

Г.Н. Акимова

Электрические измерения и электротехника

**Методические рекомендации по проведению
лабораторных и практических работ**

Учебное пособие



**Нижний Новгород
2021**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
Филиал Самарского государственного университета путей сообщения
в г. Нижнем Новгороде

Г.Н. Акимова

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ
ПО ДИСЦИПЛИНАМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

Нижний Новгород, 2021

УДК 621.31(075)
ББК 31.2я73+31.221я73
А 39

Автор: Акимова Г.Н.

Методические рекомендации по проведению лабораторных и практических работ по дисциплинам Электрические измерения и Электротехника учеб. пособие / Акимова Г.Н.; Филиал Самарского государственного университета путей сообщения в г. Нижнем Новгороде. – Нижний Новгород, 2021. –47 с.

ISBN 978-5-6045908-2-9

Методическое пособие составлено в соответствии с учебными программами дисциплин «Электрические измерения» для специальности Автоматика и телемеханика на транспорте (на железнодорожном транспорте) и «Электротехника для специальности Техническая эксплуатация подвижного состава.

Лабораторные и практические работы играют большую роль в освоении студентами учебного материала. При дистанционном обучении выполнение лабораторных и практических работ в лаборатории затруднительно. В условиях такого вида обучения студентам приходится больше времени тратить на самостоятельную работу. Данное пособие поможет студентам освоить учебный материал и успешно выполнить лабораторные и практические работы. Оно будет так же полезно студентам заочной формы обучения и молодым преподавателям.

Изучение приборов непосредственной оценки

Краткие теоретические сведения

Общая схема устройства электроизмерительного прибора непосредственной оценки

Электроизмерительный прибор состоит из измерительной схемы и измерительного механизма.

В измерительную схему входят элементы (резисторы, преобразователи, переключатели, зажимы и др.), совместно с которыми измерительный механизм дает возможность определять значение измеряемой величины. В современной электроизмерительной технике используется большое количество различных приборов, имеющих одинаковые конструктивные элементы и много общих узлов и деталей.

Измерительный механизм каждого электроизмерительного прибора состоит из подвижной и неподвижной частей, взаимодействующих между собой в процессе измерения. В результате этого взаимодействия подвижная часть прибора поворачивается относительно неподвижной части так, что угол ее поворота пропорционален измеряемой величине.

Общая схема устройства измерительного механизма прибора непосредственной оценки электромагнитной системы представлена на рис. 1. Неподвижной частью прибора служит катушка 5. В других системах приборов могут быть постоянный магнит, электромагниты или система катушек. Основной деталью подвижной части является ферромагнитный сердечник 11, жестко прикрепленный к оси 8, упирающейся в подпятники 2 и 9. К этой же оси прикреплена стрелка 4, указывающая измеряемую величину по шкале 6. Спиральная пружина 3 является элементом, обеспечивающим пропорциональность угла поворота стрелки измеряемой величине. Для успокоения подвижной части предназначается успокоитель 7, 10. Установка стрелки на нуль обеспечивается корректором 1. Уравновешивание подвижной части достигается при помощи балансных грузиков – противовесов 12.

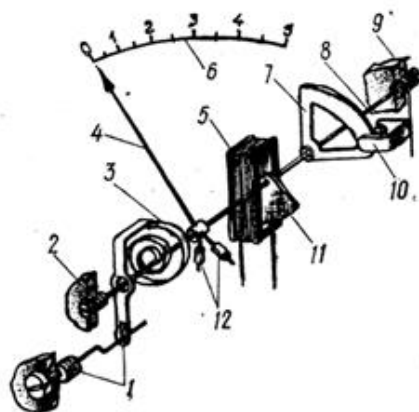


Рис. 1

Чувствительность и постоянная электроизмерительного прибора

Чувствительность S электроизмерительного прибора принято характеризовать углом отклонения его подвижной части (измеряемым количеством делений) или линейным перемещением конца указательной стрелки по шкале за единицу измеряемой величины.

Чувствительность определяют по току S_I или по напряжению S_U

$S_I = \alpha/I$, измеряется (делен/ A) или (мм/ A);

$S_U = \alpha/U$, измеряется (делен/ B) или (мм/ B).

Чем выше чувствительность электроизмерительного прибора, тем меньшие значения измеряемой величины можно измерить этим прибором.

Не меньшее практическое значение имеет величина чувствительности – *постоянная прибора* $C = 1/S$. Постоянная прибора также определяется по току C_I и напряжению C_U :

$C_I = 1/\alpha$, измеряется (A /делен) или (A /мм);

$C_U = U/\alpha$, измеряется (B /делен) или (B /мм).

Очень часто на шкалах лабораторных измерительных приборов цифры указывают количество делений от нулевого значения шкалы. Зная постоянную прибора по току или напряжению, определяют измеряемую величину, перемножая угол отклонения стрелки на постоянную прибора:

$$I = C_I \cdot \alpha, \quad U = C_U \cdot \alpha.$$



Рис. 2

Таблица

Условное обозначение	Пояснение условного обозначения	Условное обозначение	Пояснение условного обозначения
	Прибор показывающий		Прибор электродинамической системы
	Прибор регистрирующий		Прибор с цифровым отсчётом
	Прибор магнитоэлектрической системы с подвижной рамкой		Прибор электростатической системы
	Прибор магнитоэлектрической системы с подвижным магнитом		Измерительный механизм электродинамического логометра
	Прибор выпрямительной системы (выпрямитель и магнито-		Прибор электромагнитной системы

	электрический измеритель		
	Прибор индукционной системы		Прибор ферродинамической системы
	Прибор для измерения в цепях переменного тока		Прибор для измерения в цепях постоянного тока
	Рабочее положение шкалы (горизонтальное)		Рабочее положение шкалы (вертикальное)
	Наклонное положение под углом 60°	 или 2 кВ	Измерительная цепь прибора выдерживает по отношению к корпусу 2 кВ

Определение погрешности измерений.

Краткие теоретические сведения

Классификация погрешностей. Полученное из опыта значение измеряемой величины может отличаться от ее действительного значения. Это может быть обусловлено конструктивными недостатками прибора, несовершенством технологии его изготовления, а также влиянием различных внешних факторов. Разность между показанием прибора X и истинным значением измеряемой величины X_0 называется *абсолютной погрешностью* измерительного прибора:

$$\Delta = X - X_0.$$

Относительная погрешность измерения δ определяется обычно в процентах к истинному значению X_0 , но так как отклонения X от X_0 сравнительно малы, то можно считать, что

$$\delta = \Delta \cdot 100\% / X_0 \approx \Delta \cdot 100\% / X.$$

Поскольку величина X при измерении может принимать любые значения в пределах от 0 до X_N , где X_N – верхний предел диапазона измерения прибора (номинальное значение), то оценить качество прибора по значению абсолютной или относительной погрешности невозможно.

Поэтому было введено понятие *приведенной погрешности*

$$\gamma = \Delta / X_N.$$

Значение приведенной погрешности, выраженное в процентах:

$$\gamma = \Delta \cdot 100\% / X_N$$

определяет **класс точности прибора**. По степени точности даваемых показаний электроизмерительные приборы делятся на классы, обозначаемые соответственно числами: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0, определяющими максимальную погрешность прибора в процентах при полном отклонении указателя.

Цель работы: научиться определять абсолютную, относительную и приведённую погрешности измерения, поправку прибора.

Порядок выполнения работы:

Записать задание в соответствии со своим вариантом (данные в табл. 1) определить:

1. абсолютную погрешность заданного измерительного прибора

$$\Delta A = A_{\text{изм}} - A_{\text{д}},$$

где $A_{\text{изм}}$ – показание прибора,

$A_{\text{д}}$ – действительное значение измеряемой величины;

2. поправку прибора

$$\delta = - \Delta A;$$

3. относительную погрешность заданного измерительного прибора

$$\gamma = (\Delta A / A) 100\%$$

4. приведённую погрешность заданного измерительного прибора

$$\gamma_{\text{п}} = (\Delta A / A_{\text{н}}) 100\%$$

где $A_{\text{н}}$ – номинальное значение измерительного прибора;

5. наибольшую приведённую погрешность заданного измерительного прибора

$$\gamma_{\text{д}} = (\Delta A_{\text{наиб}} / A_{\text{н}}) 100\%$$

где $\Delta A_{\text{наиб}}$ – наибольшая возможная абсолютная погрешность;

$$\Delta A_{\text{наиб}} = \pm \gamma_{\text{д}} A_{\text{н}} / 100\%$$

6. наибольшая возможная относительная погрешность

$$\gamma_{\text{н в}} = \pm \gamma_{\text{д}} A_{\text{н}} / A_{\text{изм}}$$

7. Сделать вывод: превышает ли наибольшая приведённая погрешность класс точности заданного измерительного прибора.

Таблица № 1

№ варианта	Измерительный прибор	Класс точности	Номинальное значение	Измеренное значение	Действительное значение
1	Вольтметр	1,0	15 В	7,6 В	7,5 В
2	Омметр	2,0	500 Ом	236 Ом	210 Ом
3	Амперметр	1,5	2 А	0,8 А	0,9 А
4	Ваттметр	1,0	150 Вт	74 Вт	73,3 Вт

5	Омметр	2,5	5000 Ом	487 Ом	480 Ом
6	Миллиамперметр	2,0	150 мА	95 мА	100 мА
7	Вольтметр	1,5	300 В	112 В	114 В
8	Ваттметр	0,5	1000 мВт	495 мВт	484 мВт
9	Омметр	1,0	500 Ом	294 Ом	298 Ом
10	Амперметр	2,5	5 А	3,4 А	3,7 А
11	Ваттметр	2,0	200 Вт	154 Вт	159 Вт
12	Омметр	1,5	500 мОм	297 мОм	295 мОм
13	Киловольтметр	2,0	1 кВ	0,4 кВ	0,42 кВ
14	Омметр	1,5	300 Ом	274 Ом	275 Ом
15	Микроамперметр	1,0	500 мкА	64 мкА	64,5 мкА
16	Вольтметр	2,5	250 В	172 В	171 В
17	Ваттметр	2,0	1500 мВт	1295 мВт	1294 мВт
18	Амперметр	2,0	2 А	0,4 А	0,42 А
19	Киловольтметр	1,5	2 кВ	1,4 кВ	1,38 кВ
20	Вольтметр	1,0	300 В	222 В	223 В
21	Омметр	1,0	500 Ом	287 Ом	280 Ом
22	Амперметр	1,0	1 А	0,8 А	0,83 А
23	Ваттметр	1,5	250 Вт	174 Вт	173,1 Вт
24	Вольтметр	2,0	250 В	72 В	73,4 В
25	Миллиамперметр	0,5	3000 мА	195 мА	200 мА
26	Вольтметр	2,0	250 В	112 В	114 В
27	Амперметр	2,0	2 А	1,4 А	1,45 А
28	Омметр	1,5	500 Ом	474 Ом	472 Ом
29	Киловольтметр	2,5	2 кВ	1,6 кВ	1,58 кВ
30	Микроамперметр	1,0	500 мкА	164 мкА	170 мкА

Цель работы: Изучить назначение конструкцию электроизмерительного прибора, его чувствительность и постоянную.

Порядок выполнения работы:

1. Начертить конструкцию электроизмерительного механизма (рис. 1) и перечислить его детали. Пояснить, какие из них являются подвижными, а какие нет.
2. Начертить шкалу электроизмерительного прибора (рис. 2).
3. Указать маркировку и технические характеристики электроизмерительного прибора, указанные на шкале данного прибора. (воспользоваться таблицей).
4. Определить чувствительность и постоянную электроизмерительного прибора.
5. Дать определение чувствительности S электроизмерительного прибора и записать формулу чувствительности S для заданного прибора.
6. Дать определение постоянной электроизмерительного прибора и записать формулу постоянной для заданного прибора.
7. Ответить на вопрос: большие значения измеряемой величины можно измерить электроизмерительным прибором, если чувствительность прибора выше или ниже?

Правила эксплуатации электроизмерительных приборов и требования, предъявляемые к ним

Цель работы: изучить правила эксплуатации электроизмерительных приборов и требования предъявляемые к ним.

1.1 Правила эксплуатации электроизмерительных приборов

1.1 Практическое применение любого электроизмерительного прибора должно начинаться с проверки его работоспособности. Сначала оценивается внешний вид устройства: проверяется, нет ли повреждений корпуса, не покороблена ли шкала измерения, исправна ли стрелка. Прибор следует перевернуть, чтобы убедиться, нет ли внутри него отсоединившихся деталей. Следует проверить и исправность механизма, обнуляющего показания измерительного оборудования.

1.2 Лица, осуществляющие измерительные работы с использованием профессиональных переносных электроприборов, в своей работе должны руководствоваться правилами их внутреннего устройства, а также нормами по охране труда при эксплуатации. Дополнительными нормативными документами могут выступать внутренние производственные инструкции по ОТ и ТБ, доведённые работодателем.

1.3 Правила безопасной эксплуатации электроизмерительных приборов предполагают регулярную проверку их технического состояния и поверку показаний. Использовать такое оборудование следует бережно, не допуская механических ударов о корпус или падений прибора на твёрдую поверхность. Перед использованием следует ознакомиться с инструкцией к устройству, с обозначениями измеряемых им величин, диапазоном измерений, полярностью зажимов и т. п.

1.4 Осуществлять измерения в непосредственной близости или непосредственно на токоведущих элементах сетей или оборудования необходимо в спецодежде. Обязательными атрибутами станут и диэлектрические перчатки, и головной убор, полностью скрывающий волосы. С токоведущими частями, находящимися под напряжением и не участвующим в измерениях, работают только после установки специальных электроизолирующих ограждений.

1.5 Переключать прибор на другой предел измерения можно только при отключённом источнике питания.

1.6 Вид измеряемой величины должен соответствовать системе измерительного прибора.

2. Требования предъявляемые к электроизмерительным приборам

электроизмерительный прибор

2.1 должен быть достаточно точным;

- 2.2 потреблять незначительную мощность;
- 2.3 давать непосредственный отсчёт измеряемой величины в практических единицах;
- 2.4 выдерживать перегрузку;
- 2.5 быть простым и удобным в обращении;
- 2.6 иметь по возможности равномерную шкалу;
- 2.7 обладать независимостью показаний от внешних влияний (температуры, магнитного и электрического поля);
- 2.8 иметь приспособление, устанавливающее стрелку на нуль;
- 2.9 иметь достаточный срок службы.



Диэлектрические коврики



Диэлектрические галоши и боты



Диэлектрические перчатки



Спецодежда для работы в электросетях

Измерение напряжения и тока

Краткие теоретические сведения

Приборы, предназначенные для измерения силы тока, в зависимости от их номиналов подразделяются на микроамперметры, миллиамперметры, амперметры и килоамперметры.

При измерении силы тока через амперметр должен протекать весь ток нагрузки, поэтому прибор включают последовательно с сопротивлением нагрузки (см. схему 1). Для того, чтобы включение прибора не оказывало влияние на режим питания нагрузки, внутреннее сопротивление этого прибора должно быть очень малым, во много раз меньше сопротивления нагрузки. Чем выше номинал прибора, тем меньше его внутреннее сопротивление.

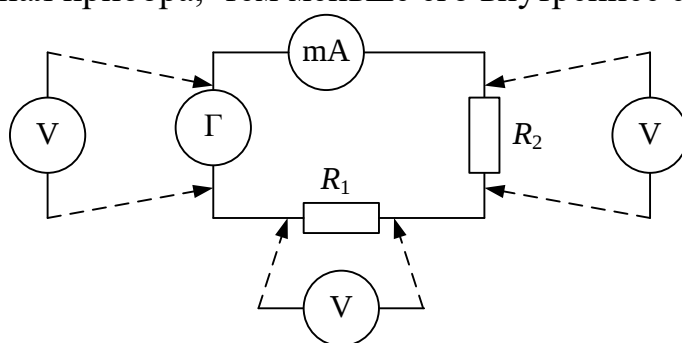


Рис. 1

Приборы, предназначенные для измерения напряжения, в зависимости от их номиналов подразделяются на милливольтметры, вольтметры и киловольтметры.

При помощи вольтметра можно измерять напряжение между двумя точками исследуемой цепи. Вольтметр подключают параллельно к измеряемому участку цепи (см. рис. 1).

Для того, чтобы включение вольтметра не влияло на режим работы цепи, его внутреннее сопротивление должно быть очень большим и во много раз превышать сопротивление измеряемого участка цепи.

Цель работы: научиться измерять напряжение и ток и косвенным методом сопротивление и мощность.

Оборудование:

1. Источник питания постоянного тока
2. Миллиамперметр
3. Вольтметр
4. Реостаты – нагрузка

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретический материал (§4.1, Шумский А. С., Мельничук В. М., Кучер С. А. Учебник «Измерения в электротехнических устройствах железнодорожного транспорта»).



2. Заполнить таблицу 1.

Таблица 1

Измерительный прибор	Система прибора	Класс точности	Номинальное значение	Номинальное число делений	Цена деления
Вольтметр					
Миллиамперметр					

3. Схема и показания приборов.

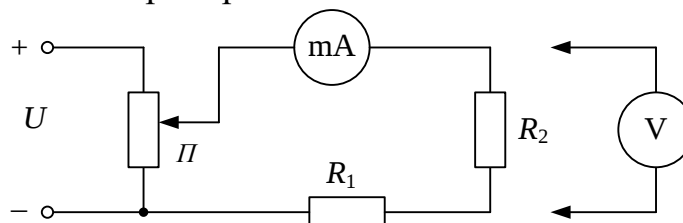


Схема 2

4. Заполнить таблицу 2.

Таблица 2

Измерено		Вычислено			
U , В	I , мА	R_{MIN} , Ом	R_{MAX} , Ом	P_{MIN} , Вт	P_{MAX} , Вт

5. Вычислить максимальное и минимальное значение измеренного сопротивления и измеренной мощности.

$$U_{MAX} = U + \gamma U; \quad U_{MIN} = U - \gamma U;$$

$$I_{MAX} = I + \gamma I; \quad I_{MIN} = I - \gamma I;$$

$$R_{MAX} = U_{MAX} / I_{MIN}; \quad R_{MIN} = U_{MIN} / I_{MAX};$$

$$P_{MAX} = U_{MAX} * I_{MAX}; \quad P_{MIN} = U_{MIN} * I_{MIN}$$

6. Ответить на вопросы:

6.1 Какой системы электроизмерительные приборы, применяемые в данной работе?

6.2 В электрических цепях какого тока можно применять данные электроизмерительные приборы?

6.3 Как подразделяются, в зависимости от их номиналов, приборы, предназначенные для измерения силы тока?

6.4 Какой величиной сопротивления относительно сопротивления нагрузки должен обладать электроизмерительный прибор, предназначенные для измерения силы тока?

6.5 Как подразделяются, в зависимости от их номиналов, приборы, предназначенные для измерения напряжения?

6.6 Какой величиной сопротивления относительно сопротивления нагрузки должен обладать электроизмерительный прибор, предназначенные для измерения напряжения?

Сделать выводы по работе:

1. Какой из рассмотренных электроизмерительных приборов включается

в разрыв цепи, и какой параметр электрической цепи измеряется с помощью этого прибора?

2. Каким электроизмерительным прибором можно производить замеры не разрывая электрическую цепь? Какой параметр электрической цепи измеряется с помощью этого прибора?

3. Как влияет класс точности электроизмерительного прибора на точность измерения параметров электрической цепи?

Электрические измерения неэлектрических величин

Краткие теоретические сведения

Электрические методы измерения различных неэлектрических величин широко применяют в практике, поскольку они обеспечивают высокую точность измерений, отличаются широким диапазоном измеряемых величин, позволяют выполнять измерения и регистрацию их на значительном расстоянии от места расположения контролируемого объекта, а также дают возможность проводить измерения в труднодоступных местах.

В большинстве случаев измерение неэлектрической величины сводится к преобразованию ее в однозначно зависимую от нее электрическую величину, измеряя которую и определяют неэлектрическую величину. Элемент измерительного устройства, выполняющий это преобразование, называется *измерительным преобразователем или датчиком*.

Измерение различных неэлектрических величин (перемещений, усилий, температур и т. п.) электрическими методами выполняют с помощью устройств и приборов, преобразующих неэлектрические величины в зависящие от них электрические, которые измеряют электроизмерительными приборами со шкалами, градуированными в единицах измеряемых неэлектрических величин. Преобразователи неэлектрических величин в электрические, или датчики, разделяют на *параметрические*, основанные на изменении какого-либо электрического или магнитного параметра (сопротивления, индуктивности, емкости, магнитной проницаемости и т. п.) под действием измеряемой величины, и *генераторные*, в которых измеряемая неэлектрическая величина преобразуется в зависимую от нее э. д. с. (индукционные, термоэлектрические, фотоэлектрические, пьезоэлектрические и другие). Параметрическим преобразователям необходим посторонний источник электрической энергии, а генераторные сами являются источниками энергии.

Один и тот же преобразователь можно использовать для измерения различных неэлектрических величин и, наоборот, измерение какой-либо неэлектрической величины можно выполнить с помощью преобразователей различных типов.

Для измерения механических усилий, напряжений и упругих деформаций, возникающих в деталях и узлах различных конструкций, применяют проволочные преобразователи - *тензорезисторы*, которые деформируясь, вместе с исследуемыми деталями, наменяют свое электрическое сопро-

тивление. Обычно сопротивление тензорезистора составляет несколько сотен ом, а относительное изменение его сопротивления - десятые доли процента и зависит от деформации, которая в пределах упругости прямо пропорциональна приложенным усилиям и возникающим механическим напряжениям.

Тензорезисторы изготавливают в виде зигзагообразно расположенной проволоки большого удельного сопротивления (константан, нихром, манганин) диаметром 0,02 - 0,04 мм либо из медной специально обработанной фольги толщиной 0,1 - 0,15 мм, которые заклеивают бакелитовым лаком между двумя слоями тонкой бумаги и подвергают термической обработке (рис. 1, а).

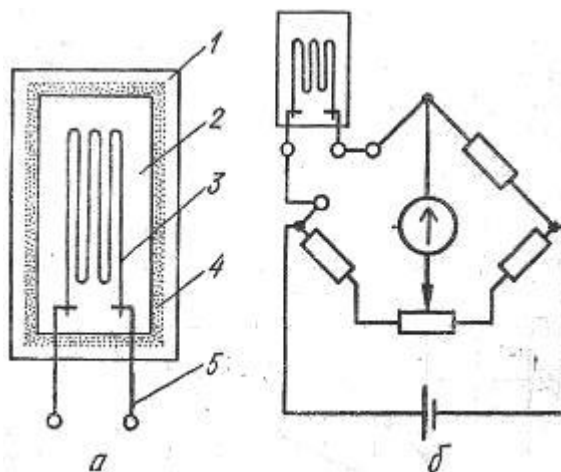


Рис. 1. Тензорезистор:

а - схема устройства: 1 - деформируемая деталь,

2 - тонкая бумага, 3 - проволока, 4 - клей, 5 - выводы,

б - схема включения в плечо неуравновешенного моста резисторов.

Изготовленный тензорезистор приклеивают к тщательно очищенной деформируемой детали очень тонким слоем изоляционного клея так, чтобы направление ожидаемой деформации детали совпало с направлением длинных сторон петель проволоки. При деформации тела приклеенный тензорезистор воспринимает эту же деформацию, что изменяет его электрическое сопротивление вследствие изменения размеров проволоки датчика, а также структуры ее материала, которая сказывается на удельном сопротивлении проволоки.

Поскольку относительное изменение сопротивления тензорезистора прямо пропорционально линейной деформации исследуемого тела, а следовательно, и механическим напряжениям внутренних сил упругости, то, пользуясь показаниями гальванометра измерительной диагонали предварительно уравновешенного моста резисторов, одним из плеч которого является тензорезистор, можно судить о значениях измеряемых механических величин (рис. 1, б).

Для измерения температуры различных сред применяют термочувствительные и термоэлектрические преобразователи. К термочувствитель-

ным преобразователям относятся металлические и полупроводниковые терморезисторы, сопротивление которых в значительной степени зависит от температуры (рис. 2, а).

Наибольшее распространение получили платиновые терморезисторы для измерения температуры в диапазоне от -260 до $+1100$ °С и медные терморезисторы - для интервала температур от -200 до $+200$ °С, а также полупроводниковые терморезисторы с отрицательным коэффициентом электрического сопротивления - термисторы, отличающиеся высокой чувствительностью и малыми размерами по сравнению с металлическими терморезисторами, для измерения температур от -60 до $+120$ °С.

Для защиты термочувствительных преобразователей от повреждений их помещают в тонкостенную стальную трубу с запаянным дном и устройством для присоединения выводов к проводам неуравновешенного моста резисторов (рис. 2, б), что позволяет по току измерительной диагонали судить об измеряемой температуре. Шкалу магнитоэлектрического логометра, используемого в качестве измерителя, градуируют в градусах Цельсия (°С).

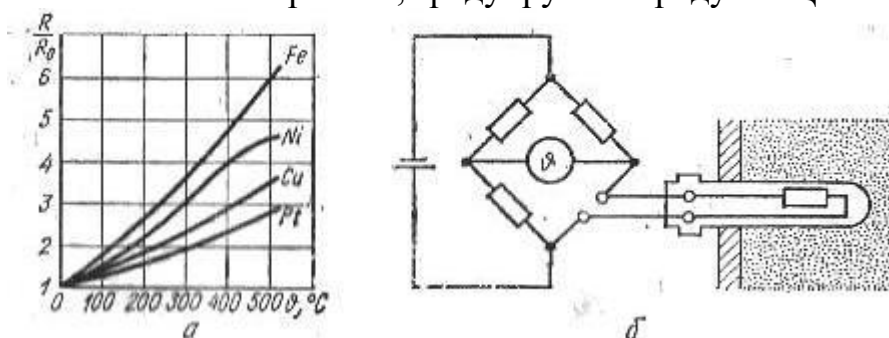


Рис. 2.

Терморезисторы: а - графики зависимости изменения относительного сопротивления металлов от температуры, б - схема включения терморезисторов в плечо неуравновешенного моста резисторов.

Свободные концы термопары соединяют однородными проводниками с магнитоэлектрическим милливольтметром, шкала которого проградуирована в градусах Цельсия. Наибольшее распространение получили следующие термопары: платиновой - платиновая для измерения температур до 1300 °С и кратковременно до 1600 °С, хромель-алюмелевая для температур соответственно указанным режимам - 1000 °С и 1300 °С и хромель-копелевая, предназначенная для длительного измерения температур до 600 °С и кратковременного - до 800 °С.

Реостатный преобразователь представляет собой реостат (рис. 3, а), движок которого перемещается под действием измеряемой неэлектрической величины x , так что сопротивление реостата r зависит от x : $r = f(x)$. Измерив r , находят x . Пример применения реостатного преобразователя для измерения уровня (объема) жидкости показан на рис. 3,б Изменение положения поплавка, зависящего от уровня жидкости, изменяет сопротивления r_1 и r_2 соединенные последовательно с катушками логометра; изменение

отношения токов в катушках вызывает изменение показаний измерителя.

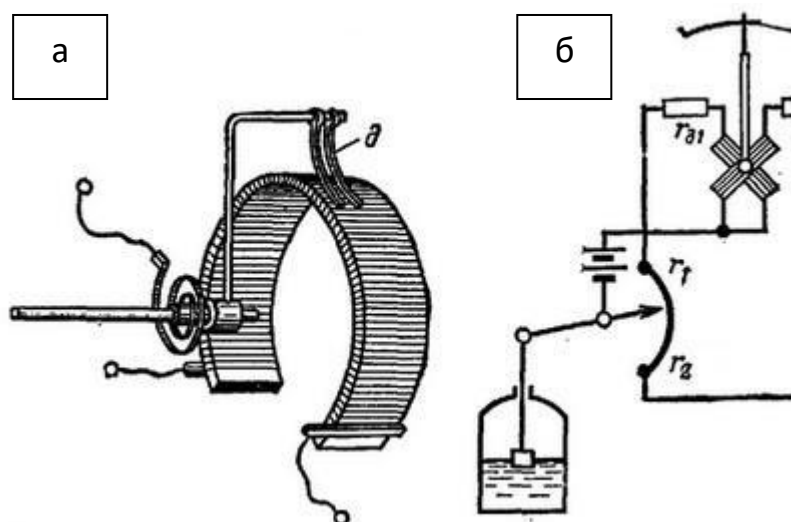


Рис. 3 Реостатный датчик

Термоэлектрические датчики. К числу термоэлектрических датчиков генераторного типа можно отнести термопары, в которых изменение температуры преобразуется в термоэлектродвижущую силу (термо-ЭДС) E . В основу работы термопары положено явление термоэлектрического эффекта, открытого в 1756 году русским академиком Ф. У. Эпинусом. это явление заключается в том, что если соединить концы двух разнородных по материалу проводников 1 и 2 (рис. 4) и места соединений поместить в среды с различными температурами t_1 и t_2 , то в цепи термопары появляется термо-ЭДС, которая будет тем больше, чем больше разность температур концов термопары $t_1 - t_2$.

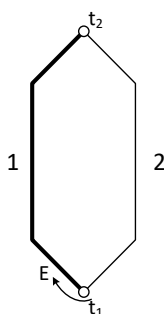


Рис. 4.

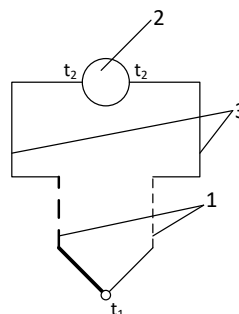


Рис.5

Конец термопары, имеющий температуру t_1 , называется рабочим концом (горячим спаем), а конец, термопары, находящийся при постоянной температуре t_2 , называется свободным концом (холодным спаем).

Проводники 1 и 2, с помощью которых образуется термопара, называются

термоэлектродами. Термоэлектроды обычно изготавливают из чистых металлов (платина, золото, никель, медь, железо, вольфрам, молибден), сплавов (константан, нихром, платинородий, чугун, алюмель, копель, хромель) и полупроводниковых материалов (уголь, карборунд). Термоэлектроды бывают термоположительными и термоотрицательными. Термоположительный электрод – это такой термоэлектрод, на котором при соединении его с химически чистой платиной при $t_1 > t_2$ образуется положительный потенциал по отношению к платине. Термоотрицательный электрод – это термоэлектрод, на котором при тех же условиях образуется отрицательный потенциал по отношению к платине.

Любая термопара обладает следующими основными свойствами:

1. если не изменять температуру рабочего t_1 и свободного t_2 концов, то абсолютное значение термо-ЭДС остаётся постоянным при нагревании любой точки проводника термопары.

2. значение термо-ЭДС не изменится, если в разрыв термопары включить третий проводник, оба конца которого имеют одинаковую температуру.

Термопара 1 может включаться как непосредственно в цепь измерительного прибора 2 (рис. 5), так и по компенсационной схеме.

В технике часто измерительный прибор 2 расположен на значительном расстоянии от термопары 1 (рис. 5). В этих случаях соединение измерительного прибора с термопарой осуществляется с помощью компенсационных проводов 3 (рис. 5). Если термопара изготовлена из дешёвого материала (никель, медь, копель, алюмель и др.), то и компенсационные провода изготавливаются из того же материала. Если термопара изготовлена из дорогих материалов (платина, золото, платинородий, вольфрам, молибден), то компенсационные провода изготавливаются из дешёвых материалов, но имеющих ту же термо-ЭДС, что и основные материалы. Основными достоинствами металлических термопар являются: простота и дешевизна, большое разнообразие конструктивных форм исполнения.

К недостаткам металлических термопар можно отнести:

- наличие паразитарных термо-ЭДС (за счёт примесей в металлах);
- тепловую инертность (постоянная времени термопар колеблется от нескольких минут до десятых долей секунды).

Основными недостатками полупроводниковых термопар являются: сравнительно небольшой диапазон измерения температур (от $+200$ до $+400^\circ\text{C}$); малая прочность.

В автоматике для измерения температур обычно используют не одиночные термопары, а несколько термопар (рис. 6), соединённых последовательно. Такое соединение термопар позволяет повысить значение термо-ЭДС и выходную мощность термоэлектрического датчика.

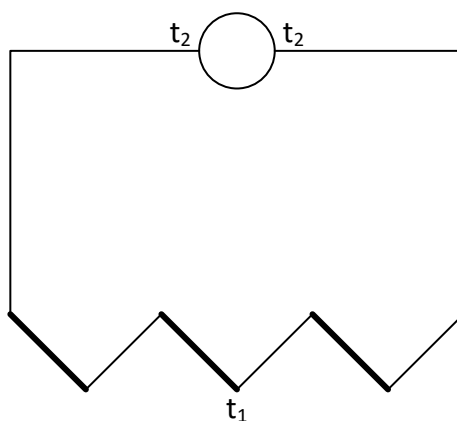


Рис. 6

Цель работы: Изучить электрические методы неэлектрических величин.

Порядок выполнения работы

1. Пояснить понятие «измерительный преобразователь (датчик)».
2. В чём заключается отличие параметрических датчиков от генераторных?
3. Виды датчиков и область применения каждого из них.
4. Начертить каждый вид датчиков и кратко описать принцип действия.
5. Перечислить достоинства и недостатки каждого вида датчиков.

Изучение измерительных трансформаторов

Краткие теоретические сведения

В современной технике переменных токов используют высокие напряжения до 500 кВ и выше и токи до тысяч ампер.

Наибольший переменный ток, который можно измерить, включив прибор непосредственно в цепь 200 А. Наибольшее напряжение, которое можно измерить, включив прибор непосредственно в цепь 600 В.

Измерения в цепях высокого напряжения сопряжены с трудностями обеспечения безопасности обслуживающего персонала и приборы должны быть с повышенным сопротивлением изоляции. Для расширения пределов измерения приборов в цепях переменного тока и для отделения цепей этих приборов от проводов высокого напряжения применяют измерительные трансформаторы. Различают измерительные трансформаторы напряжения и тока.

Измерительные трансформаторы потребляют меньшую, чем шунты и добавочные резисторы, мощность и обеспечивают большую точность изме-

рения больших токов и высоких напряжений.

Измерительные трансформаторы напряжения предназначены для расширения пределов измерения ваттметров, счётчиков, частотомеров, вольтметров, фазометров.

Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала на случай пробоя изоляции между обмотками один из зажимов вторичной обмотки трансформатора, его корпус (если он металлический) и сердечник заземляются.

Классы точности измерительных трансформаторов напряжения: 0,2; 0,5; 1,0; 3,0. Классы точности лабораторных измерительных трансформаторов: 0,05; 0,1; 0,2.

Лабораторные измерительные трансформаторы напряжения изготавливают на несколько пределов измерения.

На щитках измерительных трансформаторов напряжения указывается номинальный коэффициент трансформации в виде отношения номинальных напряжений; номинальная частота или номинальная область частот; номинальная мощность в ВА; класс точности; тип; номер и год выпуска трансформатора.

Измерительные трансформаторы тока предназначены для расширения пределов измерения по току ваттметров, счётчиков, амперметров и включения приборов защиты. Кроме того, в высоковольтных цепях их используют для защиты измерительных приборов и обслуживающего персонала от высоких напряжений.

Классы точности измерительных трансформаторов тока: 0,2; 0,5; 1,0; 3,0. Классы точности лабораторных измерительных трансформаторов: 0,05; 0,1; 0,2.

На щитках измерительных трансформаторов тока указывается номинальный коэффициент трансформации в виде отношения номинальных токов; номинальная частота или номинальная область частот, на которой работает данный трансформатор; номинальная нагрузка в омах; класс точности; тип; номер и год выпуска трансформатора.

Цель работы: Изучить назначение, маркировку, схемы и принцип действия измерительных трансформаторов, их достоинства и недостатки.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить классификацию измерительных трансформаторов.
2. Указать, для чего служат измерительные трансформаторы

3. Измерительный трансформатор напряжения

3.1 Начертить эту схему 1.

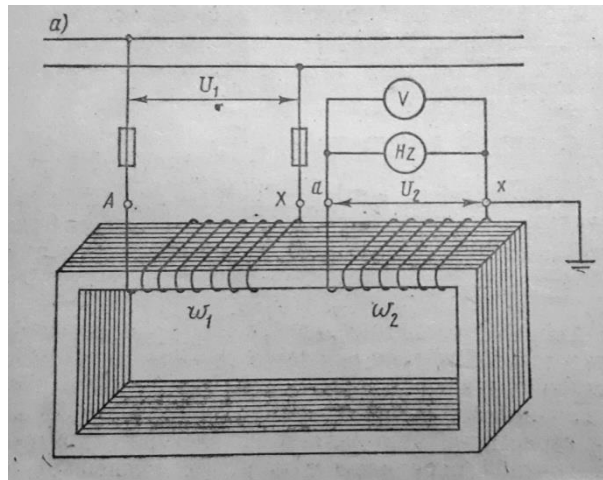


Схема 1

3.2 Изучить схему и принцип действия.

3.3 Указать коэффициент трансформации.

3.4. Указать классы точности измерительных трансформаторов напряжения.

3.5 Указать, какие измерительные приборы подключаются через измерительные трансформаторы напряжения?

3.6. Пояснить, что указывают на щитках измерительных трансформаторов напряжения.

4. Измерительный трансформатор тока

4.1 Начертить эту схему 2.

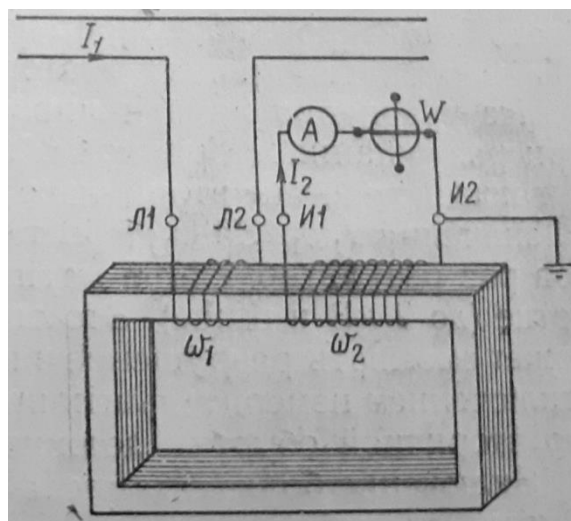


Схема 2

4.2 Изучить схему и принцип действия.

4.3 Указать коэффициент трансформации.

4.4. Указать классы точности измерительных трансформаторов тока.

4.5 Указать, какие измерительные приборы подключаются через измерительные трансформаторы тока?

4.6. Пояснить, что указывают на щитках измерительных трансформаторов тока.

Ответить на вопросы:

1. Какое наибольшее напряжение можно измерить, включив прибор непосредственно в цепь?

2. Назначение измерительных трансформаторов.

3. Зачем первичные обмотки измерительных трансформаторов напряжения включают через предохранители?

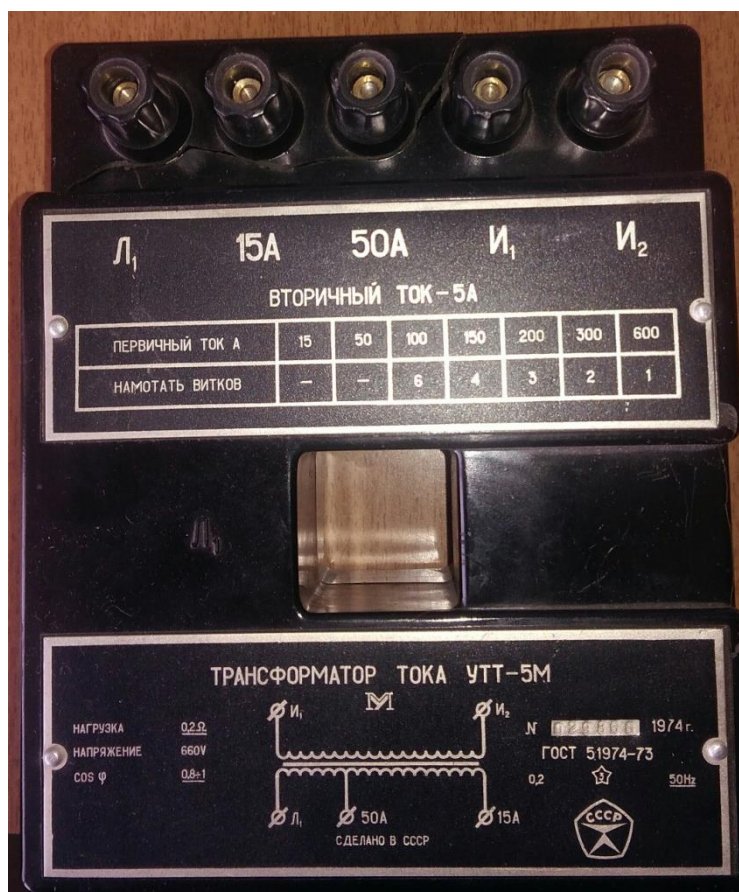
4. Для чего один из зажимов вторичной обмотки трансформатора заземляют?

5. Для чего обмотки измерительных трансформаторов напряжения выполняют из проводов большого сечения?

6. В каком режиме работают измерительные трансформаторы тока?

7. Какими преимуществами обладают измерительные трансформаторы перед шунтами и добавочными сопротивлениями?

Литература: учебник: А. С. Шумский, В. М. Мельничук, С. А. Кучер. Измерения в электротехнических устройствах железнодорожного транспорта, § 11.1 – 11.3 .





Измерительные трансформаторы тока



Измерительные трансформаторы напряжения

Измерение сопротивления

Краткие теоретические сведения

В зависимости от значения электрические сопротивления подразделяют на три группы: малые 1 Ом и меньше; средние от 1 до 100 000 Ом; большие от 100 000 Ом и больше.

Применительно к назначению измеряемого сопротивления и необходимой точности результата выбирают соответствующие методы измерения. Наибольшее распространение получили: косвенный метод – амперметра и вольтметра; нулевой метод с использованием измерительных мостов и методов непосредственной оценки с помощью показывающих приборов.

Измерение сопротивлений косвенным методом (амперметра-вольтметра)

Измеряемое сопротивление R_X включают в цепь последовательно с амперметром A (рис. 1). Переменный резистор R служит для регулировки тока в цепи и на результат измерений не влияет. Сопротивление R_X вычисляют приближенно по формуле $R_X = U_V / I_A$. Полученный результат будет отличаться от действительного значения измеряемого сопротивления за счет влияния сопротивления амперметра и тока, протекающего через вольтметр.

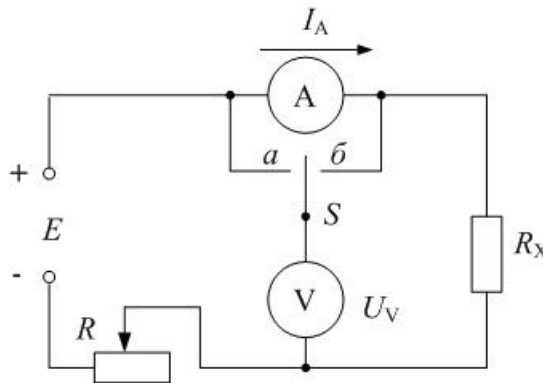


Рис. 1

При подключении вольтметра к точке a схемы он покажет сумму падений напряжений на амперметре и на измеряемом сопротивлении R_X . При этом сопротивление вычисляется по формуле:

$$R_X = \frac{U_V - I_A R_A}{I_A} = \frac{U_V}{I_A} - R_A$$

Такую схему включения применяют в том случае, если сопротивление амперметра R_A менее 1% значения сопротивления R_X , которое вычисляют по показаниям приборов, пренебрегая сопротивлением R_A .

Если вольтметр подключен к точке b схемы, амперметр будет измерять токи, протекающие по неизвестному сопротивлению R_X и через вольтметр. При этом сопротивление R_X вычисляют по формуле:

$$R_X = \frac{U_B}{I_A - I_B} = \frac{U_B}{I_A - U_B/R_B}$$

Такое включение приборов применяют в том случае, когда внутреннее сопротивление вольтметра R_V значительно превышает значение измеряемого сопротивления R_X . При $R_V > R_X$ в 100 раз пренебрегают током I_V , протекающим через вольтметр, и R_X вычисляют по приближенной формуле, приведенной ранее.

Цель работы: Опытным путём научиться измерять сопротивление косвенным методом и методом непосредственной оценки.

Оборудование:

1. Источник питания постоянного тока
2. Миллиамперметр
3. Вольтметр
4. Регулятор напряжения
5. Реостат ползунковый – нагрузка
6. Омметр.

Порядок выполнения работы:



1. Заполнить таблицу 1.

таблица 1

Измерительный прибор	Система прибора	Класс точности	Номинальное значение	Цена деления
Вольтметр				
Миллиамперметр				

1. Начертить схему 1.

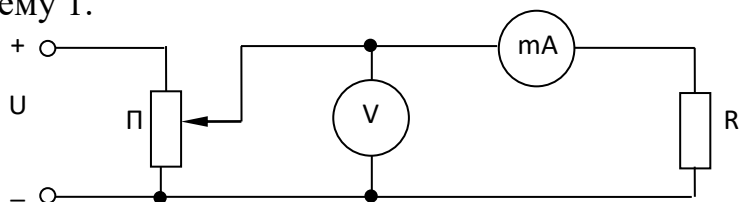


Рис. 2 (схема 1)

2. Заполнить таблицу 2. Дано количество делений вольтметра и миллиамперметра. Вычислить значение напряжения и тока:

$$U = \alpha C_V, \quad I = \alpha C_A,$$

где C_V – цена деления вольтметра,

C_A – цена деления миллиамперметра

таблица 2

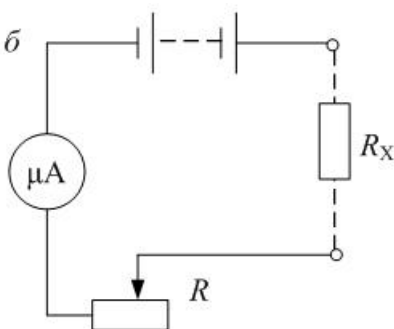
Количество делений, α		Вычислено			Измерено омметром	Эталонное значение
вольтметр	миллиамперметр	,	, мА	$R_{\text{выч}}$, Ом	R , Ом	R_0 , Ом
12	23				505	500

3. Зарисовать шкалу и схему подключения омметра (а, б, в).

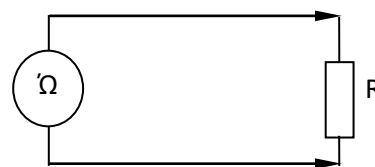
а



б



в



4. Определить абсолютную и относительную погрешности измерений при измерении одним прибором (омметром)

$$\Delta R_1 = R_{\text{выч}} - R_0; \quad \gamma_1 = \Delta R_1 * 100\% / R_0$$

5. Определить абсолютную и относительную погрешности измерений при измерении двумя приборами (вольтметром и миллиамперметром)

$$\Delta R_2 = R_{\text{изм}} - R_0; \quad \gamma_2 = \Delta R_2 * 100\% / R_0$$

6. Сравнить погрешности измерений, полученные методами косвенного измерения и непосредственной оценки.

7. Сделать выводы по работе:

7.1 какой из методов является косвенным, а какой непосредственной оценки?

7.2 в каком случае измерение более точное: при использовании одного или двух измерительных приборов?

Измерение мощности

Краткие теоретические сведения

Измерение мощности в цепях постоянного и переменного токов.

В цепи постоянного тока электрическая мощность равна произведению тока на напряжение $P = UI$. Её можно измерить косвенным методом с помощью амперметра и вольтметра. Однако при этом способе измерения необходимо каждый раз производить вычисления, относительная погрешность получается большой (она равна сумме относительных погрешностей измерений тока и напряжения) и невозможно производить отсчет по приборам при изменении напряжения сети.

Для измерения мощности в цепи постоянного тока применяется ваттметр электродинамической системы (рис. 1). Неподвижная катушка ваттметра включается последовательно в цепь нагрузки и называется последовательной катушкой. Подвижная катушка с добавочным резистором включается параллельно нагрузке и называется параллельной цепью ваттметра. Так как ток в последовательной катушке ваттметра равен току нагрузки I , а ток в параллельной катушке пропорционален напряжению цепи

$(I_U = \frac{U}{R_U + R_d} = K_U U, \text{ так как } R_U + R_d = \text{const}), \text{ то угол поворота } \alpha \text{ подвижной системы электродинамического прибора будет}$

$$\alpha = K_2 I_U I = K_2 I K_U U = K_1 I U = K P, U$$

т. е. прибор будет измерять мощность, а его шкала будет равномерной.

Из последнего уравнения видно, что при изменении направления тока в одной из катушек ваттметра угол α будет отрицательным и отсчет по шкале станет невозможным. У ваттметра два зажима обозначаются знаком «*» (звездочка) и называются генераторными. Для отклонения стрелки в нужном направлении необходимо электрическую энергию подводить к генераторным зажимам (рис. 2 и 3). На схемах эти зажимы обозначаются знаком «.» (точка).

В соответствии с этим на лицевую панель ваттметра выведены четыре зажима, два из которых обозначим I (токовые зажимы), а два других – U (зажимы напряжения). Два зажима I и U помечены звёздочками (точками) и называются генераторными (рис. 3).

Для измерения мощности в цепях постоянного и однофазного переменного токов используются ваттметры электродинамической системы (рис. 3).

Генераторные зажимы (помечены точками) следует объединить и подключить к одному и тому же проводу (для отклонения стрелки в правильном направлении). Вместе с тем генераторные зажимы являются началами обмоток. При правильном включении ваттметра стрелка будет отклоняться вправо. Чтобы изменить направление отклонения стрелки, необходимо изменить направление тока в любой из обмоток ваттметра.



Рис. 1

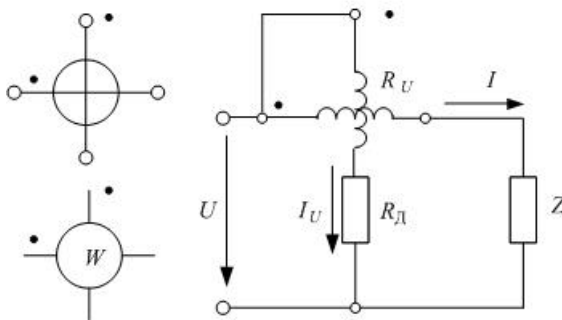


Рис. 2

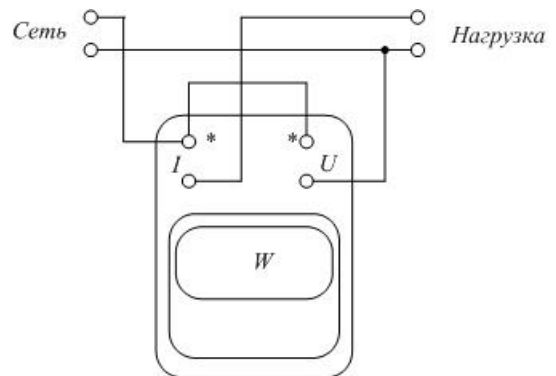


Рис. 3

Цель работы: изучить методы измерения мощности

Оборудование:

1. Источник питания постоянного тока
2. Миллиамперметр
3. Вольтметр
4. Регулятор напряжения
5. Реостат ползунковый – нагрузка
6. Ваттметр.

Порядок выполнения работы:

1. Начертить схему (рис. 4).

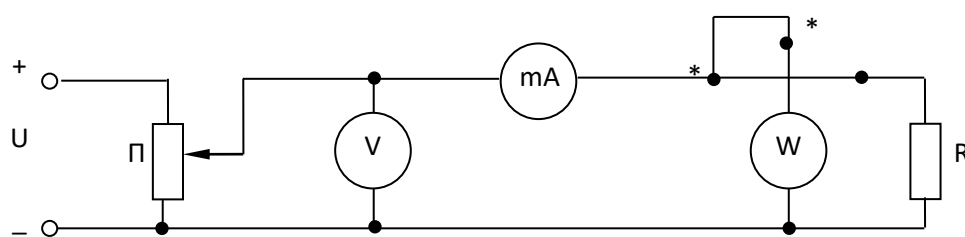


Рис .4

2. Пояснить, как включены вольтметр и миллиамперметр с нагрузкой.
3. Начертить включения ваттметра (рис. 2).
4. Пояснить, как называются зажимы, обозначенные на ваттметре *?
Для чего соединяют зажимы, обозначенные на ваттметре *?
5. Пояснить, какая из обмоток ваттметра является подвижной, а какая неподвижной?
6. Написать, в каком случае измерение более точное: при использовании одного или двух измерительных приборов? Пояснить, почему.
7. Какой системы данный ваттметр? Достоинства и недостатки данной системы. Какое рабочее положение данного прибора? В цепях какого тока можно измерять мощность данным ваттметром?
8. Определить цену деления ваттметра, если переключатель напряжения в положении 300 В, а ток 5 А.

Изучение цифровых измерительных приборов

Краткие теоретические сведения

Измерительные приборы обычно производят измерение исходя из мгновенного значения электрической величины. Они делятся на аналоговые и цифровые. Аналоговые показывают значение с помощью стрелки на шкале делений, цифровые же - на жидкокристаллическом дисплее в виде числа.

Цифровой измерительный прибор (ЦИП) – средство измерений, которое автоматически вырабатывает сигналы измерительной информации в цифровой форме. Они в процессе измерения осуществляют автоматическое

преобразование непрерывной измеряемой величины в дискретную с последующей индикацией результата измерений на цифровом отсчетном устройстве или регистрацией его при помощи цифропечатающего устройства.

Цифровой измерительный прибор имеет ряд преимуществ перед аналоговыми приборами:

- удобство отсчитывания значений измеряемой величины,
- возможность полной автоматизации процесса измерений,
- регистрация результатов измерений с помощью цифропечатающих устройств и перфораторов,
- более точны,
- более удобны,
- более универсальны.

Поскольку результат измерений в ЦИП выражен в цифровом коде, измеренную информацию можно вводить в цифровую ЭВМ.

Аналоговые же дешевле. Хотя с развитием электроники это достоинство сходит на нет. Почти всем известен мультиметр - цифровой универсальный измерительный прибор, имеющий среднюю и высокую точность, который служит в своем классическом варианте для измерения сопротивления, напряжения и силы тока как постоянного, так и переменного.

Более функциональные модели могут помимо этого измерять: индуктивность, емкость, температуру, частоту, а также тестировать полупроводниковые элементы, такие как диоды и транзисторы.

Практически все цифровые приборы в своем составе имеют преобразователи входного сигнала в напряжение, которое дискретизируется аналогово-цифровым преобразователем, а затем обрабатывается встроенным микроконтроллером, выводя на дисплей конечный результат. Полезным свойством измерительных устройств является возможность подключения к персональному компьютеру, с возможностью управления от него.

Процесс преобразования аналоговой формы сигнала в цифровую называется аналого-цифровым преобразованием, а преобразователь, осуществляющий это преобразование, – *аналого-цифровым преобразователем (АЦП)*.

В последние годы цифровые приборы получили большое распространение, особенно в качестве лабораторных вольтметров, амперметров, омметров, частотомеров и фазометров. По сравнению с аналоговыми приборами цифровые имеют такие преимущества, как высокая точность, широкий рабочий диапазон, высокое быстродействие, получение результатов измерения в удобной для считывания оператором форме, возможность цифрового преобразования и ввода измерительной информации в ЭВМ, автоматического введения поправок для уменьшения систематических погрешностей, автоматической калибровки, автоматизации процесса измерения.

Недостатками цифровых приборов являются меньший диапазон рабо-

чих температур и необходимость в источнике питания измерительных и регистрирующих устройств.

Обобщенная функциональная схема ЦИП показана на рис. 1. Измеряемая величина, подается на входное устройство ВУ, предназначенное для масштабного преобразования входной величины и отделения ее от помех, если они имеются. Аналого-цифровой преобразователь преобразует входную величину в код N , который подается на цифровое отсчетное устройство ЦОУ, где индицируется в виде ряда цифр; код N может выводиться и во внешние устройства, например в ЭВМ для дальнейшей обработки или хранения. Управляет работой ЦИП устройство управления УУ путем выработки определенной последовательности командных сигналов во все функциональные узлы ЦИП.

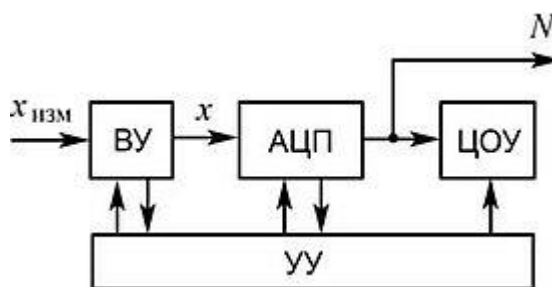


Рис. 1. Обобщенная структурная схема ЦИП

Аналого-цифровые преобразователи имеют важное самостоятельное значение. Они широко используются для связи первичных преобразователей электрических и неэлектрических величин с цифровыми вычислительными машинами, микропроцессорами и другими устройствами накопления и обработки результатов наблюдений. Интегральные микросхемы АЦП производятся миллионными тиражами, что позволило снизить их цену и сделать доступными для производства недорогой высококачественной измерительной аппаратуры.

По виду измеряемых величин ЦИП подразделяются на:

- вольтметры постоянного и переменного тока;
- омметры и мосты постоянного и переменного тока;
- комбинированные приборы;
- измерители частоты и интервалов времени;
- специализированные ЦИП, предназначенные для измерения температуры, массы грузов, скоростей, времени срабатывания различных элементов и т. п.

Диапазон измеряемых посредством ЦИП величин обычно широкий и разбивается на ряд поддиапазонов. Выбор нужного поддиапазона в процессе измерения производится вручную или автоматически. Измерение на выбранном поддиапазоне всегда происходит автоматически.



Основные технические характеристики ЦИП:

1. номинальная статическая характеристика преобразования;
2. диапазон измерений;
3. вид кода, применяемого в АЦП, количество разрядов, вес единицы младшего разряда кода;
4. разрешающая способность, характеризующаяся количеством уровней квантования;
5. входное сопротивление;

6. быстродействие;
7. помехоустойчивость - способность ЦИП выполнять свои функции в условиях воздействия помех, численно характеризуется коэффициентом подавления помех на входе ИП;
8. время измерения - интервал времени от момента начала цикла преобразования измеряемой физической величины до момента высвечивания показания на табло;
9. погрешности.
10. класс точности. Обычно в ЦИП для установления класса точности нормируется относительная погрешность, рассчитываемая по так называемой «двухчленной формуле».

В состав цифровых измерительных приборов обязательно входит *аналого-цифровой преобразователь*, преобразующий аналоговый сигнал, получен-

ный чувствительным элементом (датчиком), в цифровой код. Для цифровых измерительных приборов характерна значительно более высокая точность

Измерения по сравнению с аналоговыми измерительными приборами, удобство и объективность отсчёта. Точность отсчёта при этом зависит от числа разрядов на цифровом индикаторе. Выпускаются многочисленные цифровые измерительные приборы: часы, термометры, весы, тонометры (измерители артериального кровяного давления) и др.

Цель работы: изучить назначение, структурную схему, принцип действия, область применения, достоинства и недостатки цифровых измерительных приборов.

Порядок выполнения работы:

1. Дать определение цифрового измерительного прибора.
2. Начертить структурную схему цифрового измерительного прибора и пояснить.
3. Изучить назначение цифрового измерительного прибора.
4. Записать область применения цифровых измерительных приборов.
5. Перечислить основные технические характеристики ЦИП:
6. Перечислить достоинства и недостатки цифровых измерительных приборов.

Ответить на вопросы:

1. Какие измерительные приборы называются цифровыми?
2. Пояснить структурную схему цифрового измерительного прибора и пояснить назначение каждого элемента.

3. Перечислить область применения цифровых измерительных приборов.
4. Перечислить достоинства и недостатки цифровых измерительных приборов.
5. От чего зависит класс точности цифрового измерительного прибора?

Измерение индуктивности и ёмкости

Краткие теоретические сведения

Измерение косвенным (методом амперметра и вольтметра) методом индуктивность катушки производится с помощью амперметра и вольтметра. Активное сопротивление измеряемой катушки должно быть известно.

Измерив напряжение $U_{\sim}$ и ток $I_{\sim}$, вычисляют полное сопротивление катушки $Z = U_{\sim} / I_{\sim}$. Известно, что $Z = \sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}$.

Отсюда определяют величину измеряемой индуктивности

$$L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{2\pi f}.$$

Точность измерения данным методом недостаточно высока.

Ёмкость конденсатора, как и индуктивность катушки можно измерить косвенным методом (методом амперметра и вольтметра). К измерительной цепи подводят напряжение U с известной частотой f . Напряжение должно быть синусоидальной формы. Несинусоидальность кривой может привести к значительной погрешности измерения. По закону Ома можно определить сопротивление конденсатора $X_C = U / I$. Ёмкость конденсатора $C = 1 / 2\pi fU$.

Цель работы: Определить индуктивность катушки и ёмкость конденсатора методом амперметра и вольтметра.

Порядок выполнения работы:

1. Заполнить таблицу 1.

Таблица 1

Измерительный прибор	Система прибора	Класс точности	Номинальное значение	Цена деления
Вольтметр				
Миллиамперметр				



1. Определение индуктивности катушки

2. Начертить схему 1.

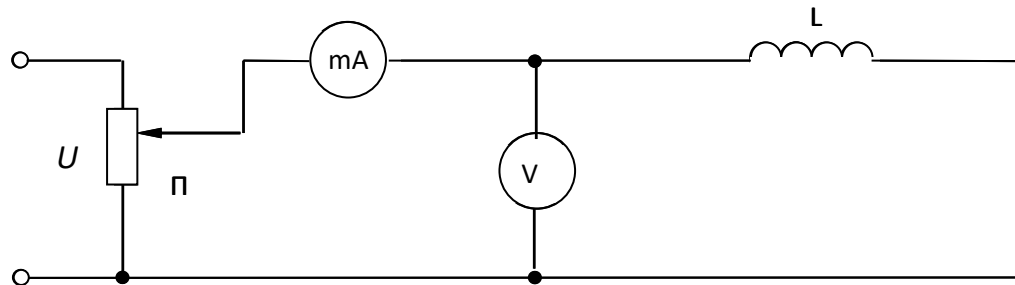


Схема 1

3. Определить полное сопротивление катушки $Z = U / I$.

4. Определить индуктивное сопротивление катушки $X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}$.
Результаты вычисления занести в таблицу 2.

Вычислить индуктивность катушки $L = X_L / 2 \pi f$. Результаты вычисления занести в таблицу 2.

Таблица 2

Измерено			Вычислено		Примечание
Катушка	U , В	I , мА	X_L , Ом	L , мГн	
С сердечником	6,5	64			$f = 50$ Гц
Без сердечника	6,5	92			

Внимание! Активное сопротивление катушки индуктивности указывает преподаватель.

5. Сделать выводы:

- 5.1 индуктивность какой катушки больше (с сердечником или без него),
- 5.2 как влияет величина индуктивности катушки на силу тока в цепи,
- 5.3 как изменяется сопротивление катушки X_L при уменьшении её индуктивности L .

2. Определение ёмкости конденсатора

6. Начертить схему 2.

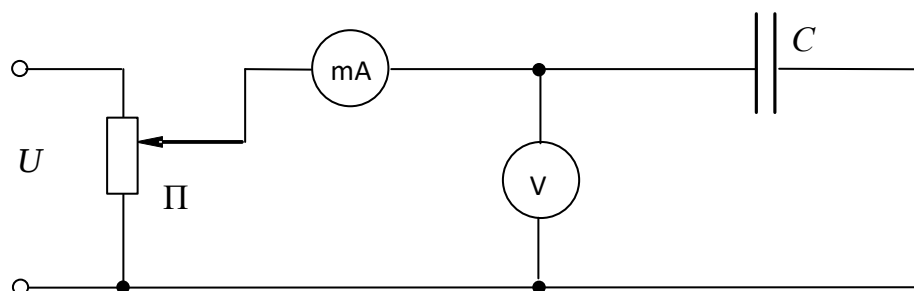


Схема 2

Таблица 3

	Измерено		Вычислено			Примечание
	U , В	I , мА	Z , Ом	X_C , Ом	C , мкФ	
1	6,5	25				$f = 50$ Гц
2	6,5	9				
3	6,5	2,5				
4	6,5	0,8				

7. Определить полное сопротивление цепи $Z = U/I$. Результаты вычисления занести в таблицу 3.

8. Определить ёмкостное сопротивление $X_C = \sqrt{Z^2 - R^2}$, (сопротивление резистора $R = 100$ Ом) Результаты вычисления занести в таблицу 3.

9. Определить величину ёмкости каждого конденсатора $C = 1/2\pi f X_C$. Результаты вычисления занести в таблицу 3.

10. Построить графики зависимости сопротивления конденсатора и тока от ёмкости конденсаторов.

11. Сделать выводы:

11.1 как изменяется сопротивление конденсатор X_C при уменьшении его ёмкости C ,

11.2 как изменяется сила тока в цеп при уменьшении ёмкости конденсатора C .

Изучение комбинированного измерительного прибора Ц4353

Краткие теоретические сведения

Комбинированный прибор Ц4353 (см. рис. 1) предназначен для измерения тока и напряжения в цепях постоянного и переменного тока синусои-

дальной формы, сопротивления постоянному току, емкости, относительного уровня переменного напряжения.

Основные технические характеристики:

Класс точности при измерениях:

на постоянном токе: 1,5;

на переменном токе: 2,5.

Предел измерений:

силы постоянного тока: 0,06 ... 1500 мА;

напряжения постоянного тока: 0,075 ... 600 В;

силы переменного тока: 0,6 ... 1500 мА;

напряжения переменного тока: 1,5 ... 600 В;

сопротивления постоянному току: 0,3 ... 10000 кОм;

емкости: 0,5 мкФ.

Коэффициент искажения синусоидальной формы: 1,11.

Количество пределов измерения: 38.

Входное сопротивление вольтметра:

на постоянном токе: 20 кОм/В;

на переменном токе: 2 кОм/В.

Частотный диапазон: 45 ... 5000 Гц.

Наработка на отказ: 6250 ч.

Средний срок службы: 6 лет.

Рабочее положение: горизонтальное.

Температура окружающего воздуха: -10 ... +40 °С;

относительная влажность: 90 % при 30 °С.

Габаритные размеры прибора не превышают 215x115x90 мм. Масса прибора не превышает 1,5 кг. Питание прибора осуществляется от 3-х гальванических элементов АА (R6, LR6).

Измерение тока и напряжения.

1. Соединительные провода вставьте в гнезда «*» и «U, A, - Ω, - kΩ». Нажмите кнопку «—» при измерении на постоянном токе или «~» при измерении на переменном токе. Установите переключатель пределов измерения на значение 600 В при измерении напряжения или значение 1,5 А при измерении тока. Подключите прибор щупами к измеряемой цепи. При отклонении стрелки влево от нуля поменяйте местами соединительные провода. Добивайтесь отклонения стрелки на середину шкалы поворотом переключателя пределов измерения на меньшее значение тока и напряжения.

2. Отсчет постоянного тока и напряжения производить по второй шкале сверху, переменного тока и напряжения по первой шкале сверху в соответствии с положением переключателя пределов измерения.

Достоинства стрелочного комбинированного измерительного прибора Ц4353:

1. автономное питание;

2. высокая чувствительность;
3. точность измерения;
4. возможность измерения силы тока и напряжения в цепях постоянного и переменного тока;
5. относительно небольшие габариты;
6. возможность не только измерять сопротивление, но и производить «прозвон» проводов;
7. простота в эксплуатации;
8. большой диапазон измеряемых величин.

Недостатки стрелочного комбинированного измерительного прибора Ц4353:

1. необходимо следить за уровнем напряжения источника питания;
2. относительная дороговизна;
3. необходимость включения данного измерительного в разрыв цепи при измерении силы тока

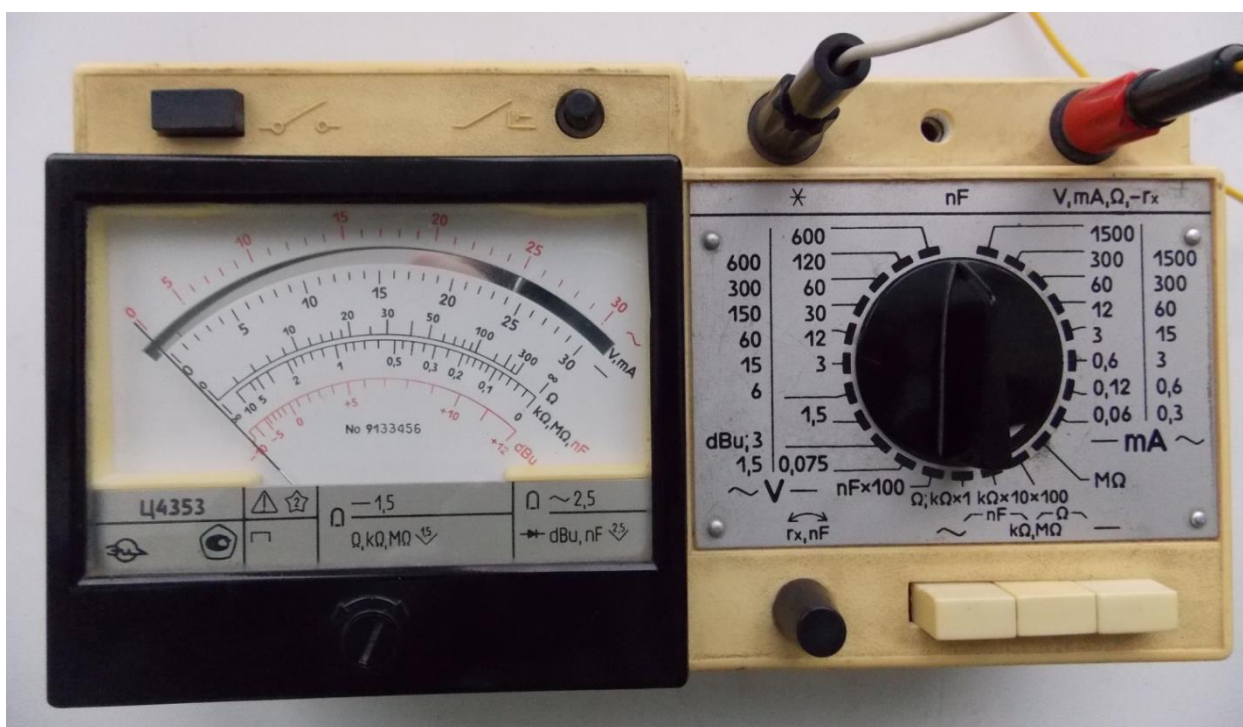
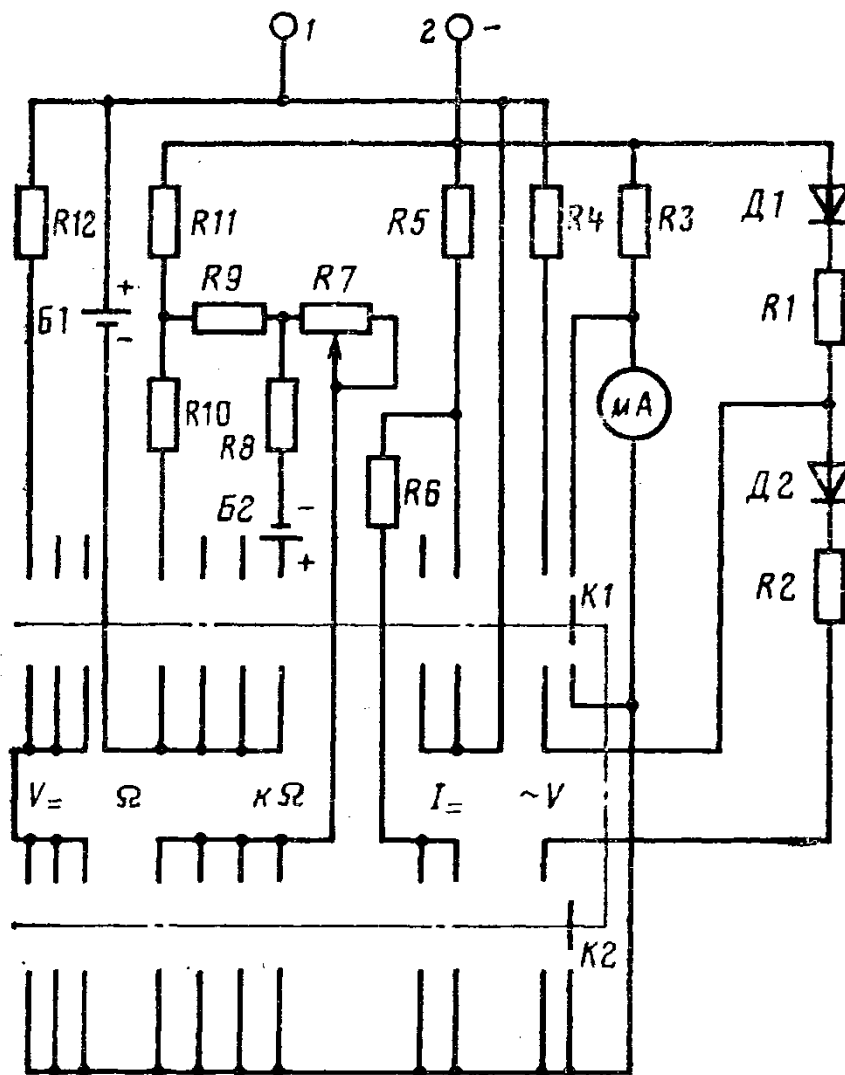


Рис. 1 Внешний вид комбинированного измерительного прибора Ц4353



Цель работы: изучить комбинированный измерительный прибор Ц4353.

Порядок выполнения работы

1. Указать назначение комбинированного прибора Ц4380.
2. Перечислить технические характеристики комбинированного прибора.
3. Указать рабочее положение данного прибора.
4. Указать класс точности комбинированного прибора Ц4353 при измерении в цепи постоянного и переменного тока.
5. Начертить схему комбинированного прибора.
6. Перечислить, какие параметры электрической цепи можно измерять комбинированным прибором Ц4353.
7. Указать диапазон измерения силы постоянного и переменного тока.
8. Указать диапазон измерения напряжения в цепи постоянного и переменного тока.
9. Указать систему данного комбинированного измерительного прибора.

Сделать выводы по работе:

1. перечислить преимущества данного измерительного прибора;
2. перечислить недостатки данного измерительного прибора.

Измерение электрической энергии

Краткие теоретические сведения

Энергия однофазного переменного тока измеряется электрическими счетчиками индукционной системы, которые сравнительно просты по устройству и надежны в эксплуатации (рис. 1).



Рис. 1

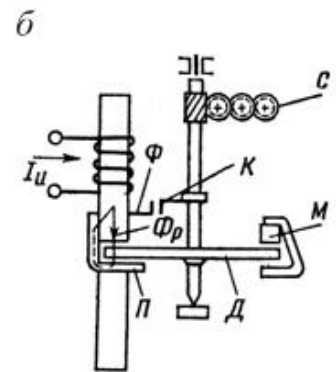
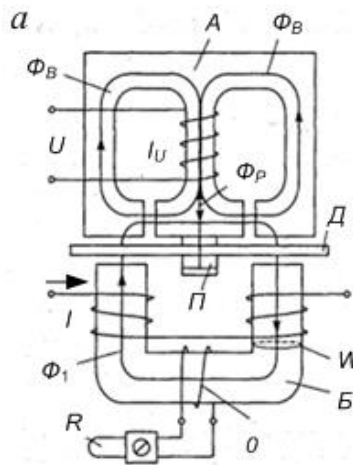


Рис.2

Устройство приборов этой системы основано на взаимодействии переменных магнитных потоков с токами, которые индуктированы этими же потоками в подвижной части прибора. На рис. 2. представлена конструкция индукционного счётчика.

А и Б – электромагниты; Д – алюминиевый диск; М – постоянный магнит; С – счётный механизм; П – стальная пластина; К – стальной крючок; Φ – стальная пластинка (тормозной флажок);

Счётчик состоит из 2-х электромагнитов 1 и 2, сердечника которые набраны из тонких листов электротехнической стали, алюминиевого диска, постоянного магнита и счетного механизма.

Подвижная часть счетчика состоит из алюминиевого диска, посаженного на ось. Электромагнит имеет обмотку, выполненную из медного провода сравнительно большого диаметра и включенную последовательно нагрузке цепи.

По этой обмотке, имеющей небольшое число витков, проходит ток, который при активно- индуктивно нагрузке цепи отстает от напряжения на угол

φ . Ток создает магнитный поток, который отстает от тока на небольшой угол α из-за наличия потерь в стали электромагнита 2.

Поток дважды пересекает диск, образуя в зазоре потоки $+\Phi_j$ и $-\Phi_j$. Эти потоки индуцируют в диске вихревые токи $+J_j$ и $-J_j$, которые согласно закону электромагнитной индукции отстают по фазе от потоков на угол 90° . Электромагнит 1 имеет обмотку, включенную параллельно нагрузке. Эта обмотка содержит 8-12 тыс. витков тонкого медного провода. При прохождении по обмотке электромагнита 1 ток I_U возбуждает в ней магнитный поток Φ_U , который в нижней части среднего сердечника разветвляется на поток, который в нижней части среднего сердечника разветвляется на поток Φ_P - рабочий и нерабочий или вспомогательный поток Φ_δ . Рабочий поток Φ_P , выходя из сердечника, пронизывает диск и замыкается через стальную пластину, называемую противоположностью. Поток Φ_δ , не пересекает диск, он замыкается через боковые участки в создании вращающего момента, а служит для получения необходимого сдвига фаз между потоком Φ_P и напряжением сети U . Так как обмотка сердечника 1 обладает значительной индуктивностью, ток в ней I_U , а следовательно, и поток Φ_P отстает от напряжения на угол, близкий 90° .

Поток Φ_U равен диагонали параллелограмма, сторонами которого являются потоки Φ_P и Φ_δ . Нерабочий поток Φ_δ вызывает в сердечнике 1 незначительные потери, поэтому он отстает от тока I_U на малый угол $1-2^\circ$. Рабочий поток Φ_P отстает от этого же тока на значительно больший угол $20-25^\circ$, так как, кроме потерь в стали, имеются еще активные потери в диске.

Таким образом, потоки $+\Phi_j$, Φ_P , $-\Phi_j$, пронизывая диск, индуцируют в нем вихревые токи $+I_I$, I_U , $-I_I$, которые отстают по фазе от магнитных потоков на 90° .

По правилу левой руки можно определить, что токи $+I_I$ и $-I_I$, взаимодействуя с потоком Φ_P , образуя вращающийся момент, направленный против часовой стрелки. Ток I_U , взаимодействуя с потоками $+\Phi_I$ и $-\Phi_I$ создает вращающийся момент, направленный по часовой стрелке. Значит, диск находится под действием разности этих вращающихся моментов. Результирующий момент будет равен алгебраической сумме вращающихся моментов. Таким образом, величина вращающего момента индукционного счетчика зависит от взаимодействия магнитных потоков Φ_I и Φ_P и от угла сдвига фаз между ними. Действительно, магнитные потоки и индуцируемые ими токи сдвинуты друг относительно друга на 90° . Если Φ_P и Φ_I совпадут по фазе и достигнут максимального значения, то вихревые токи будут равны 0, и, следовательно, диск вращаться не будет. Когда же угол сдвига фаз между оттоками будет равен 90° , токи в диске совпадут по фазе с потоками соседних электромагнитов и тогда взаимодействие, а следовательно, и вращающийся момент будут наибольшими.

$$M_{\text{вр}} = C' \Phi_P \Phi_I \sin \varphi$$

где C' - постоянная величина, зависящая от конструкции электромагнита

тов и диска.

Из- за наличия воздушных зазоров сердечники электромагнитов А и Б находятся в ненасыщенном состоянии. Поэтому рабочие потоки Φ_P и Φ_I будут пропорциональны токам в обмотках.

$$\Phi_I = C_I I; \Phi_P = C_U I_U = C_U \frac{U}{Z_U}$$

где Z_U - полное сопротивление параллельной обмотки. При неизменной частоте сети Z_U - величина постоянная, поэтому $\Phi_U = C_U U$.

Подставляем значения потоков в уравнение вращающего момента и, объединяя постоянные, получим

$$M_{ep} = CUI \sin \varphi$$

Чтобы счетчик регистрировал энергию электрического тока, его вращающий момент должен быть пропорционален активной мощности.

$$M_{ep} = CUI \cos \varphi = CP$$

Выполнение этого условия достигается конструкцией электромагнита А, которая позволяет получить угол $\beta > 90^\circ$. Для регулирования угла α на электромагнит В накладывают короткозамкнутые витки ω и обмотку 0, замкнутую на проволочный резистор R, выполненный в виде петли с перемещающимся контактом. Индуктируемые в обмотке и витках токи увеличивают потери на пути потока Φ_I и, следовательно, увеличивают угол α . В счетчиках роль противодействующего момента выполняет тормозной момент M_m , создаваемый постоянным магнитом. При вращении диска в поле постоянного магнита М в диске наводятся вихревые токи и возникают силы, препятствующие его вращению. Таки образом, на диск счетчика, кроме вращающего момента, действует тормозной момент M_m .

Так как величина вихревых токов пропорциональна скорости изменения магнитного потока, т. е. скорости вращения диска, тормозной момент пропорционален числу оборотов диска в единицу времени N/t :

$$M_m = K_m N/t$$

где N- число оборотов диска за время t;

K- коэффициент пропорциональности.

Под действием вращающего момента диск начинает вращаться с ускорением, что приводит к увеличению тормозного момента, который возрастает до тех пор, пока моменты не уравновесят друг друга. Вращение диска становится равномерным:

$$K_m N/t = CP; K_m N = CPt$$

Так как $Pt = W$ - энергия электрического тока, то

$$N = C/K_m W = KW$$

Из этого уравнения следует, что число оборотов диска счетчика пропорционально электрической энергии.

Коэффициент пропорциональности K называется передаточным числом счетчика, которое численно равно числу оборотов диска на единицу учтенной счетным механизмом энергии

$$K = N/W$$

Передаточное число обычно указывается на щитке счетчика.

Величина, обратная передаточному числу, называется номинальной постоянной счетчика C_n . Она показывает, сколько энергии, учтенной счетчиком, соответствует одному обороту диска

$$C_n = W/N$$

На рис. 3 представлено устройство счётного механизма. Число оборотов диска, т. е. израсходованная электрическая энергия, автоматически регистрируется счетным механизмом, который состоит из 5 роликов, на каждом из которых нанесены цифры от нуля до девяти. Вращение оси счетчика с помощью червячных передач и шестерен передается первому ролику 1, жестко связанному с осью 0. Остальные ролики надеты на ось свободно. Когда первый ролик сделает один полный оборот, следующий ролик с помощью трубки T и фасонной Шестерни $Ш$ повернется на одну десятую полного оборота и т. д. Таким образом, в отверстиях на щитке счетчика будут видны цифры, показывающие учтенную счетчиком энергию. Кроме передаточного числа, на щитке указываются номинальные напряжения и ток, также класс точности счетчика.

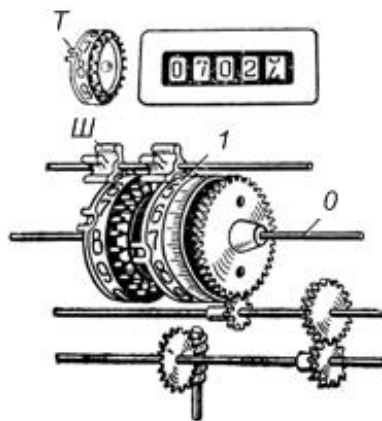


Рис. 3

Погрешность счетчика. Из-за наличия трения и отсутствия строгой линейной зависимости между токами и потоками в счетчике возникает погрешность. Поэтому действительная постоянная счетчика C_d отличается от номинальной.

$$C_d = Pt/N$$

где P - мощность сети, в которую включен счетчик;

N - число оборотов диска счетчика за время t .

Относительная погрешность счетчика

$$\gamma = \frac{W_d W_o}{W_o} * 100\% = NC_d - \frac{NC_d}{NC_d} * 100\% = C_d - \frac{C_d}{C_d} * 100\%$$

где W_n - энергия, учтенная счетчиком;

W_o - энергия, действительно израсходованная в цепи.

Если действительная постоянная счетчика C_d больше номинальной C_n , то счетчик дает заниженные показания - недоучитывает энергию, если дей-

ствительная постоянная меньше номинальной счетчик дает завышенные показания.

Счетчик активной энергии подразделяется на классы точности 1,0; 2,0 и 2,5. Для каждого класса устанавливаются допустимые относительные погрешности в зависимости от тока нагрузки и $\cos\varphi$. Это объясняется тем, что счетчики и при малых нагрузках должны обладать небольшой относительной погрешностью. Поэтому счетчики можно отнести к приборам высокой точности.

Компенсация трения. При малых нагрузках на работу счетчика существенное влияние оказывает трение в опорах, в счетном механизме, трение диска о воздух, что приводит к увеличению погрешности. Поэтому в счетчиках предусмотрено устройство, компенсирующее трение, - компенсатор трения.

Принцип компенсации момента трения состоит в том, что благодаря металлической пластине поток Φ_p разделяется на два не равных по величине потока Φ_p' и Φ_p'' , пересекающих диск D и индуцирующих в нем вихревые токи. Различные магнитные сопротивления на пути этих потоков приводят к тому, что они не совпадают по фазам и создают дополнительный вращающий момент, компенсирующий момент трения.

Самоход счетчика. При неправильном положении компенсатора трения или при повышении напряжения сети компенсационный момент может стать больше момента трения, и диск счетчика будет вращаться, когда потребитель не расходует энергию. Это явление называется самоход счетчика. Для устранения самохода на сердечнике параллельного электромагнита укреплена стальная пластина (тормозной флажок) Φ , а на оси счетчика - стальной крючок K . Стальная пластина Φ намагничивается потоком параллельного электромагнита. При вращении оси крючок приближается к тормозному флажку, намагничивается и притягивается к нему. Создается дополнительный тормозной момент при отсутствии нагрузки, подвижная часть счетчика останавливается.

Цель работы: Изучить назначение конструкцию и принцип действия однофазного индукционного счётчика.

Порядок выполнения работы:

1. Начертить устройство индукционного счётчика (рис. 2).
2. Указать детали счётчика и их назначение.
3. Изучить принцип действия однофазного индукционного счётчика,
4. Изучить компенсацию трения и самоход счётчика.
5. Изучить погрешность счётчика, класс точности.
6. **Сделать выводы по работе:**
 - 6.1 что можно измерять электрическими счётчиками индукционной системы?
 - 6.2 Что такое самоход счётчика? Каким образом с ним борются?

6.5 Класс точности индукционного счётчика.

Краткие теоретические сведения

Внутри баллона трубки укреплены электроды: нить накала, катод, модулятор, аноды 1 и 2, отклоняющие пластины. Комплекс электродов, исключая отклоняющие пластины, предназначен для создания электронного луча, называется электронным прожектором.

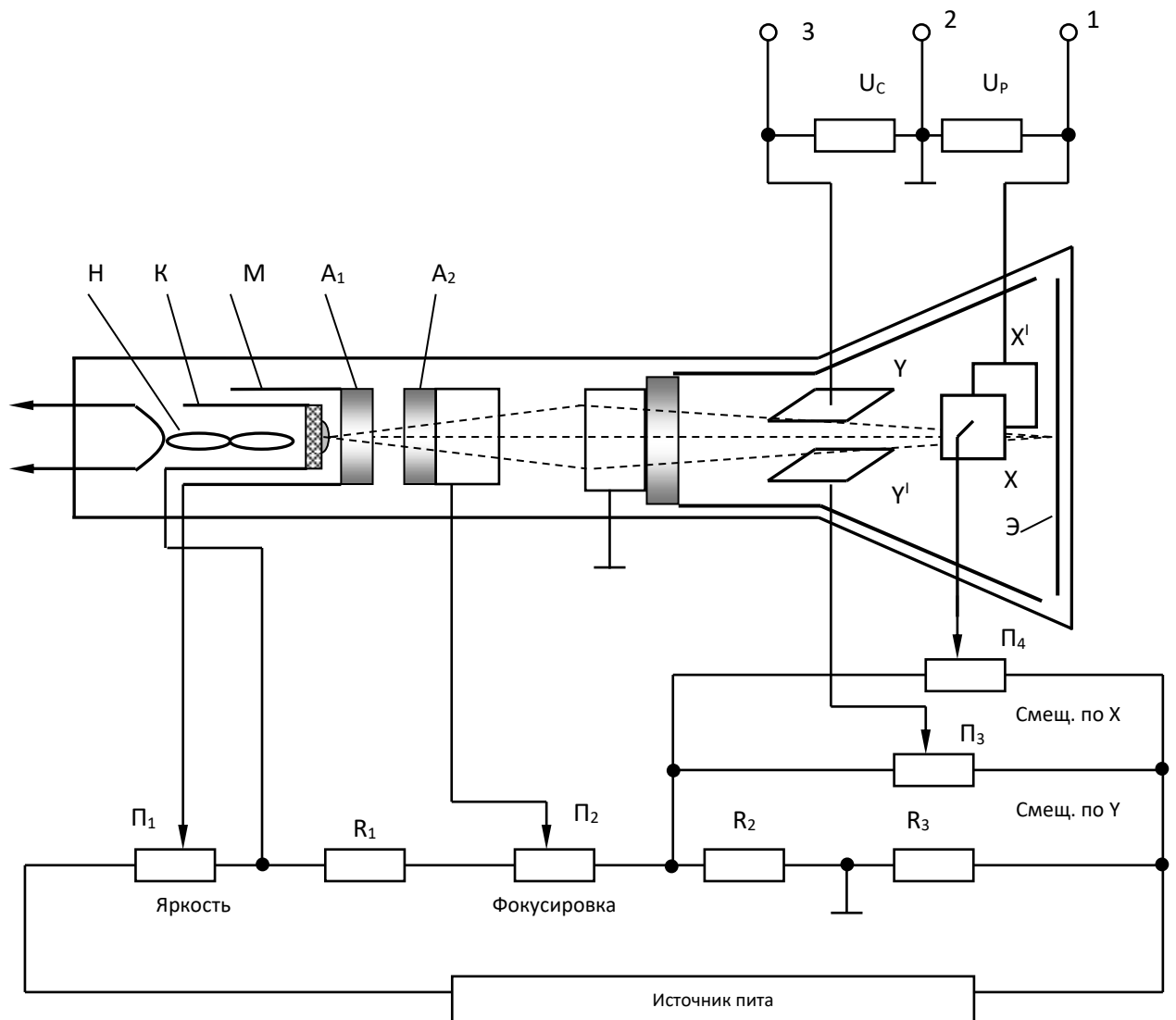


Рис. 1

Н – нить накала;

К – катод;

М – модулятор;

A_1 – анод 1;

A_2 – анод 2;

Э – экран;

ХХ' – отклоняющие пластины по горизонтали;

УУ' – отклоняющие пластины по вертикали;

П1 – потенциометр (для регулировки яркости электронного луча);

П2 – потенциометр (для регулировки фокусировки электронного луча);

П3 – потенциометр (для смещения электронного луча по оси Y);

П4 – потенциометр (для смещения электронного луча по оси X).

Нить накала Н питается переменным током низкого напряжения и разогревает катод, который выполнен в виде цилиндра и окружает нить накала. Торцевая часть катода К покрыта оксидным слоем, испускающим электроны. Вокруг катода расположен цилиндрический электрод с отверстием в торце. Он называется модулятором М. на него подают отрицательный потенциал относительно катода. Благодаря этому поток электронов, испускаемый катодом, группируется в виду луча, проходящего через отверстие в модуляторе.

Для того, чтобы электронный поток достигал экрана и концентрировался на нём в виде резкой точки, используется система анодов A_1 и A_2 . На первый анод A_1 подают положительное напряжение от 200 до 1000 В в зависимости от типа трубки, а на второй A_2 – от 1000 до 4000 В. Вследствие разности потенциалов анодов между ними образуется электрическое поле. Электронный луч, попадая в это поле, отклоняется им в направлении горизонтальной оси и получает ускорение в направлении к экрану Э.

На фокусировку луча влияет вторичные электроны, выбитые из экрана и заряжающие стенки трубки. Для устранения этого баллон трубки с внутренней стороны покрывают проводящим слоем из каллоидного раствора графита.

Изменяя потенциометром П₂ потенциал на аноде A_1 , меняют конфигурацию электрического поля анода, а значит, и фокусное расстояние рассмотренной системы. Это позволяет регулировать резкость пятна на экране. Изменением отрицательного напряжения на модуляторе М с помощью потенциометра П₁ можно регулировать яркость точки на экране трубки.

Достоинства:

1. можно наблюдать форму сигнала, как аналогового, так и импульсного;
2. можно измерять амплитуду сигнала;

3. можно измерять длительность, период и частоту сигнала;
4. высокая точность измерения.

Недостатки:

1. сложная конструкция;
2. сложная схема;
3. большие габариты;
4. высокая стоимость;
5. стационарный источник питания;
6. показания зависят от внешних источников энергии.

Вывод: электронный осциллограф – это универсальный измерительный прибор, позволяющий не только измерять параметры электрического сигнала, но и наблюдать его форму на экране.

Цель работы: ознакомиться с назначением, устройством и принципом действия электронного осциллографа.

Порядок работы:

1. Электронный осциллограф – определение.
2. Назначение электронных осциллографов.
3. Начертить схему (рис.1).
4. Пояснить элементы схемы.
5. Пояснить принцип действия электронного осциллографа.
6. Перечислить достоинства и недостатки электронного осциллографа.

При выполнении работы изучить главу 7 (Учебник Шуйский, Мельничук, Кучер).

Все права защищены. Учебное пособие или любая его часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от авторов. Копирование, воспроизведение и иное использование без согласия авторов является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.

Научно-методическое издание

САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

Филиал в г. Нижнем Новгороде

Г.Н. Акимова
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ
ПО ДИСЦИПЛИНАМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Учебное пособие

Издано в авторской редакции

Компьютерная верстка:

Печатная компания "Фирстиль"

603047, Нижний Новгород, ул. Маршала Воронова, 3/8

Тел.: 8(831) 260-01-60

zakaz2@fir-stil.ru

www.fir-stil.ru

Подписано в печать: 01.03.2021 г. Формат 84x108 1/32

Печать офсетная. Усл.печ.л. 2,79.

Тираж 1000 шт.

Отпечатано с готовых файлов



ISBN 978-5-6043908-2-9



9 785604 590829