3.2.

Параметры схем замещения \underline{Z}

Х _{посл} []	С(L) _{посл} []	R _{посл} []	Z []	φ []	R _{пар} []	X _{пар} []	CL _{пар} []

5. Содержание отчета

Отчет должен содержать блок – схемы полярных и прямоугольно – координатных компенсаторов переменного тока, схемы измерения тока и комплексного сопротивления, схему эксперимента и результаты выполнения п. п. 3.2 ÷ 3.5 с подробными вычислениями, необходимыми для заполнения таблиц 3.1 и 3.2.

6. Контрольные вопросы

1. В чем заключается компенсационный метод измерения?
2. Изобразите блок – схему, реализующую компенсационный метод и объясните назначение ее элементов.
3. Достоинства компенсационного метода измерения.
4. Особенности измерений на переменном токе, какими параметрами характеризуется вектор переменного напряжения, тока?
5. Чем отличаются компенсаторы переменного тока от вольтметров?
6. Как устроен полярный компенсатор, и какие параметры вектора он измеряет?
7. Как устроен прямоугольно – координатный компенсатор, и какие параметры вектора он измеряет?

8. Как и чем задается расположение (ориентация) одной из ортогональных осей прямоугольно – координатного компенсатора?
9. Как формируется ортогональность осей в прямоугольно – координатных компенсаторах?
10. Как измерить компенсатором переменного напряжения ток, комплексное сопротивление?
11. Изобразите упрощенную схему компенсатора К509.
12. Что входит в комплект компенсатора К509 и каково назначение отдельных его элементов?
13. Объясните назначение всех переключателей и зажимов К509 по рисунку 10.
14. Имеется ли гальваническая связь между цепью рабочего тока и компенсирующими напряжениями $U_{кх}$ и $U_{ку}$?
15. Как должны устанавливаться $Pf1$ и $Pf2$ (рис. 10)?
16. В каком положении при измерении должен стоять переключатель П4 (Х1, Х2, Д)?
17. В каком положении при измерении должны стоять переключатели П5 (рис. 10)?
18. В чем заключается процесс уравнивания?
19. Что называют разбалансом, рассогласованием?
20. Как устроен нульиндикатор Ф5046?
21. Как устроены блоки синфазной и квадратурной составляющих?
22. Назначение и характеристики И55/1, И57, Д5054.
23. Изобразите и объясните процесс уравнивания на векторной диаграмме.
24. Как учитывается влияние частоты измеряемого напряжения на результат измерения?
25. Как учитывается величина рабочего тока при определении результата измерения?
26. Как определить параметры показательной формы по результатам измерения компенсатором К509?
27. Как определить параметры последовательной и параллельной схем замещения комплексного сопротивления?

7. Литература

1. Электрические измерения: Учебник для вузов /Байда Л. И., Добротворский Н.С., Душин Е. М. и др.; А. В. Фремке и Е.М. Душина. – 5-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1980. – с. 209-213.

2. Основы электроизмерительной техники. – Под. ред. М. И. Левина. – М.: Энергия, 1972.с. 497-503, 512-515, 533-535.

3. Компенсатор переменного тока К509. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.

4. НульиндикатораФ5046. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.

5. Амперметр Д5054. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.

Приложения

П.1. Выписки из технического описания и инструкции по эксплуатации потенциометра постоянного тока ПП–63

1. Назначение.

Переносной потенциометр постоянного тока ПП – 63 класса 0,05 (ГОСТ 9245 – 68) предназначен для:

а) непосредственного измерения компенсационным методом э.д.с. и напряжений;

б) поверки в цеховых условиях технических термопар и вторичных теплотехнических приборов, работающих с термопарами (пирометрических милливольтметров и автоматических потенциометров);

в) получение плавно регулируемого напряжения постоянного тока.

Прибор предназначен для работы при температуре окружающего воздуха от плюс 10 до плюс 35°С и относительной влажности воздуха не более 80%.

2. Технические данные

2.1. Пределы измерения потенциометра:

0 – 25 мВ;

0 – 50 мВ;

0 – 100 мВ.

2.2. Наибольшая допускаемая основная погрешность показаний потенциометра в вольтах при температуре окружающего воздуха плюс 20±5°С не превышает значения, определяемого по формуле:

$$\pm (5 \cdot 10^{-4} \cdot U + 0,5 \cdot U_{\min})$$

где U – данное показание потенциометра, В;

U_{\min} – цена шкалы реохорда:

на пределе “x0,5” $U_{\min}=2,5 \cdot 10^{-5}$ В,

на пределе “x1” $U_{\min}=5 \cdot 10^{-5}$ В,

на пределе “x2” $U_{\min}=10 \cdot 10^{-5}$ В.

Примечание. Встроенный в потенциометр нормальный элемент класса 0,02 имеет максимально допустимое значение э.д.с. за один год не более 200 мкВ.

При точных измерениях рекомендуется э.д.с. нормального элемента перепроверить и установить переключку подгоночной части установочного сопротивления в положение, соответствующее действительному значению э.д.с. нормального элемента.

2.3. Изменений показаний потенциометра, вызываемым изменением температуры окружающего воздуха в пределах от плюс 10 до плюс 35°С не превышает на каждые 5°С изменения температуры четверти значения допускаемой основной погрешности.

2.4. Пределы измерения напряжения источника регулируемого напряжения при внешней нагрузке $R \geq 25$ Ом составляют не менее:

минус 1,25÷0÷ плюс 25 мВ,

минус 2,5÷0÷ плюс 50 мВ,

минус 5÷0÷ плюс 100 мВ.

2.5. Каждая батарея потенциометра и ИРН состоит из трех гальванических элементов, включенных параллельно, имеет э.д.с. 1,20-1,65 В и емкость не менее 9 ач.

Напряжение нагруженной батареи потенциометра находится в пределах 1,20-1,65 В.

Для питания ИРН допускается применение нагруженной батареи напряжением не больше 8 В. В этом случае соответственно увеличиваются пределы источника регулируемого напряжения.

а) постоянную по току не более $4,5 \cdot 10^{-7}$ А/дел;

б) внутреннее сопротивление не более 18 Ом;

в) внешнее критическое сопротивление не более 250 Ом.

3. Подготовка прибора к работе

3.1. Перед началом работы органы управления и регулировки должны находиться в следующих положениях (см. рис.3.1):

а) переключатель питания прибора “ПИТАНИЕ” – в отключенном положении;

б) переключатель питания Т5 и Т6, переключатель нормального элемента ТЧ и переключатель гальванометра Г – в положении “В” – при использовании внутренних и в положении “Н” – при использовании наружных источников питания, нормального элемента, гальванометра;

в) переключатель Т2 – полярности потенциометра “+”, “-” – в положении “+”;

г) кнопки “ГРУБО” и “ТОЧНО” – в отжатых (расфиксированных) положениях.

3.2. Остальные органы управления и регулировок могут находиться в любых положениях.

3.3. При использовании наружных источников питания, нормального элемента и гальванометра подключить их соответственно к зажимам “БП”, “БИ”, “НЭ” и “Г”, а их переключатели поставить в положение “Н”.

3.4. Перед началом работы установить корректором стрелку гальванометра на “0”.

3.5. Включение и выключение питания прибора производится переключателем “ПИТАНИЕ”.

4. Порядок работы

4.1. Измерение эдс и напряжения проводить в следующем порядке:

4.1.1. Подключить объект измерения, соблюдая полярность, к зажимам “Х”.

4.1.2. Установить переключатель “РОД РАБОТЫ” в положение “ПОТЕНЦИОМЕТР”.

4.1.3. Установить переключатель “ПИТАНИЕ” в положение “ВКЛ.”.

4.1.4. Установить переключатель пределов в одно из соответствующих положений:

“х0,5” при измерении э.д.с. до 25 мВ,

“х1” при измерении э.д.с. до 50 мВ,

“х2” при измерении э.д.с. до 100 мВ.

4.1.5. провести установку (контроль) рабочего тока потенциометра, для чего:

а) установить переключатель ТЗ в положение “И”;

б) установить стрелку гальванометра на “0” вращением рукояток секционированного переключателя Р5 и реохорда Р6 вначале при нажатой кнопке “ГРУБО”, а затем – “ТОЧНО”.

в) значение измеренного напряжения в милливольтках будет равно сумме показаний шкал секционированного переключателя и реохорда, умноженной на значение множителя, установленного на переключателе пределов потенциометра при помощи штепселя.

4.2. Поверку пирометрических милливольтметров и автоматических потенциометров проводить в следующем порядке:

4.2.1. Поверяемый прибор подсоединить к зажимам “Х”.

4.2.2. Установить переключатель “РОД РАБОТЫ” в положение “ПОВЕРКА”, соответствующая пределу измерения (25, 50 и 100 мВ).

4.2.3. Переключатель линии установить при поверке пирометрических милливольтметров в одно из положений, соответствующее сопротивлением линии, указанном на поверяемом приборе (0,6; 1,6; 5; 15; 16,2 или 25 Ом), а при поверке автоматических потенциометров в положение “0”.

4.2.4. Плавно подвести стрелку прибора к поверяемой отметке шкалы вращением рукоятки реостата “НАПРЯЖЕНИЕ”.

4.2.5. измерить напряжение на поверяемом приборе (п.6.1.6.), и определить погрешность поверяемого прибора.

Примечание. Поверку автоматических потенциометров без использования источника регулируемого напряжения проводить в следующем порядке:

а) поверяемый прибор подключить к зажимам “Х”;

б) установить переключатель “РОД РАБОТЫ” в положение “ПОТЕНЦИОМЕТР”, а переключатель пределов – в положение, соответствующее пределу измерения;

в) зажим “ГН” закоротить;

г) подготовить прибор к измерению напряжения;

д) при нажатой кнопке “ГРУБО” вращением рукояток секционированного переключателя и реохорда плавно подвести стрелку поверяемого прибора к поверяемой отметке шкалы. Затем произвести окончательное уравнивание при нажатой кнопке “ТОЧНО”;

е) по шкалам секционированного переключателя и реохорда с учетом множителя переключателя пределов отсчитать показания потенциометра и определить погрешность поверяемого прибора.

4.3. Для получения плавно регулируемого напряжения на зажимах “Х” необходимо:

а) установить переключатель “РОД РАБОТЫ” в положение “ИРН”, соответствующее пределу (25, 50 или 100 мВ);

б) вращением рукояток реостата “ПАРЯЖЕНИЕ” установить необходимую величину напряжения.

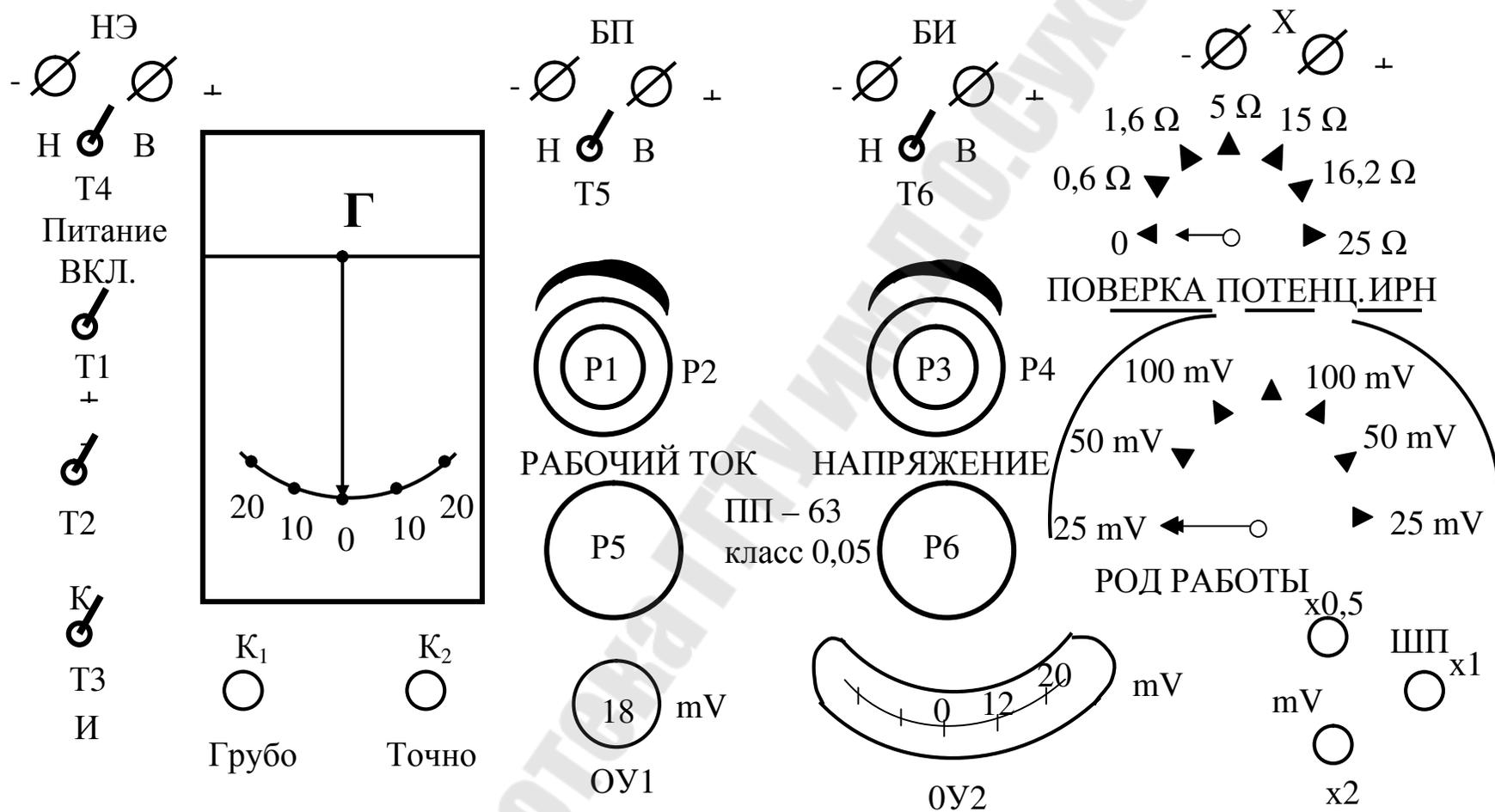


Рис.3.1: Вид лицевой панели потенциометра постоянного тока ПП – 63: P1÷P6 – ручки регуляторов; T1÷T6 – тумблеры; P1,P2 – переключатели; ШП – штепсельный переключатель; Г – гальванометр; K1,K2 – кнопки; ОУ – отсчетные устройства.

П2. Выписки из технического описания и инструкции по эксплуатации универсального переносного прибора типа УПИП-60М.

Назначение

УПИП-60М предназначен для: а) поверки в цеховых условиях вторичных теплотехнических приборов (параметрических милливольтметров, логометров, автоматических мостов и потенциометров); подгонки сопротивлений двухпроводных и трехпроводных линий к указанным выше приборам; в) непосредственного измерения компенсационным методом ЭДС и напряжений; г) измерения омических сопротивлений мостовым методом.

Прибор может применяться как магазин сопротивлений и источник регулируемого напряжения.

Основные технические характеристики

1. Возможный набор сопротивлений $0,1 \div 1111,2$ Ом.

Погрешность магазина сопротивлений, выраженная в процентах от номинального значения включенного сопротивления не превышает

$$\pm(0,05 \div 0,02 \frac{m}{R}),$$

где: m – число декад магазина;

R – значение включенного сопротивления, Ом.

2. Пределы измерения ЭДС и напряжений: $0 \div 25$ мВ; $0 \div 50$ мВ; $0 \div 100$ мВ.

Погрешность измерения ЭДС и напряжений, выраженная в вольтах не превышает $\pm(5 \cdot 10^{-4} \cdot U + 0,5 \cdot \Delta U)$, где: U – данное показание прибора, В; ΔU – цена деления шкалы реохорда, В.

3. Погрешность измерения сопротивлений при внутренних гальванометре и батарее:

а) $\pm 10\%$ в пределах от 10^{-4} до 10^{-3} Ом;

б) $\pm 1\%$ в пределах от 10^{-3} до 0,01 Ом;

в) $\pm 0,2\%$ в пределах от 0,01 до 0,1 Ом;

г) $\pm 0,1\%$ в пределах от 0,1 до 10^4 Ом;

д) $\pm 1\%$ в пределах от 10^4 до 10^5 Ом;

е) $\pm 5\%$ в пределах от 10^5 до 10^6 Ом.

4. Пределы регулируемого напряжения не менее: $-1,2 \div 0 \div 25$ мВ; $-2,5 \div 0 \div 50$ мВ; $-5 \div 0 \div 100$ мВ; $0,5 \div 5$ В.

Общие указания

1. При использовании наружных источников питания, нормально-го элемента и гальванометра подключить их соответственно к зажимам “БМ”, “БП”, “НЭ” и “Г”, а их переключатели установить в положения “Н” (при использовании внутренних – в положение “В”).
2. Перед измерением установить корректором стрелку гальванометра на нуль.
3. После окончания работы выключить питание.

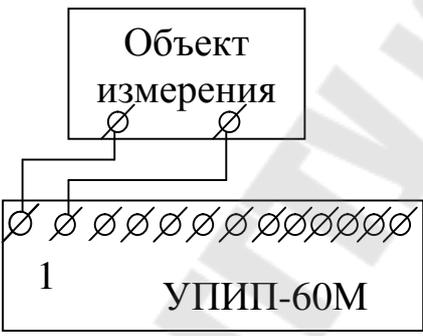
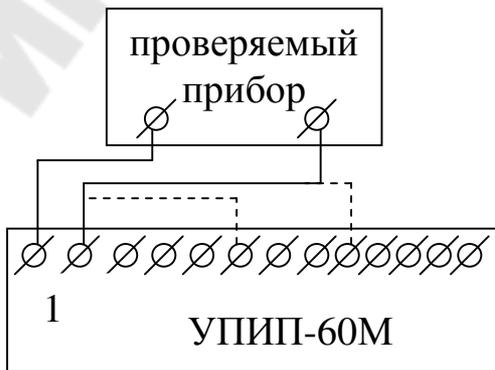
Схема переключения	Измерение ЭДС и напряжения	Поверка пираметрич. милли-вольтм. и автом. потенциом.	
			
Полож. перекл.	Род работы	Потенциометр	Поверка милливольтм. потенц.
	“К”- “И”	“И”-при контроле, “И”-измер.	“И”-при контроле, “И”-измер.
	“+” “-”	“+”	“+” или “-”

Рис. П2.1. Схема внешних соединений и положения переключателей при измерении ЭДС и напряжений и поверка потенциометра.

Схема переключения		ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ	
		От 50 до 10^6	От 10^{-4} до 50
		<p style="text-align: center;">T2 П1 УПИП-60М</p>	<p style="text-align: center;">T2 П2 П2 T1 УПИП-60М</p>
Род работы	Мост 23	Мост 23	
“К”- “И”	любое	любое	
“+” “-”	любое	любое	

Рис. П2.2. Схема внешних соединений и положение переключателей при измерении сопротивлений.

П3. Выписки из технического описания и инструкции по эксплуатации автоматического потенциометра типа КСП4.

Приборы автоматические следящего уравнивания КСМ4 КСП4, КСП4И Государственной системы промышленных приборов и средства автоматизации (ГСП), предназначены для измерения напряжения постоянного тока, а также неэлектрических величин, преобразованных в напряжение постоянного тока.

По метрологическим свойствам приборы являются средствами измерений.

По устойчивости к воздействию температуры и влажности окружающего воздуха и атмосферного давления приборы соответствуют группе 3 по ГОСТ 2997 – 76.

По защищенности от воздействия окружающей среды и устойчивости к механическим воздействиям приборы выпускают обычно-

венного исполнения по ГОСТ 12997 – 76 и тропического исполнения по ГОСТ 17532 – 77.

Потенциометры КСП4, КСП4И работают в комплекте с термоэлектрическими преобразователями или источниками постоянного напряжения или телескопами радиационных пирометров суммарного излучения.

Потенциометры КСП4, КСП4И работают с первичными преобразователями, сопротивление которых, включая сопротивление линии связи, не превышает 200 Ом.

В приборах применяют неименованную диаграммную ленту по ГОСТ 7826 – 75 с равномерной сеткой, поэтому для считывания записываемого параметра рекомендуется пользоваться шкалами прибора:

нижней, числа отсчета которой совпадают с числами отсчета диаграммной ленты, и верхней, числа которой совпадают с числами отсчета в единицах измеряемой величины.

В одноканальных приборах регистрация на диаграммной ленте производится непрерывной линией, в многоканальных – циклично отпечатываемыми точками и стоящими рядом цифрами, указывающими номера первичных преобразователей, регистрация многоцветная: в 3-х канальных приборах – трехцветная, в 6 – 12 канальных – шестицветная.

Технические данные

1. Характеристики

Допустимая основная погрешность показаний приборов (в дальнейшем – основная погрешность), выраженная в процентах от нормирующего значения входного сигнала, не превышает пределов:

для приборов класса точности 0,25..... $\pm 0,25$

для приборов класса точности 0,5..... $\pm 0,5$

Допускаемая основная погрешность регистрации в процентах от нормирующего значения не превышает $\pm 0,5$.

Вариация показаний в процентах от нормирующего значения не превышает.....0,25.

За нормирующее значение принимают:

- верхнее конечное значение диапазона измерения, если нулевое значение находится на краю диапазона измерения; разность конечных значений диапазона измерения, если нулевое значение находится вне

диапазона измерения; сумму абсолютных конечных значений диапазона измерения, если нулевое значение находится внутри диапазона измерения.

Нормирующее значение и диапазон измерения выражают в единицах напряжения.

При отклонении напряжения питания силовой электрической цепи на плюс 10 и минус 15% от номинального значения:

а) наибольшее допустимое значение погрешности в процентах от нормирующего значения не превышает:

для приборов с основной погрешностью $\pm 0,25$0,2;

для приборов с основной погрешностью $\pm 0,5$0,25.

При отклонении температуры окружающего воздуха от $20 \pm 2^\circ\text{C}$ до температуры в пределах от 5 до 50°C :

а) наибольшее допустимое изменение погрешности приборов в процентах от нормирующего значения на каждые 10°C изменение температуры не превышает 0,25%.

При воздействии внешнего магнитного поля напряженностью 400 А/м, образованного переменным током частотой 50 Гц, при самых неблагоприятных фазе и направлении поля:

наибольшее допустимое изменение погрешности приборов в процентах от нормирующего значения не превышает 0,5%-1,0%.

Номинальная средняя скорость перемещения диаграммной ленты, мм/ч:

в одноканальных приборах – 20; 60; 240; 720; 1800; 5400;

в многоканальных приборах – 60; 180; 600; 1800; 2400; 7200.

Срок службы до среднего ремонта не менее 10 лет.

2. Измерительное устройство

В основу работы приборов положен компенсационный метод измерения.

Термоэлектрический преобразователь или источник постоянного напряжения, или телескоп радиационного пирометра включены последовательно с усилителем U_4 в одну из диагоналей измерительного моста.

В другую диагональ включен источник питания стабилизированный U_2 , обеспечивающий постоянство рабочего тока в измерительной схеме.

При изменении сигнала, поступающего в прибор от первичного преобразователя, на входе усилителя возникает напряжение разбаланса постоянного тока, которое преобразуется в напряжение переменного тока и усиливается для приведения в действие реверсивного двигателя М1, выходной вал которого вращается в ту или иную сторону до тех пор, пока существует напряжение разбаланса.

Вращение выходного вала реверсивного двигателя с помощью механической передачи (шкив и трос) преобразуется в прямолинейное движение каретки, на которой закреплены контакты реохорды, указатель и устройство регистрации.

В момент равновесия измерительной схемы положение указателя определяет значение измеряемого параметра, которое также записывается на движущийся диаграммной ленте.

Потенциометре, работающем комплекте с термоэлектрическими преобразователями, резистор $R_{II}/Y5$, выполненные из медной проволоки, расположен в непосредственной близости от свободных концов компенсационных проводов, соединяющих термоэлектрические преобразователи с прибором, поэтому:

при изменении температуры окружающего прибор воздуха происходит изменение температуры свободных концов, а, следовательно, и значения сопротивления резистора R_{II} . Появляющееся дополнительное падение напряжения на резисторе R_{II} компенсирует изменение термо-э.д.с., вызванное изменением температуры свободных концов термоэлектрического преобразователя, в результате чего показания прибора практически остаются без изменения.

Многоканальные приборы снабжены переключателем, автоматически подключающим к измерительной схеме по очереди, с частотой установленного периода регистрации, подключенные к прибору первичные преобразователи. После наступления равновесия, печатающий механизм каретки отпечатывает точку с порядковым номером первичного преобразователя. Затем переключатель автоматически присоединяет к измерительной схеме прибора следующий первичный преобразователь.

3. Подключение первичных преобразователей к потенциометру КСП4, КСП4И, КСУ4

Первичные преобразователи подключают к колодкам внешнего подключения прибора в соответствии с рис.10,11.

Термоэлектрические преобразователи градуировок ТХК, ТХА, ТВР и ТПП подключают к прибору либо своими концами, либо соединенными с ними термоэлектродными проводами (ГОСТ 1791-67).

Остальные типы первичных преобразователей подключают к прибору медными проводами.

Прокладка проводов, подключающие первичные преобразователи к прибору, в одной трубе с силовыми проводами категорически воспрещается

4. Чистка печатающего барабана (для многоканального прибора)

Если в процессе работы прибора засорился печатающий барабан каретки, в результате чего отпечатки точек и цифр стали не четкими, прочистить шрифт печатающего барабана следующим образом:

- поставьте каретку в средней части шкалы;
- выньте из каретки обойму со смазывающими фетрами;
- тщательно промойте печатающий барабан щеткой, смоченной спиртом;
- установите обойму с фетрами на место.

5. Регулировка успокоение каретки

Успокоение каретки регулируют регулятором чувствительности усилителя следящей системы.

При правильной настройке указатель прибора должен устанавливаться на заданные значения после не более двух полуколебаний возле положения равновесия, при этом выброс не должен превышать 5мм.

6. Проверка и установка рабочего тока у потенциометров КСП4, КСП4И

Проверку рабочего тока измерительной цепи потенциометров производят следующим образом: подключите высокоомный потенциометр (например, типа Р37-1) к розетке, расположенной на левой боковой стенке кронштейна проверяемого прибора, с помощью вилки, находящейся в коробке с принадлежностями;

Измерьте падение напряжения. Если падение напряжения отличается от $1,0186 \pm 0,0003$ В, то установите рабочий ток с помощью резистора, находящего рядом с розеткой для подключения меры напряжения.

7. Переключение скоростей перемещения диаграммной ленты и периодов регистрации.

Переключение скоростей перемещения диаграммной ленты, периодов регистрации производится только в положении ВКЛ. тумблер ПРИБОР и ДИАГРАММА следующим образом:

отожмите ручку рычага переключения скоростей вниз до упора; поверните фиксатор блокировки рычага переключения скоростей на 90°;

установите рычаг переключения скоростей в паз требуемой скорости вращения ручки рычага переключения скоростей; зафиксируйте это положение рычага в пазу, поставив фиксатор блокировки в первоначальное положение, при этом указатель рычага должен войти в паз на всю глубину его.

Для получения скоростей перемещения диаграммной ленты у одноканального прибора, превышающий в 10 раз указанные, на приборе необходимо поставить рычаг множителя в положение $\times 10$.

У многоканального прибора необходимые периоды регистрации устанавливаются перемещением рычага переключения периодов регистрации (1 рис.2) до паза, соответствующего выбранному периоду, и фиксацией указателя рычага в этом пазу. Перемещение рычага переключения периодов регистрации осуществляется аналогично перемещению рычага переключения скоростей.

Перемещение диаграммной ленты вручную вращением барабана с пуклевками допускается только против часовой стрелки. В каждом случае перед перемещением диаграммной ленты вручную поставьте рычаг переключения скоростей на блокировку, как указано в п.10.2. После перемещения диаграммной ленты в ручную, фиксатор блокировки верните в исходное положение.

П.4. Выписки из технического описания и инструкции по эксплуатации потенциометров самопишущих типа КСП2.

1. Назначение

1.1. Настоящее техническое описание и инструкции по эксплуатации распространяется на автоматические показывающие и самопишущие потенциометры КСП2, предназначенные для измерения, записи и регулирования (при наличии регулирующего устройства) темпе-

ратуры и других величин, изменение значения которых может быть преобразовано изменение напряжения постоянного тока.

1.2. Приборы могут быть обыкновенного, экспортного и тропического (Т4) исполнения.

Потенциометры, работающие в комплекте с термоэлектрическими термометрами (термопарами) стандартных градуировок и уравновешенные мосты, работающие в комплекте с термометрами сопротивление стандартных градуировок, могут быть исполнения: Обыкновенного с искробезопасной измерительной цепью (И) и тропического с искробезопасной измерительной цепью (ИТ4).

При этом индексы (Т4, И, ИТ4) добавляются к шифру прибора и указывают на его исполнение.

1.3. Потенциометры КСП2, КСП2И работают в комплекте с термоэлектрическими термометрами стандартных градуировок или с датчиками ЭДС или напряжения постоянного тока.

1.4. Показания приборов отсчитываются по шкале при помощи указателя и записываются на диаграммной ленте. Запись в однократных приборах осуществляется непрерывно чернилами.

Считывание показаний на неименованной диаграммной ленте производится с помощью переводной линейки, прикладываемой к прибору со шкалой, соответствующей шкале прибора.

1.5. Модификации и основные параметры приборов приведены в таблице 1.

1.6. Пределы измерения и типы датчиков, в комплекте с которыми работают приборы, приведены в таблице 2.

Модификации потенциометром типа КСП2

Шифр прибора	Кол – - во точек изме- рения	Время проб. карет. всей шкалы,с	Регули - рующее устройст- во	Дополнительное устройство	При ме- ча- ние
1	2	3	4	5	6
КСП2-003	1	2,5	-	-	
КСП2-004	1	10	-	-	
КСП2-005	1	10	Трехпози- ционное	-	
КСП2-016	1	10	То же	Реостатное устройство на выходе	
КСП2-017	1	10	-	То же	
КСП2-035	1	10	Реостат- ный задатчик с зоной пропор- циональ- ности 100%	-	
КСП2-036	1	10	То же	Реостатное устройство на выходе	
КСП2-037	1	10	1. Рео- статный задатчик с зоной пропор- циональ- ности 100% 2. Трехпо- зиционное	-	

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
КСП2-038	1	10	То же	Реостатное устройство на выходе	
КСП2-039	1	10	-	Реостатное устройство для работы с программным РУ	
КСП2-040	1	10	-	1. Реостатное устройство для работы с программным РУ 2. Реостатное устройство на выходе	
КСП2-041	1	10	Трехпозиционное	Реостатное устройство для работы с программным РУ	
КСП2-042	1	10	То же	1. реостатное устройство для работы с программным РУ 2. Реостатное устройство на выходе	

Пределы измерения и тип датчиков

Наименование и тип датчика	Обозначение градуировки	Пределы измерения	
		от	до
1	2	3	4
Термопара ТХК	ХК ₆₈	-50°С	50°С
		-50	100
		-50	150
		-50	200
		0	100
		0	150
		0	200
		0	300
		0	400
		0	600
		200	600
		200	800
		°С	
Термопара ТХА	ХА ₆₈	0	400
		0	600
		0	800
		0	900
		0	1100
		0	1300
		200	600
		200	1200
		400	900
		600	1100
		700	1300
Термопара ТПП	ПП ₆₈	0	1300
		0	1600
		500	1300
Термопара ТНС	НС	300	1000
Термопара ТПР	ПР30/6 ₆₈	300	1600
		1000	-
		-	1800

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
Датчик э.д.с. или напряжения постоянного тока		мВ	
		0	10
		0	20
		0	50
		0	100
		-10	10
		-20	20
		-100	100

2. Технические данные

2.1. Предел допускаемой основной приведенной погрешности показания приборов, выраженной в процентах от нормирующего значения измеряемой величины, на всех отметках шкалы не превышает $\pm 0,5$, кроме:

а) для многоточечных уравновешенных мостов $\pm 1,0$) пределами измерения

б) $\pm 1,0$ – для многоточечных потенциометров с пределами измерения

от 0 до 100°C ХК₆₈

от минус 50 до плюс 50°C

от 500 до 1300°C ПП₆₈

от 1000 до 1600°C ПР-30/6₆₈

от 1000 до 1800°C

Нормирующие значения выражаются в единицах напряжения.

2.2. Предел допускаемой основной приведенной погрешности записи приборов, выраженной в процентах от нормирующего значения измеряемой величины, на всех отметках диаграммы не превышает $\pm 1,0$.

2.3. Вариация показаний приборов не превышает 0,5 абсолютного значения допустимой основной погрешности показаний

2.4. Изменение показаний приборов, вызванное изменением температуры окружающего воздуха от $20 \pm 5^\circ\text{C}$ до любой температуры в пределах $5 \div 50^\circ\text{C}$ не превышает 0,1% на каждые 10°C изменения температуры

3. Измерительная схема приборов КСП2

В основу работы электронных автоматических потенциометров КСП2 положен компенсационный метод измерения напряжения.

Датчик термо ЭДС или напряжения постоянного тока включен последовательно с усилителем в диагональ измерительного моста.

В другую диагональ включен источник стабилизированного питания ИПСЗ, обеспечивающий постоянство постоянного тока в измерительной схеме.

При измерении измеряемой ЭДС на вход усилителя подается сигнал постоянного тока, который преобразуется в переменный ток и усиливается до величины, достаточной для приведения в действие реверсивного двигателя. Ось двигателя с помощью шкива и троса связано с кареткой (указателем), на который закреплен движок реохорда. Ротор реверсивного двигателя вращается до тех пор, пока существует сигнал, вызванный разбалансом схемы. Одновременно перемещается указатель прибора и движок по реохорду до наступления равновесия в измерительной схеме.

В момент равновесия измерительной схемы положение указателя на шкале определяет значение измеряемой величины.

Измерительная схема прибора состоит из двух ветвей: рабочей, в которую включены реохорд, и вспомогательной. В приборах, работающих в комплекте с термопарами, сопротивление измерительной схемы Р70 выполнено из медной проволоки.

Действие компенсационного медного сопротивления заключается в том, что при изменении температуры свободных концов термопара на сопротивлении Р70 появляется дополнительное падение напряжения, компенсирующее изменение ЭДС, вызванное изменением температуры свободных концов. Таким образом, компенсация изменения температуры свободных концов термопары осуществляется автоматически. Для устранения влияния поперечных и продольных помех, возникающих в цепи термопары, на вход прибора подключены мгновенные фильтры.

4. Присоединение датчика к потенциометру.

Присоединение проводов от датчика осуществляется по схеме внешних соединений.

Термопары присоединяются к колодкам либо своими концами, либо соединенными с ним компенсационными проводами соответствующей градуировки.

Соединение термопар с приборами медными проводами не допускается, т.к. в показании прибора может быть введена значительная погрешность. Для присоединения термопар к прибору рекомендуется гибкий компенсационный провод сечением не более $2,5 \text{ мм}^2$, проложенных в стальных заземленных трубах отдельно от силовых проводов, при условии обеспечения при этом легкого разъединения внешних цепей и прибора.

Подсоединение иных датчиков, кроме термопар, производится медными проводами. При присоединении датчиков нужно следить за тем, чтобы концы были плотно поджаты под винты колодок и не соединялись бы друг с другом.

5. Проверки потенциометров КСП2

5.1. Основная погрешность потенциометра проверяется методом сравнения его показаний с показаниями образцового потенциометра более высокого класса точности.

Для этой цели применяются образцовые потенциометры, обеспечивающие установку проверяемых значений измеряемой величины с погрешностью, не превышающей $1/3$ основной допускаемой погрешности проверяемого прибора.

Проверка потенциометра проводится согласно “Инструкции 166 – 63 по поверке автоматических потенциометров”.

Перед определением основной погрешности должно быть проделано следующее:

испытываемый прибор должен быть надежно заземлен;

должно быть подано номинальное напряжение питания переменного тока от сети;

сопротивление источников измеряемого напряжения, присоединенных к потенциометру, не должно превышать 200 Ом ;

к зажимам прибора, служащих для подключения датчика, присоединяют образцовый потенциометр;

соединительные провода от образцового потенциометра заменяющего датчик, должны быть перебиты и, если длиннее $1,5 \text{ м}$, заключены в заземленный железный шланг или трубу.

Присоединить проверяемый потенциометр к образцовому можно согласно одной из схем (рис. 27).

Если образцовый потенциометр низкоомный и его входное напряжение не превышает 100 Ом, к нему можно присоединить прибор по схеме “а”. Зажимы присоединения гальванометра к образцовому потенциометру обязательно должны быть закорочены.

В случае проверки потенциометра, работающего в комплекте с термопарой, компенсационные провода присоединяются к входным зажимам прибора и к зажимам образцового потенциометра.

Во многих случаях присоединить прибор удобнее по схеме “б” и использовать в качестве датчика не сам образцовый потенциометр, а специальный источник регулируемого напряжения (ИРН).

Эта схема применяется в тех случаях, когда на время проверки нельзя закоротить гальванометр образцового потенциометра ПП или сопротивление образцового потенциометра превышает 200 Ом (например, потенциометр ППТВ-1).

При проверке по обеим вышеописанным схемам следует учесть, что в проверяемом приборе установлена рабочая медная катушка (P70), а свободные концы термопары выведены наружу при помощи компенсационных проводов той же градуировки, что и сам прибор.

Температура свободных концов измеряется термометром, установленным в случае применения схемы “а”, а в случае применения схемы “б” – у зажимов источника регулируемого напряжения.

На основании показаний термометра вводятся поправки в табличные значения ЭДС.

При градуировки прибора после ремонта лучше всего пользоваться схемой “б”. В этом случае в проверяемый прибор вместо медной катушки (P70) устанавливается катушка, сопротивление которой равно сопротивлению медной катушки при 30°C. Катушки эти должны быть изготовлены с большой точностью и периодически проверяться.

Сопротивление их следующее:

Градуировка ХА₆₈ – 5,42±0,01 Ом;

Градуировка ХК₆₈ – 9,02±0,01 Ом;

Градуировка ПП₆₈ – 0,78±0,005 Ом.

Перед проверкой прибора по схемам “а” и “б” он должен быть включен не менее 2 часов. Кроме того, в образцовом приборе должен быть проверен рабочий ток.

Приборы со шкалой, градуированных в милливольты, проверяются по схеме “в”.

5.2. определение основной погрешности приборов проводится при условии:

температура окружающего воздуха $20 \pm 2^\circ\text{C}$;

относительная влажность окружающего воздуха от 30 до 80%;

напряжение питания прибора $220 \pm 5\text{ В}$;

частота тока питания $50 \pm 1\text{ Гц}$;

отсутствие внешних электрических и магнитных полей (кроме земного магнитного поля), влияющих на работу приборов;

отсутствие вибрации, тряски и ударов, влияющих на работу приборов.

Приборы, подлежащие поверке, должны быть включены на прогрев не менее получаса, а потенциометры с температурной компенсацией – на 2 часа.

Проверка производится на всех числовых отметках шкалы при возрастающих и убывающих значениях измеряемой величины.

5.3. основная допускаемая погрешность прибора определяется как максимальная разность между табличными значениями ЭДС термопары (см. приложение 1, 2, 3, 4, 5, 6) в милливольты (соответствующими проверяемым отметкам шкалы, скорректированными на температуру свободных концов термопары) и действительными значениями ЭДС, соответствующими каждой из цифровых отметок, выраженная в процентах от нормирующего значения измеряемой величины. Основная допускаемая погрешность для схемы “в” определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{E - e - E_0}{E_K - E_H} \cdot 100,$$

где γ – основная погрешность, %;

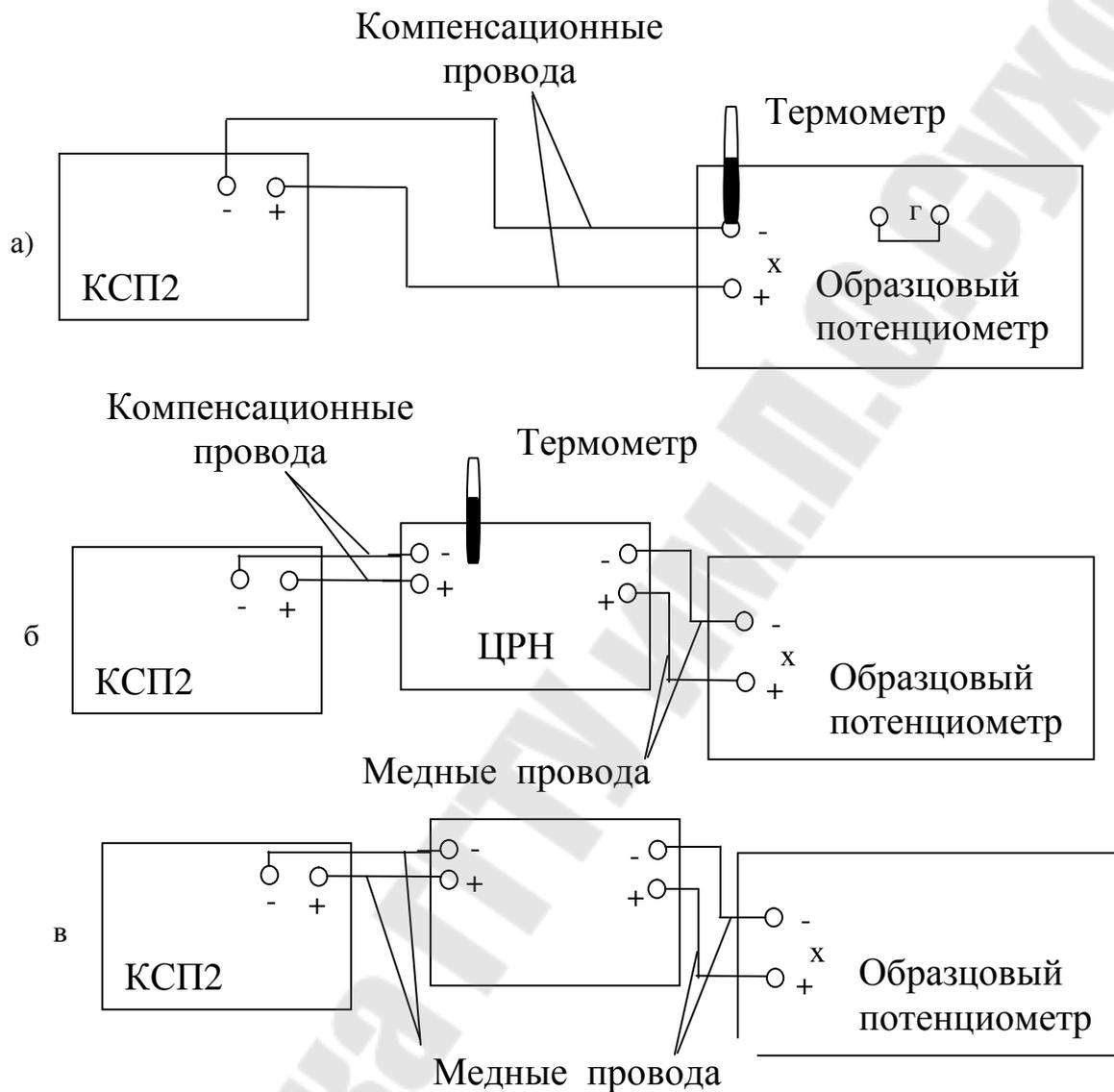
E – значение ЭДС термопары по государственному стандарту, соответствующее поверяемой отметке шкалы, мВ;

E_0 – отсчет по образцовому потенциометру (от двух отсчетов берется значение, дающее максимальную погрешность), мВ;

e – значение ЭДС термопары по государственному стандарту, соответствующее температуре 30°C , мВ;

E_K и E_H – значение ЭДС термопары по государственному

стандарту, соответствующие конечной и начальной отметкам шкалы.



5307

Рис.П4.1. Схемы присоединения проверяемого потенциометра КСП2 к образцовому потенциометру.

П5. Выписки из технического описания и инструкции по эксплуатации компенсатора переменного тока

1. Назначение

1.1. Компенсатор переменного тока К509 (далее - компенсатор) предназначен для измерения ортогональных составляющих параметров линейных электрических цепей при частотах от 40 до 10000 Гц путём сравнения напряжения на элементах этих цепей с компенсирующим напряжением, вырабатываемым синфазной и квадратурной измерительными цепями компенсатора.

1.2. Компенсаторы предназначены для эксплуатации:

К509 - в условиях умеренного климата в закрытых сухих отапливаемых помещениях при температуре воздуха от 10 до 35°C и относительной влажности до 80% при 25°C;

К509 Т 4.1 – тропическое исполнение – в условиях как сухого, так и влажного тропического климата в закрытых помещениях с кондиционированным или частично кондиционированным воздухом при температуре от 1 до 40°C и относительной влажности до 80% при 25°C (ГОСТ 15150-69).

2. Технические данные

2.1. Компенсатор имеет две измерительные цепи с однотипными отсчётными устройствами: одну – с компенсирующим напряжением, пропорциональным рабочему току синфазная цепь) и вторую – с компенсирующим напряжением, пропорциональным производной рабочего тока (I_p) по времени (t где $\omega_{ном}$ - номинальное значение угловой частоты рабочего тока (квадратурная цепь).

2.2 Номинальное значение частот рабочего тока компенсатора: 40; 41; 42; 43; 44; 45; 46; 47; 48; 49; 50; 51; 52; 53; 54; 55; 56; 57; 58; 59; 60; 100; 150; 200; 400; 1000; 2000; 4000 и 10000 Гц.

Примечание. На частотах от 100 до 10000 Гц должны использоваться нульиндикатор, делитель напряжения и амперметр, соответствующие требуемому частотному диапазону (например, Ф582; Р4001 и Ф584 с приставкой Ф5051) и не входящие в комплект поставки.

2.3. Номинальное значение рабочего тока компенсатора 0,5А и соответствующие ему конечные значения компенсирующего напряжения каждой измерительной цепи 1610 и 1611 мВ.

2.4. Пределы измерения компенсатора при использовании встроенного делителя напряжения 1,5; 3; 7,5; 15; 30; 75; 150; 300; 600 В.

2.5. Классы точности компенсатора при разных частотах и соответствующие им пределы допускаемых основных погрешностей по каждой измерительной цепи в зависимости от конечного (X_k) и отсчитываемого (X) значений компенсирующего напряжения соответствует указанным в таблице 1.

Таблица 1

Номинальная частота, Гц	Класс точности компенсатора	Предел допускаемой основной погрешности	
		относительной компенсирующего напряжения, %	абсолютной фазовой, рад
40; 41; 42; 44; 45; 46; 47; 48; 49; 50; 51; 52; 53; 54; 55; 56; 57; 58; 59; 60	0,1/0,04	$\pm [0,1 + 0,04(\frac{X_k}{X} - 1)]$	$\pm 0,002$
100; 150; 200	0,25/0,1	$\pm [0,25 + 0,1(\frac{X_k}{X} - 1)]$	$\pm 0,005$
400; 1000	0,5/0,2	$\pm [0,5 + 0,2(\frac{X_k}{X} - 1)]$	$\pm 0,005$
2000; 4000	1/0,4	$\pm [1 + 0,4(\frac{X_k}{X} - 1)]$	$\pm 0,010$
10000	1,5/0,6	$\pm [1,5 + 0,6(\frac{X_k}{X} - 1)]$	$\pm 0,015$

Пределы допускаемых погрешностей компенсатора при работе с делителем напряжения в диапазоне частот 40-60 Гц не превышают удвоенных значений, указанных в таблице 1.

В случае применения компенсатора для измерения ЭДС или Напряжения следует дополнительно учитывать погрешность установки рабочего тока. При этом предел допускаемой относительной погрешности измерения каждой из составляющих ЭДС или напряжения должен быть увеличен на значение предела допускаемой относительной погрешности измерителя рабочего тока.

2.6. С трансформатором тока И55/1, поставляемым в комплекте компенсатора, измерения могут производиться в цепях с номинальными токами до 50 А.

2.7. Для питания измерительной цепи в комплекте предусмотрен трансформатор специальный И57 с первичным напряжением 220 В, вторичными напряжениями от 3 до 36 В, номинальной мощностью 150Вт и диапазоном частот 40-60 Гц.

2.8. Сопротивление изоляции между цепью рабочего тока и корпусом компенсатора, а также между первичной обмотки и корпусом трансформатора специального И57 при температуре от 10 до 35° С и относительной влажности до 80% - не менее 100 Мом.

2.9. Изоляция между первичной и корпусом трансформатора специального И57 выдерживает в течении 1 мин. действие испытательного напряжения переменного тока частоты 50 Гц с действующим значением 1,5 кВ.

2.10. Габаритные размеры блоков потенциометра К516 и К517 не превышают 490×385×210 мм, трансформатора И57 - 120×230×190 мм.

2.11. Масса блока К516 не более 12 кг, блока К517 – не более 14 кг, трансформатора И57 – не более 8 кг.

2.12. Технические данные нульиндикатора Ф5046, амперметра Д5054 и трансформатора И55/1 приведены в технических описаниях и паспортах этих приборов.

3. Комплектность

3.1 В комплект поставки компенсатора входят:

блок синфазной цепи К516	_____	1 шт.;
блок квадратурной цепи К517	_____	1 шт.;
трансформатор специальный И57	_____	1 шт.;
нульиндикатор Ф5054/1, комплектность по паспорту	___	1 комп.;
амперметр Д 5054/3, комплектность по паспорту	___	1 компл.;
трансформатор тока И55/1, комплектность по паспорту	__	1 компл.;
кабель для соединения блоков К516 и К517 по цепи рабочего тока	_____	1 шт.;
кабели для соединения цепи измерения	_____	2 шт.;
техническое описание и инструкция по эксплуатации	___	1 экз.;
паспорт	_____	1 экз.;

4. Устройство и работа

4.1. Конструктивно компенсатор состоит из двух измерительных блоков: блока К516 синфазной цепи (далее – «ось Х») и блока К517 квадратурной цепи (далее – «ось Y»), соединяемых между собой кабелями с разъёмами.

4.2. В основу работы компенсатора положен компенсационный метод измерения, дающий возможность при работе без делителя напряжения производить измерения в электрической цепи без нарушения режима этой цепи, что особенно важно при исследовании маломощных объектов.

Измеряемое напряжение U уравнивается двумя последовательно включённым регулируемым напряжениями U_x и U_y , сдвинутыми по фазе одно по отношению к другому на 90° , причём напряжение U_x совпадает по фазе с рабочим током компенсатора, а напряжение U_y находится с ним в квадратуре.

Компенсирующие напряжения U_x и U_y создаются на двух одинаковых отсчётных устройствах, каждое из которых состоит из двух ступенчато-изменяющихся блоков резисторов, переключаемых двумя переключателями (далее - переключатели «U-15» и «O-10») и плавного переменного резистора (реохорда).

Отсчётное устройство «ось Х» (Y_2, Y_3, R_3) питается от вторичной обмотки трансформатора тока T (рис. 10).

Отсчётное устройство «ось Y» (Y_1, Y_2, R_5) питается от вторичной обмотки трансформатора T_1 - при частотах 40-400 Гц или T_2 – при частотах 1000-10000 Гц (рис.11).

Первичные обмотки трансформатора T и T_1 (или T_2) соединены последовательно и питаются рабочим током компенсатора.

Трансформаторы T_1 и T_2 не имеют ферромагнитных сердечников и э.д.с. их вторичных обмоток сдвинута по фазе по отношению к рабочему току на 90° , а фаза тока в их вторичных цепях совпадает с фазой э.д.с. вследствие компенсации индуктивности этих цепей фазосдвигающими цепочками из конденсаторов и резисторов (рис. 11).

4.3. При положении переключателя пределов измерения (рис. 9) каждого из отсчётных устройств на отметке «10» цена ступени переключателя «0-15» (рис. 7) – 10мВ, переключателя «0-10» (рис. 6) – 1мВ, цена деления шкалы реохорда – 0,1 мЗ; при положении переключателя пределов измерения на отметке «100» цены ступеней пере-

ключателей и цена деления шкалы реохорда 100,10,1 мВ соответственно.

4.4. При измерениях поворачивают рукоятки переключателей и реохордов обоих блоков компенсатора поочередно до тех пор, пока измеряемая величина U не будет уравновешена компенсирующим напряжением \dot{U} , равным геометрической сумме напряжения U_x и U_y

$$\dot{U} = \dot{U}_x + \dot{U}_y \quad (1)$$

Момент равновесия определяется отсутствием показаний нульиндикатора Ф5046 от нуля (или размытия светового указателя при использовании электронно-лучевого или вибрационного нуль-индикатора). Векторная диаграмма напряжений при равновесии приведена на рис. 1.

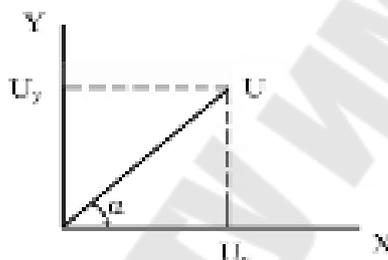


Рис. 1. Векторная диаграмма напряжений

Из диаграммы видно, что

$$U = \sqrt{U_x^2 + U_y^2} \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{U_y}{U_x}$$

4.5. Для обеспечения возможности измерения в любом из четырёх квадрантов координатной плоскости в цепях токов, питающих отсчётные устройства каждого из блоков, имеются переключатели полярности.

Эти же переключатели в положении «0» предназначены для Выключения соответствующего отсчётного устройства из цепи, что обеспечивает некоторые удобства в схемах, требующих одноосного включения компенсатора, например, в схемах, где вектор измеряемой величины при помощи фазорегулятора совмещается с какой-либо из осей компенсатора.

4.6. Для измерения напряжений, превышающих 1611 мВ, в блок К516 встроен безреактивный делитель напряжения (см. рис. 8 и 10) с номинальным током 1,5 мА, предназначенный для диапазона частот от 40 до 60 Гц.

4.7. Защита измерительной схемы от токов утечки, обуславливающих появление погрешностей, требуют заземления вполне определенных точек схемы, что вызывает необходимость изолировать измерительную схему от источника питания. Это достигается включением схемы через трансформатор специальный И57.

Схема трансформатора И57 и его технические данные обозначены на его панели.

Вторичная обмотка трансформатора состоит из четырёх секций с номинальным напряжением 3 В (номинальный ток каждой секции 12,5 А) и одной секции с номинальным напряжением 24 В (номинальный ток секции 6,25 А).

Корпус, сердечник трансформатора и экран, находящийся между первичной и вторичной обмотками соединены с зажимом заземления.

Зажимы секций вторичной обмотки снабжены металлическими перемычками, предназначенными для различных включений секций.

5. Указания мер безопасности

5.1. При работе с компенсатором и его ремонте обслуживающий персонал должен соблюдать требования по технической эксплуатации и технике безопасности при эксплуатации электроизмерительных приборов установленные правилами Госэнергонадзора.

6. Подготовка к работе и порядок работы

6.1. Общие указания

6.1.1. В случае транспортирования компенсатора в условиях повышенной влажности или низких температур выдержите его в течении 24 ч в условиях п. 1.2 и убедитесь в отсутствии механических повреждений.

6.1.2. Измеряемый объект и компенсатор должны питаться от одного и того же источника переменного тока.

6.1.3. Расположите блоки компенсатора на расстоянии не менее 3-4 м от источников сильных магнитных полей.

6.1.4. Соедините блоки компенсатора между собой и с нульиндикатором кабелями, входящими в комплект.

6.1.5. Выполните все остальные соединения в схеме измерения свитыми парами проводов.

6.1.6. Включите трансформатор И57 в соответствии с данными, находящимися на панели трансформатора.

6.1.7. Подключите нульиндикатор Ф5046, амперметр Д5054 и Трансформатор И55/1 в соответствии с техническими описаниями и инструкциями по эксплуатации этих приборов.

6.1.8. Питайте измерительную схему при частотах от 40 до 60 Гц через трансформатор специальный И57.

При более высоких частотах можно применять электронный генератор с усилителем мощности, имеющим изолированную вторичную обмотку выходного трансформатора, либо пользоваться источником питания достаточной мощности через соответствующий изолирующий трансформатор с экранированной вторичной обмоткой.

Измеряйте рабочий ток компенсатора при измерениях напряжения при частотах до 2000 Гц амперметром Д5054, при более высоких частотах можно применять вольтметр Ф584 с приставкой Ф5051.

Измеряйте рабочий ток при измерении составляющих комплексных сопротивлений амперметром Д5054 при всех частотах (для этой цели можно применять также и амперметр меньшей точности).

Применяйте нульиндикатор Ф5046 при частотах от 40 до 60 Гц, при более высоких частотах рекомендуется применять нульиндикатор Ф582.

Примените трансформатор тока И55/1 при измерении в цепях с токами более 0,5 А при более высоких частотах может быть применён любой подходящий трансформатор тока.

Приборы Ф582, Ф584, и Ф5051 в комплект компенсатор не входят и поставляются по отдельному заказу.

6.1.9. При измерении составляющих комплексных сопротивлений компенсатор даёт правильные показания при значениях рабочего тока от 30 до 120% от номинального значения.

6.1.10. Производите переключение переключателя полярности отсчёта квадратурной цепи при снижении, примерно на 50%, рабочем токе, так как при этом переключении происходит кратковременное увеличение рабочего тока.

6.2. Подготовка к работе и измерение.

6.2.1. Соединение кабелями разъёмы «X3», «X4», «X5» блока К516 с разъёмами «X1», «X2» блока К517 и разъёмом нульиндикатора в соответствии со схемами, приведёнными на рис. 2-5.

Соедините зажимы с обозначением « \perp » на обоих блоках и нульиндикаторе между собой и заземлите.

6.2.2. Включите компенсатор зажимами « $I_p=0,5$ А» в цепь рабочего тока.

6.2.3. Присоедините при значениях измеряемого напряжения до 1611 мВ измеряемый объём к зажимам « X_1 » или « X_2 » («Ось X») в соответствии со схемами, приведёнными на рис. 2 и 4, установите переключатель «Вход» в соответствующее положение. При этом положение переключателя делителя напряжения безразлично.

6.2.4. Присоедините при значениях измеряемого напряжения, превышающих 1611 мВ, измеряемый объект к зажимам делителя напряжения «Вход 1,5-600V» на задней стенке блока К516 (рис. 3).

Установите при этом переключатель «ВХОД» в положение «ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ», а переключатель «ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ» на отметку, соответствующую ожидаемому напряжению, а если оно неизвестно, то на отметку «600V».

6.2.5. Подключите амперметр для измерения рабочего тока компенсатора в соответствии с выбранной схемой измерения.

6.2.6. Включите в схему частотомер при питании измерительной схемы от местных генераторов. Погрешность частотометра не должна 0,02%.

6.2.7. Установите перед началом измерения регулирующее устройство в положение, соответствующее минимальному току.

6.2.8. Установите переключатель чувствительности нульиндикатора на минимальную чувствительность.

6.2.9. Установите переключатели пределов измерения потенциометра в положение «100».

6.2.10. Установите переключатели полярности на любой из знаков («+» или «-»).

6.2.11. Установите оба переключателя «ЧАСТОТА, Hz» на значение частоты, соответствующее частоте источника питания.

6.2.12. Включите питание нульиндикатора.

6.2.13. Включите питание измерительной схемы и установите регулирующим устройством рабочий ток.

6.2.14. Добейтесь установки указателя нульиндикатора на нулевую отметку шкалы, постепенно увеличивая его чувствительность, поочерёдным вращением рукояток ступенчатых переключателей отсчёта и реохордов то одной, то другой оси. Следует иметь в виду, что в положении «*max*» чувствительность нульиндикатора слишком велика и этим положением следует пользоваться только при работе со сниженным рабочим током.

6.2.15. Если добиться равновесия не удаётся, а приближение указателя нульиндикатора к нулевой отметке наблюдается при подходе по одной из осей к нулю, то следует переключатель полярности этой оси установить на противоположный знак.

6.2.16. Если по одной из осей отсчёт будет лишь на шкале реохорда, то переведите переключатель пределов измерения этой оси в положение "10" и снова добейтесь равновесия.

6.2.17. Произведите отсчёт показаний в милливольтках по обеим осям с учётом пределов измерения и полярности.

6.3. Основные расчётные формулы

6.3.1. Вычислить модуль измеряемого напряжения по формуле (2).

6.3.2. Вычислить угол сдвига фаз α между вектором U и осью X по формуле:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{U_y}{U_x} \quad (4)$$

6.3.3. Вычислите значение U_y составляющее напряжения по оси Y в случае, если измерение производится при частоте, отличающейся от значения, установленного переключателями "ЧАСТОТА", по формуле:

$$U_y = U_{y0} \cdot \frac{f}{f_0} ; \quad (5)$$

где U_{y0} – значение напряжения, отсчитанное по оси Y , мВ;

f – действительное значение частоты, Гц;

f_0 – значение частоты, установленное переключателями.

6.3.4. Вычислите действительные значения составляющих измеряемого напряжения в вольтах при измерениях напряжений, превышающих 1611 мВ, с использованием делителя напряжения по формулам:

$$U_x = U_{xo} \cdot 10^{-3} \cdot \frac{U_n}{1,5}; \quad (6)$$

$$U_y = U_{yo} \cdot 10^{-3} \cdot \frac{U_n}{1,5}; \quad (7)$$

где U_n – номинальное значение напряжения, указанное на переключателе «ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ», В;
1,5 – номинальное напряжение выхода делителя, В.

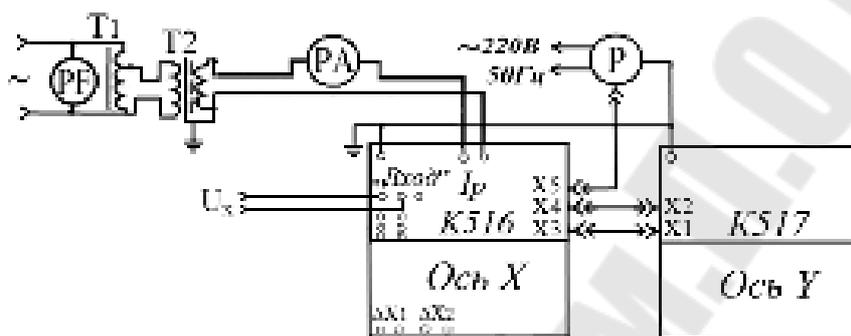


Рис. 2. Измерение напряжения до 1611 мВ.
Схема электрическая подключения.

PF – частотомер; T1 – автотрансформатор регулировочный 0-250В;
T2 – трансформатор И57; PA – амперметр на 0,5-1А; K516 и K517 –
блоки компенсатора; P – нульиндикатор Ф5046 (Ф582).

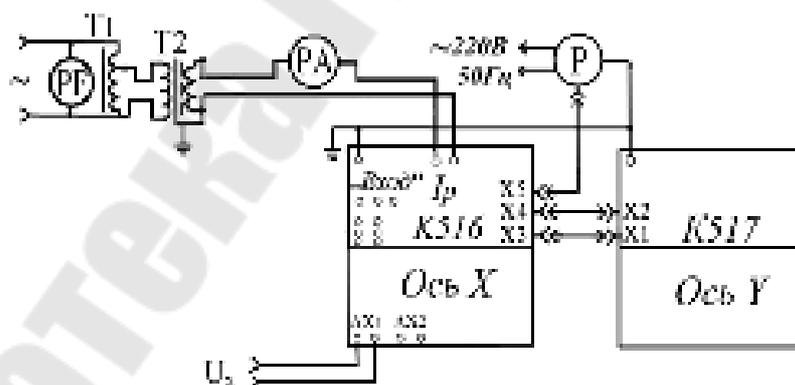


Рис. 3. Измерение напряжения свыше 1611 мВ.
Схема электрическая подключения.

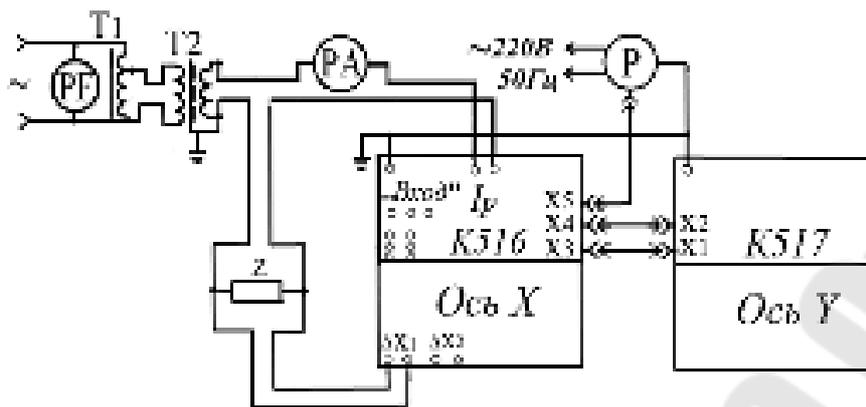


Рис. 4. Измерение падения напряжения до 1611 мВ, сопротивления и угла сдвига фаз между током и напряжением.
Схема электрическая подключения.

PF – частотомер; T1 – автотрансформатор регулировочный 0-250В; T2 – трансформатор И57; T3 – трансформатор тока (И55/1); PA – амперметр на 05-1А; P – нульиндикатор Ф5046 (Ф582); Z – измеряемое комплексное сопротивление; R₀ – образцовая катушка сопротивления, выбираемая в зависимости от значения тока.

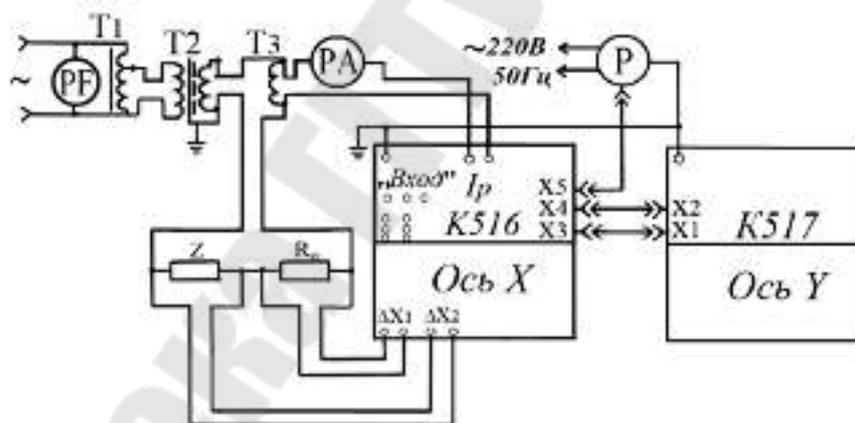


Рис. 5. Измерение падения напряжения, сопротивления и угла сдвига фаз между током и напряжением при использовании трансформатора тока. Схема электрическая подключения.

6.4. Измерение напряжения и сопротивления

6.4.1. Произведите измерение падения напряжения на исследуемом объекте (см. рис. 4), измерение падения напряжения свыше 1611 мВ при подключении проводов от исследуемого объекта и кабелей по рис. 3 и обработку результатов, как указано в пп. 6.2 и 6.3.

6.4.2. Вычислите активную (R) и реактивную (X) составляющие сопротивлений путём деления падения напряжения на измеряемом объекте (Z) в милливольтгах на номинальное значение рабочего тока компенсатора в миллиамперах при работе без трансформатора тока по формулам:

$$R = \frac{U_x}{I_p} = \frac{U_x}{500} \quad (8)$$

$$x = \frac{U_y}{I_p} = \frac{U_y}{500} \quad (9)$$

где I_p - номинальное значение рабочего тока 500 мА.

6.4.3. Вычислите составляющие сопротивлений при использовании трансформатора тока (см. рис. 5) по формулам:

$$R = \frac{U_x}{500 \cdot K_H} \quad (10)$$

$$x = \frac{U_y}{500 \cdot K_H} \quad (11)$$

где K_H - номинальное значение коэффициента трансформации трансформатора тока.

6.5.1. Так как отсчёт по оси X практически совпадает по фазе с рабочим током потенциометра, то нахождение угла сдвига фаз между током и напряжением сводится к нахождению угла между вектором напряжения и осью X .

Измерьте составляющие падения напряжения U_x и U_y на исследуемом объекте Z (см. рис. 4) и вычислите угол сдвига фаз по формулам (4) с учётом п. 6.3.3.

6.5.2. При необходимости исключения фазовой погрешности трансформатора тока при его использовании (при этом исключается также и фазовая погрешность отсчётного устройства синфазной оси) измерение производите по схеме (см. рис. 5).

Измерьте составляющие падения напряжения на активном сопротивлении R_0 и комплексном сопротивлении и вычислите по формулам (4) углы сдвига фаз отдельно для напряжений на R_0 и на Z и определите угол сдвига фаз между током и напряжением как разность между вторым и первым вычисленными углами.

П6. Выписки из технического описания и инструкции по эксплуатации нульиндикатора Ф5046

1. Назначение

1.1. Нульиндикаторы Ф5046 (в дальнейшем – нульиндикаторы) предназначены для работы в качестве указателей равновесия в мостовых и компенсационных измерительных схемах переменного тока и для других аналогичных целей.

1.2. Нульиндикаторы предназначены для эксплуатации:

Ф5046 – в условиях умеренного климата в закрытых сухих отапливаемых помещениях при температуре окружающего воздуха от 10 до 35°С и относительной влажности до 80% при 25°С.

2. Технические данные

2.1. Модификации нульиндикаторов указаны в таблице 1.

Таблица 1

Модификация нульиндикатора	Нормальная область частот, Гц
Ф5046/1	30 - 61
Ф5046/2	380 - 420
Ф5046/3	970 - 1030

2.2. Чувствительность нульиндикатора к входному напряжению в нормальной области частот не менее 5 миллиметров шкалы на микровольт (в дальнейшем мм*шк/мкВ) и не менее 0,1 мм*шк/мкВ на частоте 25 Гц для Ф5046/1.

2.3. Избирательность нульиндикатора по третьей гармонике не менее 60 дБ.

2.4. Нульиндикаторы имеют 3 ступени ослабления чувствительности по 30 дБ каждая. Пределы допускаемой погрешности ослабления чувствительности ± 3 дБ.

2.5. Входное сопротивление нульиндикаторов не менее 600 Ом.

2.6. Электропитание нульиндикаторов осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В с предельными отклонениями $\pm 10\%$ и частотой от 49 до 61 Гц.

2.7. Отношение входных напряжений нульиндикаторов, вызывающих отклонение указателя соответственно не 100 и 10% максимального значения, не менее 35 дБ.

2.8. Ассиметрия входной цепи нульиндикаторов по напряжению не менее: 80 дБ для Ф5046/1; 70 дБ для Ф5046/2; 60 дБ для Ф5046/3.

2.9. Время успокоения указателя нульиндикаторов не более 4 с.

2.10. Время установления рабочего режима для нульиндикаторов не более 1 мин.

2.11. Продолжительность непрерывной работы нульиндикаторов 8 ч с последующим отключением не менее чем на 1ч.

2.12. Изменения чувствительности и избирательности нульиндикаторов, вызванные изменением температуры окружающего воздуха по отношению к нормальной в пределах рабочих температур (от 10 до 35°C), не превышают 10 дБ на каждые 10°C изменения температуры соответственно.

Изменения чувствительности и избирательности нульиндикаторов тропического исполнения, вызванные отклонением температуры окружающего воздуха по отношению к нормальной в диапазоне температур от 1 до 10°C и от 35 до 40°C, не должны превышать 15 дБ на каждые 10°C изменения температуры соответственно.

2.13. Изменения чувствительности и избирательности нульиндикаторов, вызванные изменением напряжения питающей сети от 49 до 61 Гц, не превышают 1 и 2 дБ соответственно.

2.14. Отклонение указателя нульиндикаторов от нулевой отметки, вызванное шумами и фоном, не превышает значения, соответствующего входному напряжению, равному 0,3 мкВ.

2.15. Отклонение указателя нульиндикаторов от нулевой отметки, вызванное воздействием внешнего магнитного поля напряжённостью 16 А/м, образованного переменным током любой частоты, лежащей в нормальной области, не превышает значения, соответствующего входному напряжению, равному 1 мкВ.

2.16. Мощность, потребляемая каждым нульиндикатором от сети питания, не превышает 10 В×А.

2.17. Габаритные размеры нульиндикатора не более 120×190×195 мм.

2.18. Масса нульиндикатора не более 3 кг.

4. Устройство и работа

4.1. Нульиндикатор состоит из входного трансформатора, делителя напряжения, блока избирательного усилителя, блока полосового фильтра, выходного прибора и блока питания.

4.2. Каждая ступень делителя напряжения ослабляет сигнал на 30 дБ. Максимальное ослабление сигнала соответствует нажатой кнопке «1».

Поступающий с делителя сигнал усиливается избирательным усилителем, выпрямляется диодным выпрямителем и измеряется прибором магнитноэлектрической системы.

В первом каскаде усилителя используется истоковый повторитель на полевом транзисторе. Избирательность усилителя в заданном диапазоне частот обеспечивается полосовыми фильтрами, а логарифмический характер его амплитудной характеристики – использованием нелинейного характера вольтамперной характеристики диодов.

Схема электрическая принципиальная приведена на рис. 8 приложения 1.

6. Подготовка к работе и порядок работы

6.1. Проверьте предохранитель нульиндикатора.

6.2. Заземлите нульиндикатор.

6.3. Включите в сеть шнур питания.

6.4. Нажмите кнопку выключателя сети и дайте прогреться нульиндикатору в течении 1 мин.

6.5. Подсоедините к измеряемой схеме входной кабель нульиндикатора.

6.6. Нажмите кнопку с обозначением «1» и уравновесьте измерительную схему таким образом, чтобы стрелка указателя находилась в начальном участке шкалы (не более $\frac{1}{4}$ шкалы).

6.7. Прделайте операции, указанные в п.6.6, при последовательном нажатии кнопок с обозначением «2», «3», и «тах».

П7. Выписки из технического описания и инструкции по эксплуатации амперметра Д5054

1. Назначение

1.1. Амперметры Д5054, предназначены для точных измерений силы тока в цепях переменного и постоянного тока.

2. Технические данные

2.1. Амперметр, соответствует классу точности 0,1 по ГОСТ 8711-78;

2.2. Приборы изготавливаются модификаций, указанных в табл. 1.

Таблица 1

Наименование прибора	Модификация	Конечное значение диапазона измерений	Активное сопротивление, не более, Ом	Индуктивность, не более, мГн	Нормальная область частот, Гц	Рабочая область частот, Гц
Амперметр	Д5054/1	5А 10А	0,13 0,06	0,03 0,01	от 45 до 500	от 500 до 1500
	Д5054/2	2,5А 5А	0,3 0,13	0,1 0,03		
	Д5054/3	0,5А 1А	2,6 1,1	0,8 0,2		

2.6. Дополнительная погрешность прибора, вызванная отклонением частоты от верхней границы нормальной области до любого значения в рабочей области частот, не превышает $\pm 0,1\%$ от конечного значения диапазона измерений.

2.8. Время установления показаний прибора не более 4 с.

2.9. Дополнительная погрешность прибора, вызванная отклонением температуры окружающего воздуха от $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ до любой температуры в диапазоне от 10 до 35°C , на каждые 10°C не превышает $\pm 0,1\%$ от конечного значения диапазона измерений.

2.10. Дополнительная погрешность прибора, вызванная влиянием внешнего однородного постоянного либо переменного (частоты в пределах нормальной области частот) магнитного поля с индукцией

0,5 мТл, не превышает $\pm 0,5\%$ от конечного значения диапазона измерений.

2.11. Питание цепи освещения светового указателя прибора производится от сети переменного тока напряжением (220 ± 22) В с частотой 50-60 Гц через понижающий трансформатор либо непосредственно от источника постоянного или переменного тока напряжением 4 В.

2.12. Габаритные размеры прибора: 205×290×135 мм.

2.13. Масса прибора не более 4,5 кг.

2.14. Габаритные размеры корпуса трансформатора: 65×85×45 мм.

2.15. Масса трансформатора не более 0,5 кг.

4. Устройство и работа

4.1. Приборы электродинамической системы, экранированные, переносные.

4.2. Противодействующий момент в приборе создаётся растяжками ГЗ, 150 ГОСТ 9444-74. Натяжение растяжек 1,5 Н.

4.3. Длина шкалы прибора (два ряда) 300 мм. Отсчёт показаний производится по световому указателю.

6. Подготовка к работе и порядок работы

6.1. В случае транспортирования прибора в условиях повышенной влажности или низких температур, выдержите его в течении 24 ч в условиях п. 1.2 и убедитесь в отсутствии механических повреждений.

6.2. Установите прибор по уровню в рабочее положение.

6.3. Подключите питание цепи освещения к источнику переменного тока напряжением 220 В частотой 50-60 Гц через понижающий трансформатор либо от источника переменного или постоянного тока напряжением 4 В.

Отрегулируйте яркость светового указателя на нулевой отметке шкалы поворотом верхней и нижней ручек узла осветителя. Вращение верхней ручки перемещает лампу в вертикальном направлении, а вращение нижней ручки – в горизонтальном направлении.

Вращением нижней ручки узла осветителя регулируется распределение светового потока на два световых индекса при положении светового указателя на середине шкалы.

6.4. Установите указатель корректором на нулевую отметку шкалы.

6.5. Установите переключатель прибора на самый большой диапазон измерения.

6.6. Включите прибор в схему для измерений.

6.7. При малых отклонениях светового указателя выберите нужный диапазон переключением диапазонов измерения.

Во избежание разрыва токовой цепи переключение номинальных токов у ваттметра производите последовательной перестановкой штепселей из одних гнезд в другие. У амперметра Д5054/1 и Д5054/2, с этой же целью перед перестановкой штепселей переключателя диапазонов измерения замкните цепь у зажимов штепселем, вынув его из гнезда, не имеющим электрической связи с цепью амперметра. После переключения вновь вставьте этот штепсель в изолированное гнездо. В гнезда переключателя штепселя устанавливать плотно с притиркой.

Амперметры выдерживают нагрузку, равную 120% номинальной в течении 5 минут.

6.9. Перед проведением измерений произведите следующую предварительную регулировку прибора:

Выдержите прибор под номинальной нагрузкой в течении 30 мин, после чего снимите нагрузку и корректором установите указатель на нулевую отметку шкалы.

Предварительную регулировку производите независимо от предполагаемой длительности измерений, а также повторяйте каждый раз, когда прибор выключается более чем на 1 час.

При непродолжительном пользовании прибором предварительную регулировку можете не производить, однако через каждые 3-4 мин работы в выключенном приборе проверяйте положение указателя на нулевой отметке и при необходимости корректором устанавливайте его на нулевую отметку.

6.10. При определении действительного значения тока определите цену деления прибора на данном диапазоне измерения и умножьте её на отсчёт по шкале в делениях. Для определения цены деления конечное значение диапазона измерений разделите, на число делений шкалы.

Содержание

	стр.
Лабораторная работа № 11. Компенсаторы постоянного тока	3
Лабораторная работа № 12. Компенсаторы переменного тока ...	19
Приложения	40

**Вяхирев Николай Иванович
Гизенко Вячеслав Валентинович
Красовская Наталия Андреевна**

МЕТРОЛОГИЯ

**Лабораторный практикум
по курсу «Метрология, стандартизация
и сертификация в электронике» для студентов
специальности 1-36 04 02 «Промышленная электроника»
дневной и заочной форм обучения
В трех частях
Часть 3**

Подписано в печать 14.10.09.

Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 4,88. Уч.-изд. л. 4,34.

Изд. № 121.

E-mail: ic@gstu.gomel.by

<http://www.gstu.gomel.by>

Отпечатано на цифровом дуплекаторе
с макета оригинала авторского для внутреннего использования.

Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого».

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.