

Филиал Государственного бюджетного профессионального образовательного учреждения Иркутской области «Иркутский колледж автомобильного транспорта и дорожного строительства» в поселке Улькан

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ
РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
ОП.02 ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ**

по программе подготовки квалифицированных рабочих и служащих
15.01.31 Мастер контрольно-измерительных приборов и автоматики

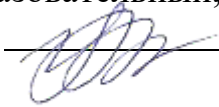
п. Улькан
2021 г.

Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине разработаны на основе ФГОС СПО по профессии 15.01.31 Мастер контрольно-измерительных приборов и автоматики и рабочей программы дисциплины ОУД.14 «Технические измерения»

Организация-разработчик: Филиал Государственного бюджетного профессионального образовательного учреждения Иркутской области «Иркутский колледж автомобильного транспорта и дорожного строительства» в поселке Улькан

Составитель:
Оборина Н.С., преподаватель ВКК

Рассмотрены и одобрены на заседании методической комиссии
«Общеобразовательный, профессиональный цикл»

Методист  Баженова И.В.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Краткий теоретический материал по выполнению практических работ являются частью учебно-методического комплекса по дисциплине «Технические измерения» по профессии среднего профессионального образования.

Цели и задачи дисциплины – требования к результатам освоения дисциплины:

Код, ПК, ОК (раскрыть содержание ОК и ПК)	Предметные	Метапредметные	личностные
ОК 01. Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности, применительно к различным контекстам. ОК 02. Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности. ОК 03. Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие. ОК 04. Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами. ОК 05. Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке с учетом особенностей социального и культурного контекста. ОК 06. Проявлять гражданско-	– конструкторскую, производственно-технологическую и – нормативную документацию, необходимую для выполнения работ; – инструменты и приспособления для различных видов монтажа; – характеристики и области применения электрических кабелей; – элементы микроэлектроники, их классификацию, типы, – характеристики и назначение, маркировку; – коммутационные приборы, их классификацию, область – применения и принцип действия; – состав и назначение основных блоков систем автоматического управления и регулирования; – состав и назначение основных элементов систем автоматического управления; – конструкцию микропроцессорных устройств; – принципиальные электрические схемы и схемы соединений, – условные изображения и маркировку проводов; – особенности схем промышленной автоматики, телемеханики, связи; – функциональные и	- приводить несистемные величины измерений в соответствие с действующими стандартами и международной системой единиц СИ; - пользоваться контрольно-испытательной и измерительной аппаратурой; - анализировать результаты измерений; - рассчитывать погрешности измерений в ходе поверки; - применять методы и средства измерений по назначению; - проводить поверку технических средств измерений по образцовым приборам; - работать с поверочной аппаратурой; - выполнять наладку	- основные понятия и определения метрологии; - терминологию и единицы измерения величин в соответствии с действующими стандартами и международной системой единиц СИ; - методы и средства измерений, назначение и виды измерений, погрешности измерений, виды метрологического контроля; - номенклатура измерительных приборов и инструментов;

патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей. ОК 07. Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях. ОК 10. Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языке.	структурные схемы программируемых контроллеров; – основные принципы построения систем управления на базе микропроцессорной техники; – способы макетирования схем; – методы расчета отдельных элементов регулирующих устройств; – характеристику и назначение основных электромонтажных операций; – назначение и области применения пайки, лужения; – виды соединения проводов; – технологию процесса установки крепления и пайки радиоэлементов; – классификацию электрических проводок, их назначение; – трубные проводки, их классификацию и назначение, технические требования к ним; – конструкцию и размещение оборудования, назначение, способы – монтажа различных приборов и систем автоматизации; – общие требования к автоматическому управлению и регулированию производственных и технологических процессов; – методы измерения качественных показателей работы систем автоматического управления и регулирования; – принципы установления режимов работы отдельных устройств, приборов и блоков; – технологию сборки блоков аппаратуры различных степеней сложности; – способы проверки работоспособности элементов волноводной техники; – требования безопасности труда и бережливого производства при производстве	контрольно-измерительных приборов.	- принципы действия основных измерительных приборов и устройств; - оценки пригодности приборов и инструментов к использованию, их готовности к работе.
---	--	---	---

	монтажа; – нормы и правила пожарной безопасности при проведении монтажных работ; – последовательность и требуемые характеристики сдачи выполненных работ; – правила оформления сдаточной технической документации;		
--	---	--	--

Практическая работа	Объем часов
№1-2 Практическая работа "Определение метрологических характеристик приборов".	2
№3-4 "Поверка технического вольтметра".	2
№5-6 Изучение аналоговых измерительных приборов"	2
№7-8 "Расширение пределов измерения амперметров и вольтметров"	2
№9-10 "Измерение индуктивности и емкости мостовым методом"	2
№11 "Измерение индуктивности и емкости резонансным методом"	1
№12-14 "Измерение мощности в однофазной цепи и трехфазной цепи"	3

Определение метрологических характеристик приборов

Теоретический материал:

К метрологическим характеристикам относятся:

- Чувствительность измерительного прибора** – это отношение изменения сигнала ΔL на выходе ИП к вызывающему его изменению измеряемой величины ΔA , т.е. $S = \Delta L / \Delta A$.

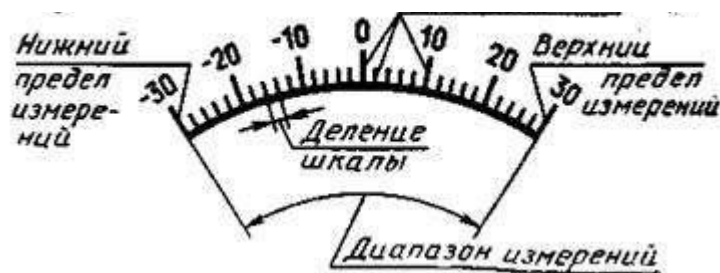


Рис.1

Таблица 1.

[illegible]

2										
3										
4										
5										

4. Задача.

Производились измерения напряжения двумя параллельно включенными вольтметрами **V1** и **V2**.

Их метрологические характеристики:

V1: Класс точности K_{V1} ; Диапазон измерений U_{np1} .

V2: Класс точности K_{V2} ; Диапазон измерений U_{np2} .

Показания какого прибора точнее? Сделать вывод по результатам расчёта.

Данные для решения задачи – в Таблице 1

Порядок расчёта:

1. Класс точности прибора (**K**) численно равен приведенной погрешности, выраженной в %.

$$\delta = \frac{\Delta X}{X_{\max}} 100 \quad \delta = K$$

где $X_{\max}$ – пределы измерения прибора, максимальное значение по шкале;

ΔX – абсолютная погрешность;

2. Для того, чтобы определить точность каждого из вольтметров, необходимо определить абсолютную погрешность каждого прибора, выразив этот параметр из формулы в п.1, и сравнить эти значения. Абсолютная погрешность выражается в единицах физической величины. Сделать вывод.

$$\Delta X1 = \frac{KV1 \cdot X_{\max1}}{100}$$

$$\Delta X2 = \frac{KV2 \cdot X_{\max2}}{100}$$

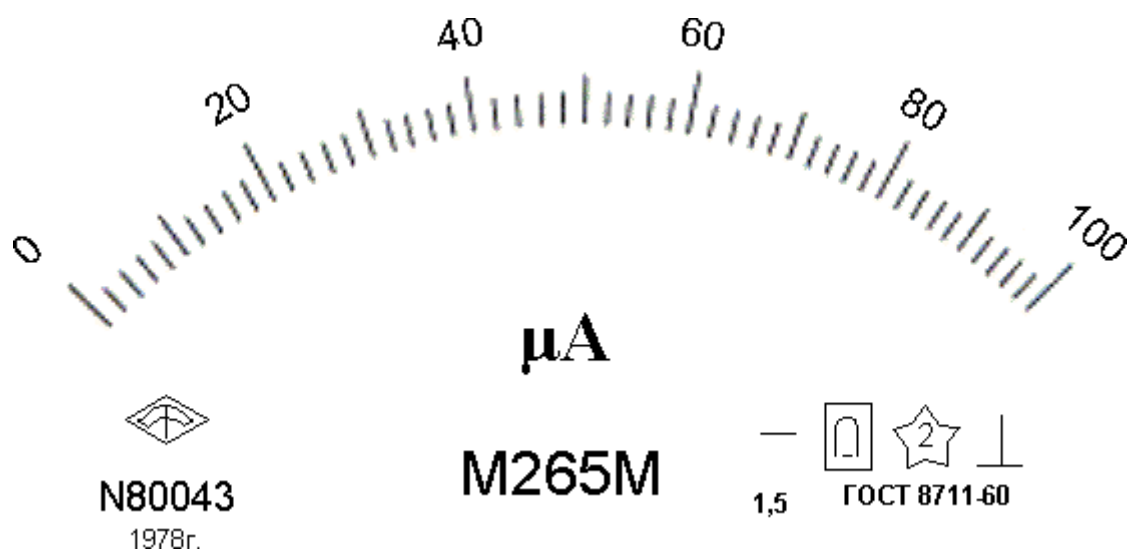


Рис.2



Рис.3

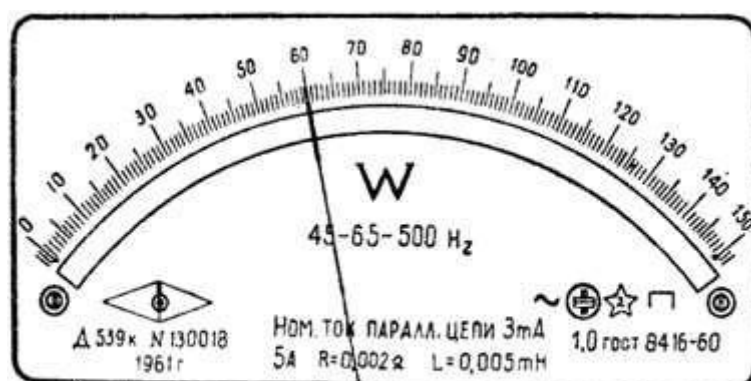


Рис. 10 Шкала электронизмерительного прибора

Рис.4

Варианты заданий: Таблица 1

№ вар	Данные измерительного прибора					
	Класс точности прибора		Показания прибора		Предел измерения прибора	
	V1	V2	U_1	U_2	U_{np1}	U_{np2}
1;13	4	1	16	17	0-30	0-150
2;14	1	0,1	98	96	0-300	0-100
3;15	1,5	0,2	143	149	0-150	0-200
4;16	2,5	0,5	18	21	0-100	0-20
5;17	4	1,5	178	181	0-200	0-300
6;18	1	0,5	125	128	0-200	0-150
7;19	2	1	288	286	0-500	0-300
8; 20	0,5	0,05	212	215	0-250	0-300
9;21	1,5	0,1	148	150	0-250	0-150
10;22	2,5	0,2	28	31	0-30	0-50
11;23	4	0,5	201	208	0-300	0-200
12;24	1,5	0,5	198	190	0-150	0-200

№3-4 Практическая работа Поверка технического вольтметра

Цель работы: - Формирование освоения умений и усвоения знаний и овладение профессиональными (ПК) и общими (ОК) компетенциями: У1, У3, У4, З1-З5, ОК2, ОК3, ПК1.1, ПК1.2, ПК2.1

- Ознакомление с наиболее распространенными средствами измерений, с элементами обеспечения единства измерений по основному виду метрологической деятельности.

Теоретические сведения:

При поверке электроизмерительных приборов по полной программе соответствие их заявленному классу точности (или присвоение прибору класса точности по результатам поверки) осуществляется по двум критериям:

1. Величина погрешности поверяемого прибора (абсолютной или относительной приведенной) ни в одной точке шкалы не должна превышать предела допускаемой основной погрешности (выраженного в абсолютной либо в относительной приведенной формах);

2. Вариация показаний прибора ни в одной точке шкалы не должна превышать допустимого для нее предела. Вариация нормируется в зависимости от конструктивных особенностей прибора и нормы на нее могут колебаться от половины предела допускаемой основной погрешности, до полуторакратного значения этой величины.

Для большинства лабораторных приборов вариация не должна превышать предела допускаемой основной погрешности.

Определяем абсолютную погрешность поверяемого прибора в каждой поверяемой точке при увеличении показаний

$$\Delta U = U_n - U_{oe}$$

где U_n — показания поверяемого прибора;

$U_{ов}$ -показания образцового прибора;

Относительная погрешность прибора $\delta_{пр}$ представляет собой отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины:

$$\delta_{пр} = (\Delta U / U_{ов}) 100\%;$$

Приведенная погрешность определяется следующим выражением:

$$\gamma = (\Delta U / N) 100\%;$$

где N -предел измерений (диапазон измерений, длина шкалы);

Классом точности прибора является обобщенная характеристика средств измерений, определяемая максимальной абсолютной погрешностью к пределу измерения:

$$K = (\Delta U_{max} / N) 100\%;$$

Вариация - это разность показаний образцового СИ при плавном подходе к одной и той же отметке шкалы поверяемого прибора при увеличении показаний и при их уменьшении:

$$B = \Delta U_{\text{пр}} - \Delta U_{\text{об}}$$

Порядок выполнения работы:

- 1 Изучить правила техники безопасности в лаборатории;
- 2 Произвести поверку вольтметра с верхним пределом измерения согласно варианту;
- 3 Записать показания образцового прибора и поверяемого прибора при повышении и уменьшении показаний;
- 4 Определить абсолютные, относительные и приведенные погрешности в каждой точке шкалы вольтметра;
- 5 Данные записать в таблицу;
- 6 Сделать вывод (к какому классу можно отнести прибор по результатам поверки).

вариант	U _{ов}	U _п (прямой ход)	U _п (обратный ход)	$\Delta U_{\text{пр}}$	$\Delta U_{\text{об}}$	$\delta_{\text{пр}}$	$\delta_{\text{об}}$	$\gamma_{\text{пр}}$	$\gamma_{\text{об}}$	B
1 N=5	1	1,03	0,99							
	2	2,02	1,98							
	3	3,01	2,97							
	4	4,05	3,99							
	5	5,04	4,95							
2 N=10	2	2,01	1,97							
	4	4,02	3,99							
	6	6,03	5,98							
	8	8,01	7,96							
	10	10,04	9,99							
3 N=15	3	3,03	2,99							
	6	6,05	5,98							
	9	9,01	8,97							
	12	12,04	11,92							
	15	15,01	14,99							
4 N=1	0,2	0,202	0,197							
	0,4	0,401	0,398							
	0,6	0,602	0,590							
	0,8	0,808	0,798							
	1	1,01	0,999							
5 N=5	1	1,03	0,99							
	2	2,02	1,98							
	3	3,01	1,97							
	4	4,05	3,99							
	5	5,04	4,95							
6	2	2,01	1,97							
	4	4,02	3,99							

N=10	6	6,03	3,98							
	8	8,01	7,96							
	10	10,04	9,99							
7 N=15	3	3,03	2,99							
	6	6,05	3,98							
	9	9,01	8,97							
	12	12,04	11,92							
	15	15,01	14,99							
8 N=1	0,2	0,202	0,197							
	0,4	0,401	0,198							
	0,6	0,602	0,590							
	0,8	0,808	0,798							
	1	1,01	0,999							
9 N=5	1	1,03	0,99							
	2	2,02	1,98							
	3	1,01	2,97							
	4	4,05	3,99							
	5	5,04	4,95							
10 N=10	2	2,01	1,97							
	4	4,02	3,99							
	6	6,03	5,98							
	8	5,01	7,96							
	10	10,04	9,99							

Контрольные вопросы:

1. Что понимается под истинным значением измеряемой величины?
2. Что называют погрешностью измерения?
3. Что такое чувствительность прибора?
4. Как определить цену деления прибора?

№5-6 Практическая работа

Изучение аналоговых измерительных приборов

Цель работы: Изучение электроизмерительных приборов, используемых в лабораторных работах, выполняемых на стенде. Получение представлений о пределе измерения и цене деления, абсолютной и относительной погрешности, условиях эксплуатации и других характеристиках стрелочных электроизмерительных приборов, получение навыков работы с цифровыми измерительными приборами.

Контроль работы электрооборудования осуществляется с помощью разнообразных электроизмерительных приборов. Наиболее распространенными

электроизмерительными приборами являются приборы непосредственного отсчета. По виду отсчетного устройства различают аналоговые (стрелочные) и цифровые измерительные приборы.

На лицевой стороне стрелочных приборов изображены условные обозначения, определяющие классификационную группу прибора. Они позволяют правильно выбрать приборы и дают некоторые указания по их эксплуатации.

В цепях постоянного тока для измерений токов и напряжений применяются в основном приборы магнитоэлектрической системы. Принцип действия таких

приборов основан на взаимодействии магнитного поля постоянного магнита и

измеряемого тока, протекающего по катушке. Угол поворота стрелки α прямо пропорционален измеряемому току I : $\alpha = K \cdot I$. Шкалы магнитоэлектрических приборов равномерные.

В измерительных механизмах электромагнитной системы, применяемых для

измерений в цепях переменного и постоянного тока, вращающий момент обусловлен действием магнитного поля измеряемого тока в неподвижной катушке прибора на подвижный ферромагнитный якорь. Угол поворота стрелки α здесь пропорционален квадрату тока: $\alpha = K \cdot I^2$. Поэтому шкала электромагнитных приборов обычно неравномерная, что является недостатком

этих приборов. Начальная часть шкалы не используется для измерений. Для

измерений токов и напряжений в цепях переменного тока применяются также

приборы выпрямительной системы. Такие приборы содержат выпрямительный преобразователь и магнитоэлектрический измерительный механизм. Они имеют более линейную шкалу, чем приборы электромагнитной системы и достаточно широкий частотный диапазон.

Для практического использования стрелочного измерительного прибора необходимо знать его предел измерений (номинальное значение) и цену деления (постоянную) прибора. **Предел измерений** – это наибольшее значение электрической величины, которое может быть измерено данным прибором. Это значение обычно указано на лицевой стороне прибора. Один и тот же прибор может иметь несколько пределов измерений. Ценой деления прибора называется значение измеряемой величины, соответствующее одному делению шкалы прибора. Цена деления прибора – С легко определяется как отношение предела измерений $A_{ном}$ к числу делений шкалы N:

$$C = A_{ном} / N.$$

На лицевой стороне стрелочных прибора указывается класс точности, который определяет приведенную относительную погрешность прибора $\gamma_{пр}$.

Приведенная относительная погрешность прибора – это выраженное в процентах отношение максимальной для данного прибора абсолютной погрешности ΔA к номинальному значению прибора (пределу измерений) $A_{ном}$:

$$\gamma_{пр} = \frac{\Delta A}{A_{ном}} \cdot 100\%$$

Промышленность в соответствии с ГОСТ выпускает приборы с различными классами точности (0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,5; 2,5; 4,0).

Зная класс точности прибора, можно определить абсолютную ΔA и относительную погрешности измерения $\gamma_{изм}$, а также действительное значение измеряемой величины A_d :

$$\Delta A = \frac{\gamma_{пр} \cdot A_{ном}}{100}; \gamma_{изм} = \frac{100 \cdot \Delta A}{A}; A_d = A \pm \Delta A.$$

Расчетную относительную погрешность измерения в любой точке шкалы прибора можно определить, полагая, что его допустимая абсолютная погрешность ΔA известна и постоянна:

$$\gamma_{изм} = \frac{100 \cdot \Delta A}{A_{изм}},$$

где $A_{\text{изм}}$ – условное измеренное значение величины, задаваемое в пределах шкалы прибора от минимального значения до номинального значения данного прибора. Обратит внимание на значение относительной погрешности измерения, соответствующее предельному значению измеряемой величины, и сравнить его с классом точности прибора.

Нетрудно сделать вывод, что относительная погрешность измерения тем больше, чем меньше измеряемая величина по сравнению с номинальным значением прибора. Поэтому желательно не пользоваться при измерении начальной частью шкалы стрелочного прибора.

Для обеспечения малой методической погрешности измерения необходимо, чтобы сопротивление амперметра было значительно меньше сопротивления нагрузки, а сопротивление вольтметра было значительно больше сопротивления исследуемого участка.

В табл. 1 приведены некоторые условные обозначения, приводимые на лицевых панелях стрелочных измерительных приборов, определяющие их свойства и условия эксплуатации.

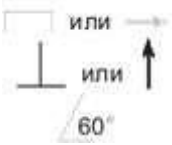
При проведении измерений в электрических цепях широкое применение получили цифровые измерительные приборы, например мультиметры – комбинированные цифровые измерительные приборы, позволяющие измерять постоянное и переменное напряжение, постоянный и переменный ток, сопротивления, проверять диоды и транзисторы. Представление результата измерения происходит на цифровом отсчетном устройстве в виде обычных удобных для считывания десятичных чисел. Наибольшее распространение в цифровых отсчетных устройствах мультиметров получили жидкокристаллические и светодиодные индикаторы. В лабораторном стенде используются цифровые приборы для измерения постоянных и переменных токов, а также цифровой измеритель мощности. Для переключения режима работы цифровых амперметров стенда (РА1, РА2, РА3 и РА4) на его передней панели установлен тумблер, который для измерения постоянного тока следует установить в позицию «=», для измерения действующих значений переменных токов – в позицию «~». Для измерения постоянного тока входная клемма (+) цифрового амперметра выделена красным цветом.

Цифровой измеритель мощности предназначен для измерения параметров электрической цепи:

- действующего значения напряжения U (True RMS) в диапазоне 0...30 В;
- действующего значения тока I (True RMS) в диапазоне 0...300 мА;
- активной мощности P в диапазоне 0...600 Вт;

- частоты f в диапазоне 35...400 Гц;
- $\cos \phi$;
- угла сдвига фаз ϕ (F_i) между током и напряжением.

Таблица 1

Условное графическое обозначение	Содержание условного обозначения
A, V, W, Ω , Hz, $\cos \phi$, F, H	Наименование измеряемой величины (ампер, вольт, ватт, ом, герц, коэффициент мощности, фарада, генри)
	Магнитоэлектрический измерительный механизм
	Электромагнитный измерительный механизм
	Магнитоэлектрический измерительный механизм с выпрямителем
0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,5; 2,5; 4,0	Класс точности прибора
	Рабочее положение шкалы прибора: горизонтальное; вертикальное; под углом, например 60°
	Прибор предназначен для работы в цепи постоянного тока; переменного тока; постоянного и переменного; в трехфазной цепи переменного тока
A Б В1; В2; В3	А (или отсутствие буквы) – прибор для сухих отапливаемых помещений с температурой +10°C ...+35°C и влажности до 80% при 30°C; Б – прибор для закрытых не отапливаемых помещений с температурой - 30°C ...+40°C и влажности до 90% при 30°C; В – приборы для полевых и морских условий: В1 – при температуре -40°C ... +50°C и В2 – при температуре -50°C ... +60°C и влажности до 95% при 35°C; В3 – при температуре -40°C ... +50°C и влажности до 98% при 40°C

	Измерительная цепь прибора изолирована от корпуса и испытана напряжением, например, 2 кВ
30 – 200 Hz	Рабочий частотный диапазон прибора

Прибор содержит:

- клеммы подачи входного измеряемого сигнала (генератора): клемму «Вх» и общую клемму, клеммы подключения потребителя (нагрузки): клемму «Вых» и общую клемму. Шунт для измерения тока нагрузки подключен между клеммами «Вх» и «Вых»;
- жидкокристаллический четырехстрочный индикатор для вывода информации;
- кнопку «f/cosφ/φ» изменения вывода информации в четвертой строке индикатора (соответственно, частоты, коэффициента мощности cosφ или угла сдвига фаз φ между током и напряжением).

С задней стороны прибора установлены розетка для подключения питания сети и колодка предохранителя.

С помощью кнопки «f/cosφ/φ» можно изменять вывод информации в четвертой строке индикатора. Для вывода требуемого параметра в четвертой строке индикатора кнопку необходимо нажать на 1...2 секунды.

Изменения схемы подключения прибора и лабораторной установки выполнять при выключенном питании прибора. В противном случае возможны изменения показаний прибора, а также возникновение нарушений в работе индикатора прибора.

3. Порядок выполнения работы.

Изучение паспортных характеристик стрелочных электроизмерительных приборов. Для этого внимательно рассмотреть лицевые панели стрелочных амперметров и заполнить табл. 2.

Таблица 2

Характеристика электроизмерительного прибора		
Наименование прибора	Вольтметр №1	Вольтметр №2
Система измерительного механизма		
Предел измерения		
Цена деления		
Минимальное значение измеряемой величины		
Класс точности		

Допустимая максимальная абсолютная погрешность		
Род тока		
Нормальное положение шкалы		
Прочие характеристики		

Построить график зависимости относительной погрешности измерения от измеряемой величины $\gamma_{\text{изм}} = f(A_{\text{изм}})$ для прибора, указанного преподавателем. Сделать вывод о величине относительной погрешности измерения в начальной и конечной части шкалы, о характере изменения погрешности вдоль шкалы прибора.

Измерить величину сопротивления, заданного преподавателем, методом амперметра и вольтметра. Для этого собрать электрическую цепь по рис. 1. Установить тумблер режима работы измерителя тока в позицию «=».

После проверки схемы, включить электропитание и занести полученные данные в табл. 3. Выключить электропитание. Рассчитать, используя закон Ома, величину заданного сопротивления R . Результат занести в табл. 3.

Таблица 3

U, В	I, мА	R, Ом

4. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) технические данные измерительных приборов;
- в) график зависимости относительной погрешности измерений $\gamma_{\text{изм}} = f(A_{\text{изм}})$;
- г) результаты измерений;
- д) выводы по работе.

Практическая работа №7-8

Расширение пределов измерения амперметров и вольтметров

Цель работы: научиться выбирать амперметры и вольтметры для измерения электрических величин, а так же рассчитывать шунты и добавочные резисторы и включать их с приборами.

Порядок выполнения

1. В зависимости от номера варианта из таблицы 3 выбрать исходные данные
2. Рассчитать цепь, т.е. найти все токи и напряжения.
3. Выбрать необходимый амперметр по таблице № 2.
4. Выбрать необходимый вольтметр по таблице № 1.
5. Начертить схему с приборами.

Таблица 1.

Класс точности и верхний предел измерения вольтметров

№ п/п	Класс точности, $\gamma_{пр}$, %	Верхний предел измерения, В
1	2	3
1	1,5	0,5
2	2,5	1,5
3	2,5	1,0
4	2,5	2,0
5	4	2,0
6	2,5	3,0
7	4,0	5,0
8	1,5	10
9	2,5	250
10	4,0	300
11	2,5	10,0
12	1,5	15
13	2,5	30
14	4,0	30
15	1,5	50
16	2,5	70
17	4,0	75
18	1,5	100
19	1,5	300
20	2,5	500

Таблица 2. Класс точности и верхний предел измерения амперметров

№ п/п	Класс точности, $\gamma_{пр}$, %	Верхний предел измерения, А
1	2	3
1	1,5	1
2	2,5	1

3	2,5	2
4	1,0	2
5	1,5	3
6	2,5	3
7	1,5	5
8	4,0	5
9	1,0	10
10	2,5	10
11	2,5	15
12	4,0	15
13	1,5	20
14	1,0	20
15	1,5	25
16	2,5	25
17	1,0	30
18	4,0	30

Таблица 3

Вариант	№ рис.	Приборы измерения	R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом	R4, Ом	Напряжение, U, В
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	PA1, PV4	2	5	4	3	130
2	1	PA2, PV3					
3	1	PA3, PV2					
4	1	PA4, PV1					
5	1	PA1, PV2					
6	1	PA2, PV1					
7	1	PA3, PV3					
8	1	PA4, PV2					

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8
9	2	PA1, PV4	7,5	20	50	100	120
10	2	PA2, PV3					
11	2	PA3, PV2					
12	2	PA4, PV1					
13	2	PA1, PV2					

14	2	PA2, PV1					
15	2	PA3, V3					
16	2	PA4, PV2					
17	3	PA1, PV4	3	15	20	15	120
18	3	PA2, PV3					
19	3	PA3, PV2					
20	3	PA4, PV1					
21	3	PA1, PV2					
22	3	PA2, PV1					
23	3	PA3, PV3					
24	3	PA4, PV2					
25	4	PA1, PV4	20	30	60	30	120
26	4	PA2, PV3					
27	4	PA3, PV2					
28	4	PA4, PV1					
29	4	PA1, PV2					
30	4	PA2, PV1					
31	4	PA3, PV3					
32	4	PA4, PV2					

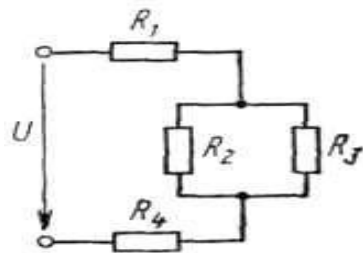


Рис.1

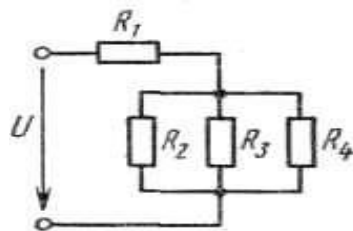


Рис.2

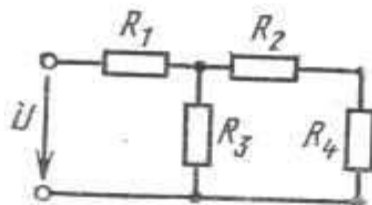


Рис.3

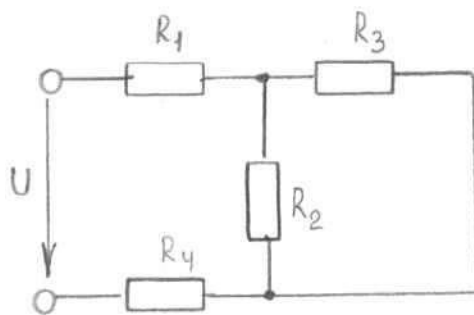


Рис.4

6. Расширить пределы измерений у амперметров в 5 раз для нечетных вариантов и в 10 раз - для четных.
7. Найти новое показание амперметра с шунтом при неизменном напряжении источника и найти новый предел измерения у амперметра.
8. Расширить пределы измерений у вольтметров в 5 раз для нечетных вариантов и в 10 раз - для четных.
9. Найти новое показание вольтметра с добавочным резистором при неизменном напряжении источника и найти новый предел измерения у вольтметра.
10. Вычертить схему с приборами, шунтами и добавочными резисторами.

консультация к практической работе

1. Расчет шунта для расширения пределов измерения амперметра определяют по формуле:

$R_{ш} = R_{НА} / (n - 1)$, где $R_{НА}$ - сопротивление прибора амперметра численно равное значению 0,05 Ом ; n - коэффициент шунтирования, он показывает, во сколько раз расширяются пределы измерения амперметра, задается по условию.

2. Находим новое показание амперметра с тем же источником по формуле:

$$I_n^* = I_n / n, \text{ где } I_n - \text{расчетное значение.}$$

Новый предел измерения у амперметра:

$$I_H^* = I_H \cdot n$$

3. Расчет добавочного резистора для расширения пределов измерения у вольтметра определяют по следующей формуле:

$R_d = R_{НВ} (n - 1)$, где $R_{НВ}$ - сопротивление прибора амперметра численно равное значению 200 Ом ; где n - взять то же, что и у амперметра.

4. Находим новое показание вольтметра с тем же источником по формуле:

$U_n^* = U_n / n$, где U_n - расчетное значение.

Новый предел измерения у вольтметра:

$$U_H^* = U_H \cdot n$$

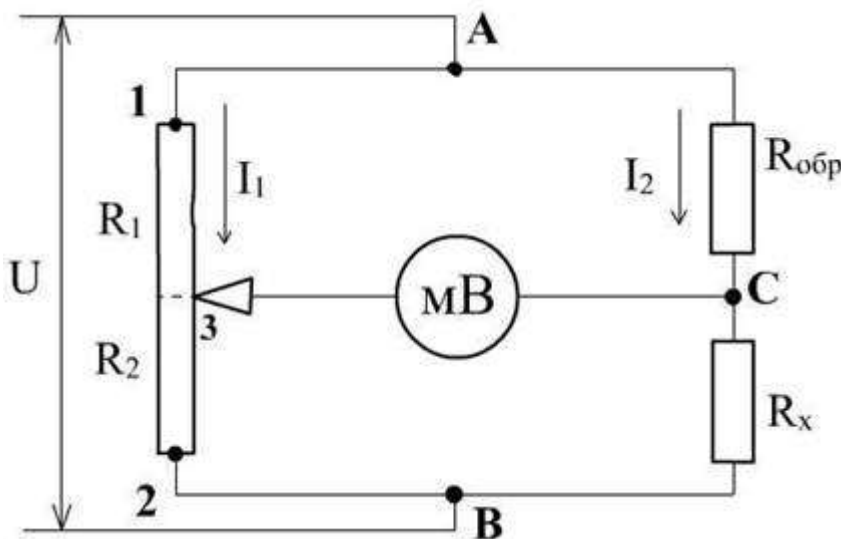
7. При вычерчивании схемы шунт с амперметром соединяют параллельно, а вольтметр с добавочным резистором - последовательно.

Практическая работа №9-10

Измерение индуктивности и емкости мостовым методом

Цель работы: Знакомство с методами измерения сопротивления резистора, емкости конденсатора и индуктивности катушки, а также приобретение практических навыков обращения с измерительными приборами.

Измерение активного сопротивления.



Одним из распространенных методов измерения сопротивления является метод, в котором используется мостовая схема.

Мостовая схема (рис. 1) состоит из реохорда (R), образцового сопротивления (R_0), известной величины и измеряемого сопротивления (R_X).

Рис. 1

Реохорд — это проволочное сопротивление, у которого имеется средний передвижной контакт 3. Реохорд обычно выполняется из высокоомной проволоки, намотанной на каркас, или просто представляет собой отрезок натянутой проволоки из материала с высоким удельным сопротивлением. Предполагается, что общее сопротивление реохорда (между контактами 1 и 2) известно, а также известны сопротивления между контактом 3 и контактами 1 (R_1) и 2 (R_2) при любом положении контакта 3.

Измерение активного сопротивления обычно производится с использованием постоянного напряжения U следующим образом. Подвижный контакт 3 устанавливают так, чтобы напряжение между точками 3 и C стало равным нулю. В этом случае справедливы следующие отношения между величинами падения напряжения на сопротивлениях R_1 , R_2 , R_0 и R_X :

$$U_{R1} = U_{R0}, \quad (1)$$

$$U_{R2} = U_{RX}. \quad (2)$$

Поделим правые и левые части уравнений (1) и (2) друг на друга:

$$\frac{U_{R1}}{U_{R2}} = \frac{U_{R0}}{U_{RX}} . (3)$$

В силу закона Ома справедливы следующие соотношения:

$$U_{R1} = I_1 R_1, U_{R2} = I_1 R_2, U_{R0} = I_2 R_0, U_{RX} = I_2 R_X,$$

где I_1, I_2 — электрические токи в левой и правой частях моста (см. рис. 1).

Подставив эти выражения в соотношение (3), получим

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_0}{R_X}$$

или

$$R_X = R_0 \frac{R_2}{R_1} . (4)$$

Соотношение (4) используется для определения неизвестного сопротивления R_X . Точность измерения R_X определяется точностью, с которой известны значения R_0, R_1, R_2 .

Соотношение (4) остается справедливым и в том случае, когда к точкам А и В моста (см. рис. 1) приложено переменное напряжение. При этом предполагается, что величины емкостей и индуктивностей элементов схемы, показанной на рис. 1, пренебрежимо малы.

Измерение емкости конденсатора.

Покажем теперь, что мостовая схема, к которой подводится переменное напряжение ($U \sim$), может быть использована для измерения электрической емкости. Для измерения неизвестной емкости C_X сопротивление R_0 в схеме нужно заменить на C_0 (образцовую емкость), а R_X — на C_X .

Синусоидальное напряжение на конденсаторе C :

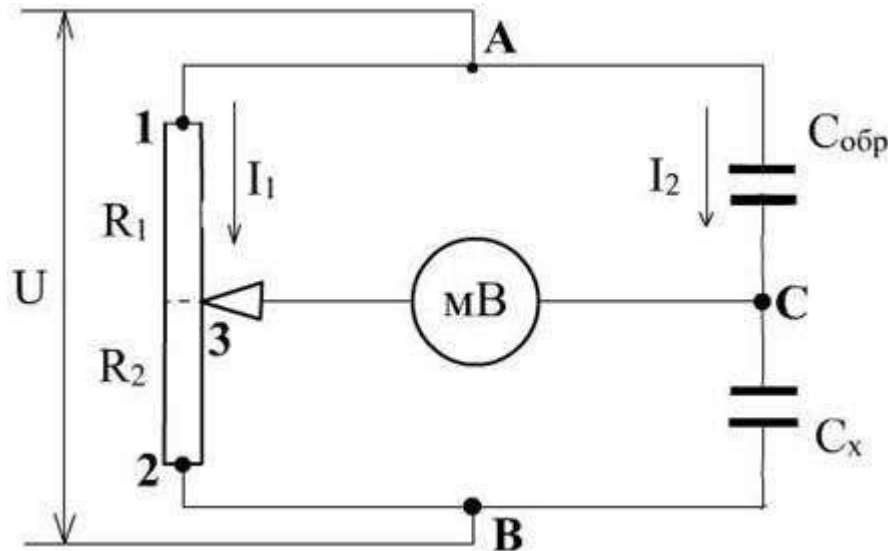
$$U = U_0 \sin \omega t ,$$

где $\omega = 2\pi f$, f — частота переменного напряжения. Заряд, емкость и напряжение на конденсаторе связаны следующим соотношением $q = CU$.

Следовательно,

$$I = \frac{dq}{dt} = CU_0 \omega \cdot \cos \omega t$$

Рассмотрим мостовую схему, показанную на рис. 2.



Если напряжение между точками 3 и C равно нулю, то для напряжений на сопротивлениях R1, R2 и емкостях C0 и CX справедливы соотношения:

$$U_{R1} = U_{C0}, U_{R2} = U_{CX}$$

Рис. 2

Следовательно,
$$\frac{U_{R1}}{U_{R2}} = \frac{U_{C0}}{U_{CX}} \quad (5)$$

Далее

$$I_2 = \frac{dq_0}{dt} = \frac{d}{dt}(C_0 U_{C0}) = \frac{d}{dt}(C_0 U_{C0}^m \sin \omega t) = C_0 U_{C0}^m \omega \cos \omega t$$

аналогично,

$$I_2 = \frac{dq_X}{dt} = \frac{d}{dt}(C_X U_{CX}) = \frac{d}{dt}(C_X U_{CX}^m \sin \omega t) = C_X U_{CX}^m \omega \cos \omega t$$

где U_{CX} , U_{C0} – напряжения на C_X и C_0 , а U_{CX}^m и U_{C0}^m – амплитуды напряжений на C_X и C_0 .

Отсюда получается $C_0 U_0^m = C_X U_X^m$

$$\text{или } \frac{U_0^m}{U_X^m} = \frac{U_0^m \sin \omega t}{U_X^m \sin \omega t} = \frac{U_{C0}}{U_{CX}} = \frac{C_X}{C_0} . \quad (6)$$

Подставляя (6) в (5), получаем

$$\frac{C_X}{C_0} = \frac{U_{R1}}{U_{R2}} = \frac{R_1}{R_2}$$

$$\text{или } C_X = C_0 \frac{R_1}{R_2} . \quad (7)$$

Измерение индуктивности проволочной катушки.

Рассмотрим индуктивность, к которой приложено переменное напряжение $U = U_m \sin \omega t$.

Ток I и напряжение U на индуктивности связаны соотношением:

$$U = L \frac{dI}{dt} . \quad (8)$$

Если мы заменим в схеме на рис. 2 C_0 на L_0 , а C_X на L_X , то, используя соотношение (8) и рассуждения, аналогичные тем, которые мы провели выше, получим

$$L_X = L_0 \frac{R_2}{R_1} . \quad (9)$$

Таким образом, мостовая схема, к которой приложено переменное напряжение, может быть использована для определения электрической ёмкости и индуктивности.

Обсудим особенности измерения индуктивности мостовым методом и вопрос о точности таких измерений.

Катушка индуктивности представляет собой в простейшем случае тонкую медную проволоку, плотно намотанную в один слой на цилиндрический каркас из непроводящего материала.

При подаче на индуктивность L переменного синусоидального напряжения U сдвиг фазы между напряжением и током составляет 90° (рис. 3). Амплитуда напряжения на индуктивности и тока через нее связаны между собой соотношением

$$U_m = \omega L \cdot I_m. \quad (10)$$

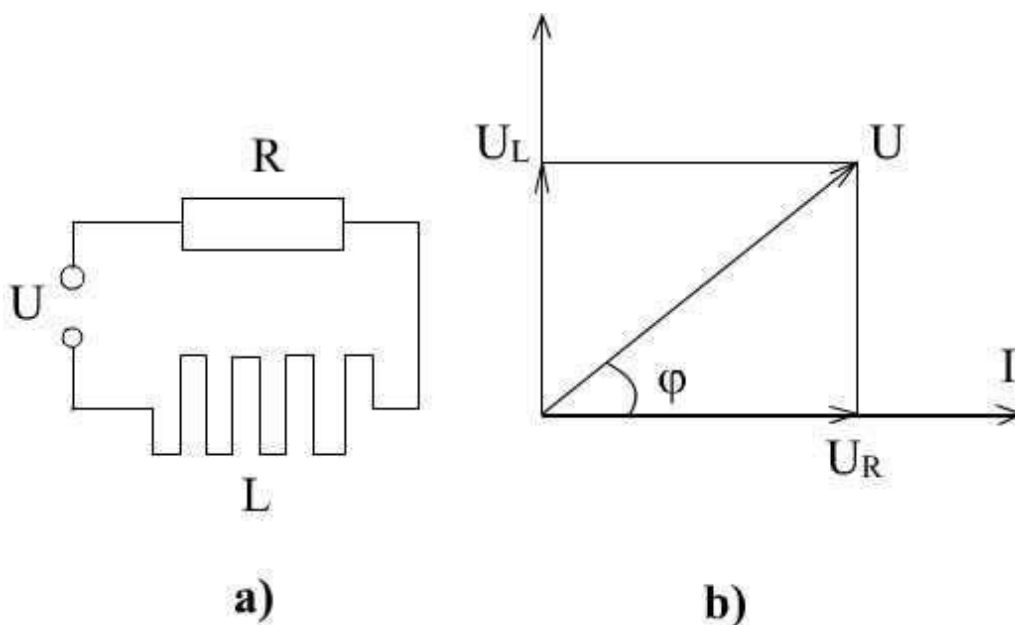
Коэффициент, связывающий между собой ток и напряжение в (10), определяет эффективное сопротивление индуктивности в цепи переменного тока

$$R_L = \omega L.$$

Очевидно, что это сопротивление растет с повышением частоты ω .

Реальная проволочная катушка индуктивности обладает некоторым активным сопротивлением. Поэтому эквивалентная схема катушки индуктивности представляет собой последовательно включенные индуктивность L и активное сопротивление R (рис. 3а).

Рис. 3



Напряжение на индуктивности опережает по фазе на 90° напряжение на сопротивлении, что отражено на векторной диаграмме напряжений (рис. 3b).

Результирующее напряжение U^m определяется как результат векторного сложения U_R^m и U_L^m .

Амплитуды напряжения U^m и тока I^m , сдвиг фазы φ связаны между собой соотношениями

$$I^m = \frac{U^m}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}, \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L}{R} = \frac{R_L}{R}. \quad (11)$$

При получении соотношения (9) для L_X мы пренебрегли влиянием сопротивления R. Выясним условия, при которых влияние R мало, и оценим точность определения L_X с помощью формулы (9) при этих условиях. Воспользуемся соотношением (11), представив его в следующем виде:

$$U^m = I^m R_L \left[1 + \left(\frac{R}{R_L} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = U_L^m \left[1 + \left(\frac{R}{R_L} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (12)$$

Для того чтобы влияние R на результаты измерения было мало, должно быть выполнено соотношение

$$\frac{R}{R_L} = \frac{R}{\omega L} \ll 1. \quad (13)$$

Рассмотрим катушку индуктивности из медной проволоки (рис. 3). Длина катушки l , диаметр катушки D . Обозначим диаметр проволоки через d , массу проволоки m , длину проволоки A , ее сопротивление R . Можно показать, что индуктивность такой катушки при условии $l \gg D$ определяется следующим выражением

$$L = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{mR}{l\rho\rho_0}, \quad (14)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная;

$\rho = 1,6 \times 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ – удельное сопротивление меди;

$\rho_0 = 8,9 \text{ г/см}^3$ – удельный вес меди.

Из формулы (14) видно, что отношение $\frac{R}{L}$ пропорционально отношению $\frac{l}{m}$. Таким образом, для катушек индуктивности, изготовленных из проволоки одинакового диаметра, отношение $\frac{R}{L}$ будет оставаться постоянным, т. к. масса проволоки пропорциональна длине l катушки.

Возьмем катушку из медной проволоки с конкретными параметрами:

$m = 50 \text{ г}$, $l = 6 \text{ см}$, $D = 2 \text{ см}$, $d = 0,3 \text{ мм}$.

Тогда число витков $N = \frac{l}{d} = 200$.

Длина проволоки $A = \pi D \cdot N \cong \pi \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 200 \cong 12,6 \text{ м}$.

Сопротивление $R = \rho \frac{A}{S} = \frac{\rho A}{\pi \cdot \frac{d^2}{4}} \cong 2,85 \text{ Ом}$.

Индуктивность $L = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{mR}{l\rho\rho_0} = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$.

Индуктивное сопротивление R_L при частоте

$f = 100 \text{ Гц}$ $R_L = \omega \cdot L = 2\pi f \cdot L = 1,07 \text{ Ом}$,

$f = 10 \text{ кГц}$ $R_L = 107 \text{ Ом}$.

Таким образом, при частоте $f = 10 \text{ кГц}$ соотношение (13) выполняется, а именно,

$$\frac{R}{R_L} = \frac{2,85}{107} \cong 0,027 \ll 1 \quad . \quad (15)$$

Отметим, что при изменении диаметра проволоки d отношение $\frac{R}{L}$, полученное из формулы (14), будет меняться, но по порядку величины будет оставаться тем же для реально используемых катушек индуктивности. Поэтому соотношение (15) является справедливым для реальных катушек.

В мостовой схеме (рис. 2) сравниваются напряжения на индуктивностях L_0 и L_X . При условии (15) $R \ll RL$, а при частоте $f=10$ кГц расчет результирующего напряжения по формуле (12) дает значение

$$U_m \cong U_L \left(1 + \frac{1}{2} \cdot 0,027^2 \right) \cong U_L (1 + 0,0004)$$

т. е. отличие U_m от U_L составляет $\sim 0,04\%$.

Следовательно, погрешность измерения L_X , вносимая активным сопротивлением катушки, при частоте $f=10$ кГц, составляет $\sim 0,04\%$. На самом деле реальная погрешность будет еще меньше, поскольку образцовая катушка также обладает некоторым активным сопротивлением (см. (9)).

В заключение приведем некоторые рекомендации для практической оценки погрешности измерений индуктивности.

Практическая работа №11

Измерение индуктивности и емкости резонансным методом

1. Общие сведения. Электрическая цепь представляет собой совокупность соединенных друг с другом источников электрической энергии и нагрузок, по которым может протекать электрический ток. При определенных допущениях электрическую цепь рассматривают как цепь, состоящую из некоторых идеализированных элементов - сосредоточенных постоянных, параметры которых можно считать размещенными в пределах только одной ветви, соединенной с остальной частью цепи узлами. В цепях с сосредоточенными постоянными широко используются линейные компоненты общего применения: резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности и т.д. Передача энергии через такую цепь сопровождается сложными процессами образования электрических и магнитных полей и преобразований энергии, происходящими на каждом 2 участке цепи- По ТОЭ, изучая тему «Переменный ток» Вы подробно останавливались на всех процессах. Элементы электрических цепей характеризуются рядом параметров, которые по роду единиц физических величин подразделяются на основные и производные, выражаемые через основные параметры и частоту. К основным параметрам компонентов цепей с сосредоточенными постоянными относят: электрическую емкость конденсаторов, сопротивление резисторов, индуктивность (взаимную индукцию) катушек. Производные параметры - тангенс угла диэлектрических потерь, добротность, постоянная времени и т.д. Для резистора основным параметром является сопротивление электрическому току, а паразитными индуктивность L_g проводов обмотки (для проволочных резисторов) и выводов, а также C_g - емкость между витками и выводами. Паразитные параметры следует учитывать при определении верхнего предела частоты переменного тока, проходящего через данный резистор. Основным параметром конденсатора - емкость C , а паразитные индуктивность L_c пластин и выводов, и R_c - сопротивление потерь в диэлектрике. 3 Для катушки индуктивности основным параметром является индуктивность L , паразитными - сопротивление потерь RL и собственная емкость катушки CL . В зависимости от объекта измерений, требуемой точности результата, диапазона рабочих частот, допустимого напряжения на измеренном объекте или внешних условий применяют различные методы. Наибольшее применение при измерении параметров линейных компонентов получили: метод вольтметра - амперметра, метод непосредственной оценки, мостовой метод, резонансный метод и метод дискретного счет. На этом занятии мы рассмотрим мостовой метод, который характеризуется большой точностью, высокой чувствительностью, широким диапазоном измеренных значений, возможностью создания специализированных приборов, предназначенных для измерения какой-либо одной величины, так и универсальных приборов с ручным уравниванием или автоматических с цифровым отсчетом. Различают мостовые схемы на постоянном, переменном токе, универсальные мосты. 4 2. Мостовой метод. 2.1 Мосты постоянного тока. Мосты постоянного тока используют для измерения

активных сопротивлений, т.к. на постоянном токе реактивные параметры не влияют на работу цепи, то схема одинарного моста постоянного тока выглядит следующим образом. Он состоит из четырех плеч - резисторов - сопротивления которых равны R_1, R_2, R_3, R_4 . В одну диагональ включен источник постоянного питания E , а во вторую - индикатор I . В качестве индикаторов равновесия в таких мостах используют гальванометры, электрометры, микроамперметры с двух сторонней шкалой. В момент равновесия моста, когда произведение сопротивлений противолежащих плеч равно друг другу: $R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$, ток индикатора равен нулю. Следовательно, если сопротивления трех плеч известны, то из условия равновесия моста легко определить неизвестное четвертое сопротивление. Например: $R_1 = R_x$, $R_x = (R_2 \cdot R_4) / R_3$. Резисторы плеч моста выполняют в виде магазинов образцовых сопротивлений. Одинарные мосты применяют для измерения сопротивлений от 1 Ом и более, для определения малых сопротивлений до 1 Ом применяют двойные мосты с классом точности: 0,005; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,2; 5.

2.2 Мосты переменного тока.

Мосты переменного тока состоят из четырех плеч - двухполюсников с полным сопротивлением Z - которые представляют собой комплексные сопротивления вида: $Z = R + jX$. В одну диагональ включают источник переменного напряжения, в другую - индикатор переменного напряжения - осциллографические индикаторы, вибрационные гальванометры, головные телефоны, избирательные вольтметры. Равновесие моста достигается при условии равенства произведения комплексных сопротивлений противолежащих плеч; $Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3$. Это условие можно представить иначе, записав выражение полных сопротивлений в показательной форме $Z = |Z| e^{j\varphi}$ где: $|Z_1|, |Z_2|, |Z_3|, |Z_4|$ - модули полных сопротивлений, а $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ - фазовые сдвиги между током и напряжением в соответствующих плечах. Следовательно равенство $Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3$ распадается на 2 условия: 1) $|Z_1| \cdot |Z_4| = |Z_2| \cdot |Z_3|$ 2) $\varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3$, следовательно мост переменного тока нужно уравнивать регулировкой активной и реактивной составляющих плеч, то есть равновесие моста переменного тока осуществляется по модулям и по фазам. Второе уравнение показывает, каким по характеру должны быть сопротивления плеч мостовой схемы, чтобы обеспечить равновесие. Если в двух смежных плечах включены активные сопротивления (например φ_1 и φ_2 равны нулю), то в двух других смежных плечах должны быть включены сопротивления одного характера, то есть индуктивности или емкости. Если в двух противоположных плечах включены активные сопротивления (например $\varphi_1 = 0, \varphi_4 = 0$), то в двух других противоположных плечах необходимо включить разные по характеру сопротивления: в одно плечо - индуктивность, в другое - емкость.

2.4 Мосты для измерения емкости и tg d.

Реальный конденсатор можно представить и последовательной и параллельной схемой замещения. При малых потерях в диэлектрике применяют последовательную схему замещения, а при больших потерях - параллельную схему. Схемы мостов для измерения C и $\tan \delta$ выглядят;

7 Из условия равновесия моста для схемы (6) мы имеем: $(R_x - j/w \cdot C_x) \cdot R_4 = (R_3 - j/w \cdot C_3) \cdot R_2$ $R_x = (R_3 \cdot R_2) / R_4$ $C_x = (C_3 \cdot R_4) / R_2$ $\tan \delta = w \cdot R_x \cdot C_x = w$

*R3*C3 Для схемы с параллельным соединением условие равновесия запишется: $(1/R_x + 1/j\omega * C_x) * R_4 = (1/R_3 + 1/j\omega * C_3) * R_2$ откуда: $R_x = (R_3 * R_4) / R_2$ $C_x = (C_3 * R_2) / R_4$ $\text{tg} \delta = 1/\omega * R_3 * C_3$

2.5 Мосты для измерения индуктивности взаимной индуктивности катушек и Q. В таких мостах в качестве плеча сравнения может быть использована или образцовая катушка или образцовый конденсатор, поэтому схемы таких мостов имеют такой вид: 8

Для данной схемы условие равновесия: Приравнявая отдельно действительные и мнимые части уравнения получим: Так как имеются трудности в изготовлении образцовых катушек с малыми потерями, в мостах переменного тока для измерения индуктивностей, чаще применяются в качестве образцовой меры конденсаторы и схема имеет вид: Условие равновесия для данной схемы: откуда: 9

Данные схемы могут быть использованы для измерения взаимной индуктивности между двумя катушками. Для этого катушки включаются в плечо моста L_x и взаимная индуктивность M измеряется методом двукратного измерения. В первом случае катушки соединяются согласовано и измеряется их общая индуктивность $L = L_1 + L_2 + 2 * M$ (1) Согласованное включение катушек. В о втором случая катушки включаются встречно и вновь измеряется их общая индуктивность $L = L_1 + L_2 - 2 * M$ (2) Встречное включение катушек. Затем вычитая из выражения (2) выражение (1) получаем $M = (L - L) / 4$ Согласована 10 3.

Резонансный метод 3.1 Общие сведения Принцип резонансного метода - заключается в определении резонансной частоты колебательного контура, состоящего из образцового и измеряемого элементов. Значение измеряемого параметра вычисляется из формулы: $f = 1/(2\pi L * C)$ На основе резонансного метода разработаны и выпускаются приборы для измерения параметров элементов схем в диапазоне рабочих частот от 1 кГц до 300 МГц. К удобным и распространенным приборам относятся измерители добротности и емкости с двумя генераторами.

3.5 Структурная схема измерителя добротности Любой измеритель добротности (рис. /5) состоит из генератора высокой частоты Г, измерительного контура и индикатора резонанса-электронного вольтметра Q. Генератор позволяет устанавливать нужное значение частоты по шкале. Измерительный контур образуется исследуемой L_x или вспомогательной (образцовой) катушкой и образцовым конденсатором $C_{обр}$ с градуированной шкалой.

3.6 Измерение индуктивности катушки Катушку с индуктивностью L_x и сопротивлением потерь R_x присоединяют к зажимам 1,2 (рис.12). Изменением частоты генератора и емкости образцового конденсатора добиваются резонанса и считывают показания Од и $C_{обр}$. полученное значение добротности здесь действующее, 11 так как эквивалентная схема катушки соответствует рис. 7. Затем вычисляют реактивное сопротивление, индуктивность и сопротивление потерь: Для определения истинных значений L , R_L и Q удобно пользоваться следующими формулами, вытекающими из формул:

3.7 Измерение емкости конденсатора Схема измерительного контура остается прежней (рис12), но вместо измеряемой катушки включают любую вспомогательную катушку. Если значение измеряемой емкости не выходит за пределы перекрытия емкости образцовым конденсатором, то, установив $C_{обр1}$ вблизи максимального значения, изменяя частоту генератора, настраивают

контур в резонанс. Записывают точный отсчет по шкале C $C_{обр1}$. Затем параллельно образцовому конденсатору (к зажимам 3,4) подключают измеряемый C_x и, не меняя частоты генератора, настраивают контур в резонанс изменением емкости образцового конденсатора. Записывают значение $C_{обр2}$. Очевидно, что при вторичной настройке неизвестная емкость замещена изменением емкости образцового конденсатора, поэтому $C_x = C_{обр1} - C_{обр2}$. Если емкость измеряемого конденсатора больше максимальной емкости образцового, то измеряемый конденсатор включают последовательно с вспомогательной катушкой индуктивности; контур настраивают в резонанс изменением частоты генератора при максимальном значении $C_{обр1}$. Затем измеряемый конденсатор отключают и вновь настраивают контур образцовым конденсатором на ту же частоту f ; записывают значение $C_{обр2}$. Измеряемая ёмкость $C_x = (C_{обр1} - C_{обр2}) / (C_{обр1} - C_{обр2})$.

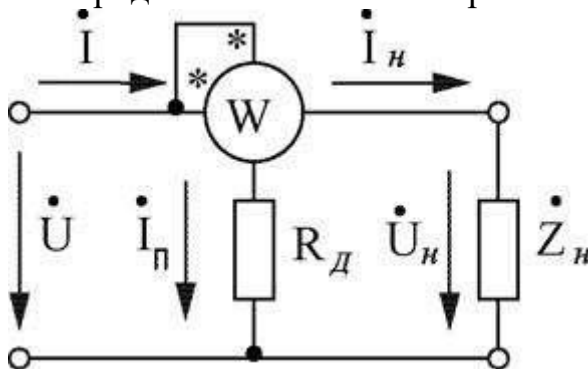
Практическая работа №12-14

Измерение мощности в однофазной цепи и трехфазной цепи

Цель работы: Изучить способы измерения мощности

Измерение мощности в цепях постоянного тока возможно косвенным методом при помощи амперметра и вольтметра, так как $P = UI$, а в цепях переменного тока при помощи амперметра, вольтметра и фазометра с расчётом активной мощности по формуле $P = UI \cos \varphi$. Однако в этих случаях измерение мощности связано с вычислением по отсчётам двух или трёх приборов, что снижает точность и усложняет процесс измерения.

Измерение мощности в цепях постоянного и переменного токов промышленной частоты осуществляется **ваттметрами**, обычно с электродинамическими измерительными механизмами.



Электродинамические ваттметры выпускаются в виде переносных приборов высоких классов точности (0,1; 0,5).

Для измерения мощности на высоких частотах применяются термоэлектрические и электронные ваттметры, представляющие собой магнитоэлектрический измерительный механизм, снабженный преобразователем активной мощности в постоянный ток.

На рис.1. показана схема включения в цепь переменного тока электродинамического ваттметра для измерения активной мощности,

приемника или потребителя с сопротивлением нагрузки Z_n . Подвижная катушка включается последовательно с добавочным резистором R_d параллельно приемнику.

Угол отклонения стрелки электродинамического измерительного прибора

$$\alpha = k P,$$

где k — масштабные коэффициенты.

Таким образом, шкалу электродинамического ваттметра можно проградуировать в единицах измерения активной мощности.

Измерение активной мощности в трехфазных цепях. Активную мощность можно измерить при помощи одного, двух или трех приборов в зависимости от схемы соединения фаз потребителя и симметрии нагрузки. Рассмотрим соответствующие схемы включения.

Активная мощность трехфазного потребителя, фазы которого соединены звездой, равна сумме мощностей отдельных фаз:

$$P = P_A + P_B + P_C = U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C$$

Из этого выражения видно, что, измерив активную мощность каждой из фаз и просуммировав показания, можно определить активную мощность трехфазного потребителя. Такой метод измерения называется методом трех ваттметров. Наиболее часто он применяется для измерения мощности в трехфазной четырехпроводной несимметричной системе (Рис. 2).

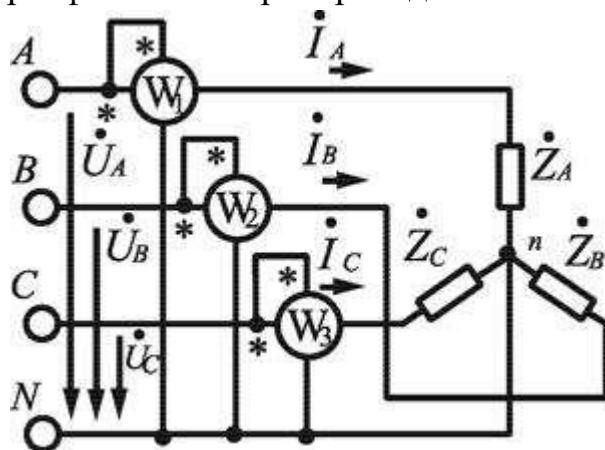
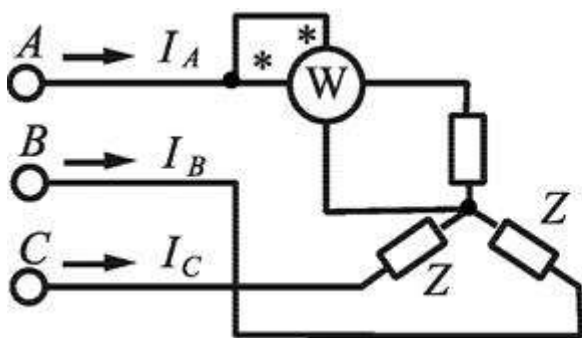


Рис. 2. Схема включения ваттметров в трёхфазной цепи

В частном случае симметричного трехфазного приёмника $P_A + P_B + P_C$ и $P = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi_{\phi}$. Поэтому в симметричной трёхфазной цепи измерение активной мощности может быть выполнено одним прибором (Рис. 3).



а б

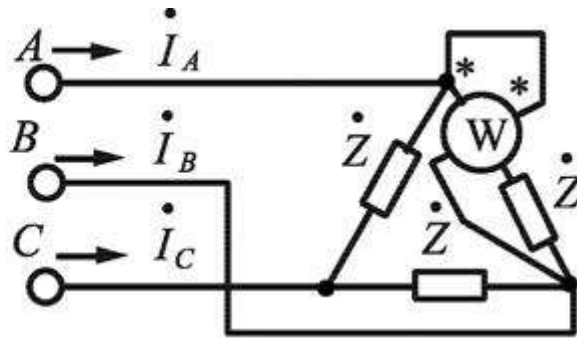


Рис. 3. Схема измерения мощности симметричного приёмника

При соединении симметричного приемника треугольником также достаточно измерить мощность в одной фазе (Рис. 3, б); общая мощность равна утроенному показанию ваттметра.

Как известно, мощность любой трехфазной системы (вне зависимости от схемы соединения приемников) равна сумме мощностей отдельных фаз или мощности источника питания (генератора, трансформатора). Для мгновенных значений мощности трёхпроводной трехфазной цепи будет справедливо выражение:

$$P = P_A + P_B + P_C = u_A i_A + u_B i_B + u_C i_C,$$

где P_A, P_B, P_C — мгновенные значения мощностей отдельных фаз; $u_A, u_B, u_C, i_A, i_B, i_C$ — мгновенные значения фазных напряжений и токов источника питания, фазы которого будем считать соединенными звездой, так что фазные токи равны линейным.

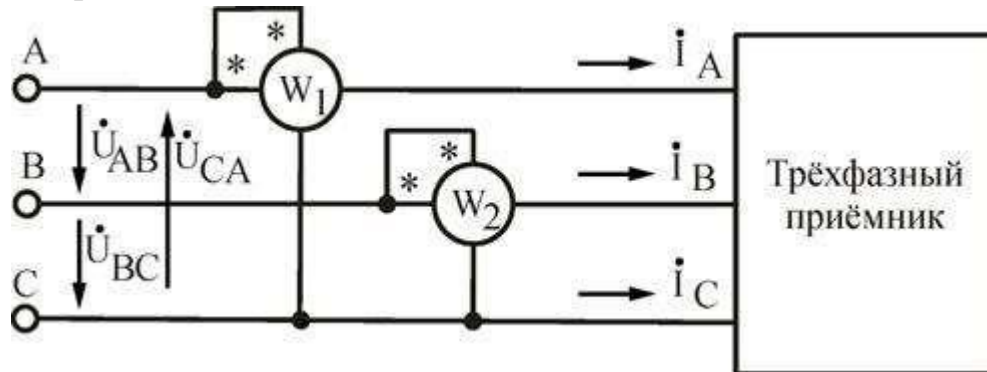


Рис. 4. Схема измерения мощности двумя ваттметрами

Выразив согласно закону Кирхгофа значения фазных токов i_A, i_B, i_C в виде $i_A = -(i_B + i_C), i_B = -(i_A + i_C), i_C = -(i_A + i_B)$ и подставив эти значения поочередно в вышеприведённое уравнение, после преобразований получим

$$P = u_{AC} i_A + u_{BC} i_C = u_{AB} i_A + u_{CB} i_C = u_{BA} i_B + u_{CA} i_C,$$

$$\text{где } u_{AC} = u_A - u_C, u_{BC} = u_B - u_C,$$

$u_{AB} = u_A - u_B$ — мгновенные значения линейных напряжений.

Переходя к средней, т. е. активной, мощности источника и равной активной мощности приемника, имеем

$$P = U_{AC} I_A \cos \psi_A + U_{BC} I_B \cos \psi_B = U_{AB} I_A + U_{CB} I_C \cos \psi_C = U_{BA} I_B \cos \psi_B + U_{CA} I_C \cos \psi_C,$$

где ψ_A, ψ_B, ψ_C — углы сдвига фаз между линейными напряжениями и токами; $I_A, I_B, I_C, U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$ — действующие значения линейных токов и напряжений.

Таким образом, активная мощность трёхфазной системы равна алгебраической сумме показаний двух ваттметров: $P = P_{W1} + P_{W2}$. На рис. 4. представлена одна из трёх возможных схем включения двух приборов для измерения активной мощности. Метод двух ваттметров применяется для измерения активной мощности в несимметричных трехпроводных трехфазных цепях.