

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Амурский государственный университет»

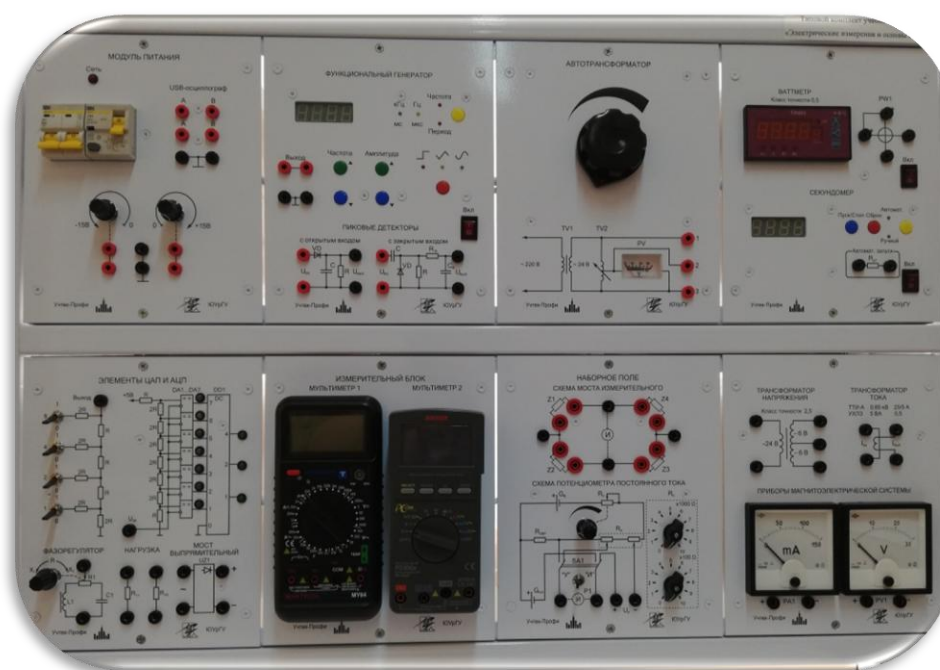
О.В. Скрипко, Н.С. Бодруг

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

*Методические указания
к лабораторным работам*

Часть 2

по направлениям «Электроэнергетика и электротехника», «Автоматизация технологических процессов и производств»



Благовещенск
Издательство АмГУ
2021

ББК 31.21
УДК 621.3.01

*Печатается по решению
редакционно-издательского
совета
Амурского государственного
университета*

Рецензент:

*Кострыкина Светлана Александровна – канд. техн. наук, доцент кафедры
ТПиООП ФГБОУ ВО «Дальневосточ-
ный государственный аграрный уни-
верситет»*

Скрипко О.В., Бодруг Н.С.

Метрология, стандартизация и сертификация. Часть 2: метод. указания к лабораторным работам / О.В. Скрипко, Н.С. Бодруг. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2021. – 44 с.

Методические указания предназначены для подготовки бакалавров очной и заочной форм обучения по направлениям подготовки «Электроэнергетика и электротехника» и «Автоматизация технологических процессов и производств».

Даны методические указания к выполнению пяти лабораторных работ по метрологии, стандартизации и сертификации с описанием теоретической части и требованиями к отчетности.

В авторской редакции.

©Амурский государственный университет, 2021

© Скрипко О.В, 2021

© Бодруг Н.С., 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.....	7
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЛАБОРАТОРНОМ СТЕНДЕ.....	7
<i>Лабораторная работа № 1. ИЗМЕРЕНИЯ АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ НАГРУЗКИ</i>	8
<i>Лабораторная работа № 2. ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ НАГРУЗКИ</i>	15
<i>Лабораторная работа № 3. ИЗМЕРЕНИЕ АМПЛИТУДЫ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ДИОДНЫХ АМПЛИТУДНЫХ ДЕТЕКТОРОВ.....</i>	21
<i>Лабораторная работа № 4. ИЗУЧЕНИЕ ЦИФРО-АНАЛОГОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ МАТРИЦЫ R-2R.....</i>	31
<i>Лабораторная работа № 5. ИЗУЧЕНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ.....</i>	37
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	43

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторная работа – существенный элемент учебного процесса в вузе, в ходе которого обучающиеся сталкиваются с самостоятельной практической деятельностью в конкретной области. Лабораторные занятия являются средним звеном между углубленной теоретической работой обучающихся на лекциях, семинарах и применением знаний на практике. Эти занятия удачно сочетают элементы теоретического исследования и практической работы.

Целью лабораторных занятий является:

- углубление и закрепление знания теоретического курса путем практического изучения в лабораторных условиях изложенных в лекциях законов и положений;
- приобретение навыков в научном экспериментировании, анализе полученных результатов;
- формирование первичных навыков организации, планирования и проведения научных исследований.

Методические указания к выполнению лабораторных работ

1. К выполнению работы необходимо подготовиться до начала занятия в лаборатории. Кроме описания работы в данном учебном пособии, используйте рекомендованную литературу и конспект лекций. При подготовке полезно продумывать ответы на контрольные вопросы. К выполнению работы допускаются только подготовленные студенты.

2. Перед подачей напряжения на комплект перевести ручку регулировки модуля «Модуль питания» влево до упора.

3. При проведении эксперимента результаты измерений и расчетов записывайте четко и кратко в заранее подготовленные таблицы.

4. При обработке результатов измерений:

- а) помните, что точность расчетов не может превышать точности резуль-

татов прямых измерений;

б) результаты измерений записывайте в виде доверительного интервала.

5. Отчеты по лабораторным работам оформляются согласно требованиям единого стандарта конструкторской документации (ЕСКД) и должны включать в себя следующие пункты:

- дата выполнения лабораторной работы, список студентов выполнявших данную лабораторную работу;

- черновик с измерениями, выполненными в лаборатории, подписанный преподавателем;

- название лабораторной работы и её цель;

- используемое оборудование;

- ход выполнения лабораторной работы;

- исходные данные (схемы, значения параметров, типы устройств и элементов),

- таблицы измерений и расчётных данных;

- краткие выводы по каждой работе, анализ полученных данных;

- обобщающий вывод по всей лабораторной работе – краткое заключение о результатах работы, согласующееся с ее целью. Вывод включает в себя:

а) основные численные результаты работы;

б) погрешность измерений, в случае относительной погрешности более 15 % обязательны анализ и указание причин, приведших к снижению точности эксперимента;

в) анализ результатов:

- сравнение опытных зависимостей (графиков) с теоретическими;

- сравнение полученных экспериментальных значений с табличными (с обязательными ссылками на источники информации);

- сопоставление их расхождений с точностью измерений;

- список литературы.

К выполнению следующей лабораторной работы без сдачи отчета о пре-

дыдущей студент не допускается.

Предварительная подготовка к проведению лабораторных работ

1. Перед началом лабораторной работы необходимо тщательно изучить её описание и подробно ознакомиться со схемой соединения лабораторного оборудования.

2. Начертить принципиальную схему лабораторной работы в тетради. Продумать, каким образом производить коммутацию между элементами схемы, разобраться в их назначении, уяснить работу схемы и ее элементов.

3. Вычертить монтажную схему с указанием мест подключения переключателей или составить таблицу соединений, согласно которой будет производиться коммутация элементов.

4. **Сборку схемы производить только при отключенной питающей сети!** После окончания сборки тщательно проверить правильность соединений. Убедиться в отсутствии коротких замыканий в монтаже схемы и обратиться к преподавателю за разрешением на проведение лабораторной работы.

5. Приступая к работе, следует установить все тумблеры в нижнее положение, соответствующее их отключенному состоянию, рукоятки регуляторов - в минимальное положение.

6. При проведении работы необходимо следить за тем, чтобы величины измеряемых параметров не выходили за пределы диапазона измерения приборов.

7. Если во время проведения опыта замечены какие-либо неисправности оборудования, следует немедленно сообщить об этом преподавателю или техническому персоналу;

8. После выполнения измерений, полученные результаты предоставляются преподавателю и только после проверки им таблицы с экспериментальными данными электрическую схему можно разбирать. Перед разборкой схемы необходимо выключить источники питания;

9. По завершению занятий рабочее место приводится в порядок.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Металлические части лабораторного комплекта могут, при повреждении основной изоляции, оказаться под опасным для жизни человека напряжением. В связи с чем запрещается самостоятельно снимать кожухи модулей комплекта и производить электромонтажные работы.
2. Подавать питание на комплект следует только после проверки правильности собранной схемы преподавателем или лаборантом.
3. При выполнении лабораторных работ **запрещается** производить какие-либо действия на комплекте без допуска к выполнению данной работы.
4. **Запрещается** подавать питание на комплект несоединенный с контуром рабочего заземления помещения лаборатории.
5. **Запрещается** подключать к комплекту оборудование непредусмотренное техническим описанием и методическими указаниями.
6. **Запрещается** производить какие-либо переключения на комплекте при включенном питании (кроме предусмотренных в методических указаниях к выполнению лабораторных работ).

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЛАБОРАТОРНОМ СТЕНДЕ

Типовой комплект учебного оборудования «Электрические измерения и основы метрологии» предназначен для применения в процессе обучения в высших и средних специальных учебных заведениях при изучении дисциплин «Метрология, стандартизация и сертификация», «Электрические измерения».

Технические параметры комплекта: Напряжение питания переменного тока, В – 220; Частота питающего напряжения, Гц – 50; Потребляемая мощность, не более, Вт – 100; Габаритные размеры, мм – 870x260x675; Масса, не более, кг – 30; Диапазон рабочих температур, °С – +10...+35; Относительная влажность воздуха, % – до 80. Дополнительно с работой лабораторного стенда

можно ознакомиться перейдя по ссылке:

<https://www.youtube.com/watch?v=w1hhTH2jDn8>.

Общий вид лабораторного стенда показан на рис. 1.

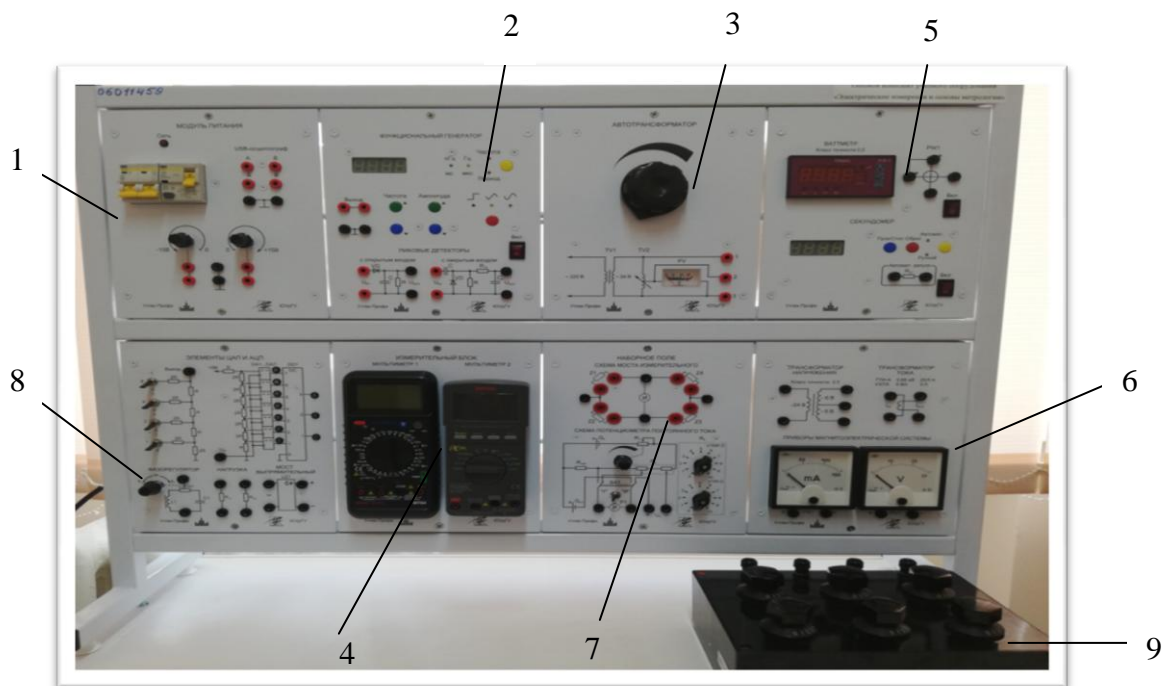


Рис. 1. Общий вид лабораторного стенда: 1 – Модуль «Модуль питания» (ручная версия); 2 – Модуль «Функциональный генератор. Пиковые детекторы»; 3 – Модуль «Автотрансформатор»; 4 – Модуль «Измерительный блок»; 5 – Модуль «Ваттметр. Секундомер»; 6 – Модуль «Электромеханические измерительные приборы. Трансформатор тока и напряжения»; 7 – Модуль «Схема моста измерительного. Схема потенциометра постоянного тока»; 8 – Модуль «Элементы ЦАП и АЦП»; 9 – Магазин сопротивлений

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ НАГРУЗКИ

Цель работы: ознакомиться с прямым методом измерения активной, реактивной и полной мощности, измерением полной мощности методом вольтметра и амперметра.

Оборудование: модуль «Элементы ЦАП и АЦП», модуль «Автотрансформатор», модуль «Измерительный блок», модуль «Ваттметр и секундомер», соединительные проводники.

Теоретическая часть

Протекание тока по электрической цепи сопровождается потреблением энергии от источника. Скорость поступления энергии характеризуется мощностью. Различают мгновенную, среднюю, активную, реактивную и кажущуюся (полную) мощности. Под мгновенной мощностью условились понимать произведение мгновенного значения напряжения u на участке цепи на мгновенное значение тока i , протекающего по этому участку:

$$P = ui$$

Под активной мощностью P понимают среднее значение мгновенной мощности за период времени T :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T ui \, dt$$

Если сила тока в цепи $i = I_m \sin \omega t$, а напряжение на измеряемом участке $u = U_m \sin (\omega t + \varphi)$, то

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T I_m U_m \sin(\omega t + \varphi) \sin \omega t \, dt = UI \cos \varphi$$

где U, I - действующее значение напряжения и тока соответственно;

φ - угол сдвига фаз между током и напряжением;

U_m, I_m - амплитудные значения напряжения и тока соответственно.

Активная мощность представляет собой энергию, которая выделится в единицу времени в виде тепла на сопротивлении R . Активная мощность измеряется в ваттах.

Под реактивной мощностью понимают произведение напряжения U , тока

I и синуса угла φ между ними:

$$Q = UI \sin \varphi$$

Реактивную мощность принято измерять в вольт-амперах реактивных (вар). Реактивная мощность характеризует собой электромагнитную энергию, которой обмениваются между собой генератор и приемник.

Кажущаяся (полная) мощность S равна произведению:

$$S = UI$$

В лабораторной работе активная, реактивная и полная мощность измеряется цифровым ваттметром. Также полная мощность измеряется косвенным методом (перемножение показаний вольтметра и амперметра).

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить теоретический материал необходимый для выполнения лабораторной работы. Ответить на контрольные вопросы и получить у преподавателя допуск к проведению лабораторной работы.

2. Согласно схеме (рис. 2) выполнить электрические соединения модулей для измерения мощности. **Монтаж схемы производить при отключенном питании.**

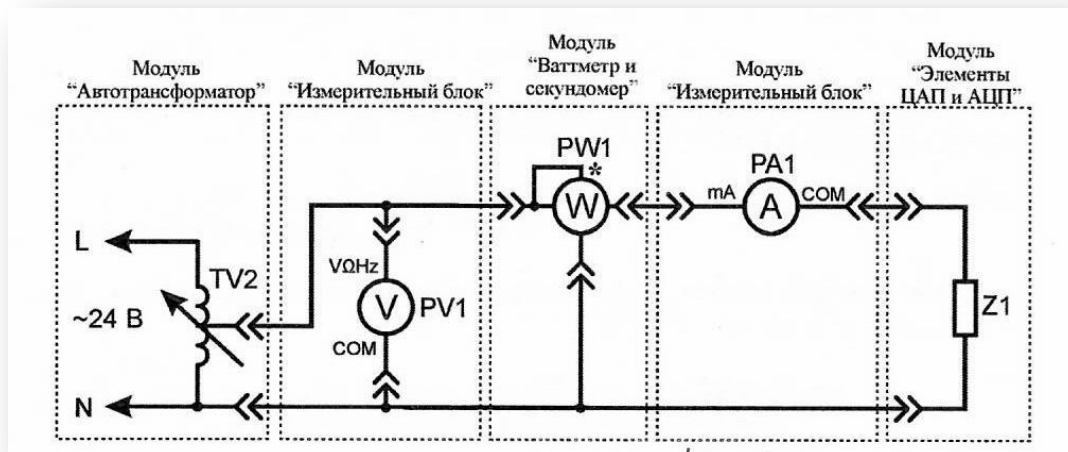


Рис. 2. Схема электрическая соединений лабораторных модулей для измерения мощности в цепи однофазного переменного тока

Использовать:

- $PA1$ - мультиметр 2 (*Sanwa PC500*) модуля «Измерительный блок» в режиме измерения переменного тока;
- $PV1$ - мультиметр 1 (*Mastech MY64*) модуля «Измерительный блок» в режиме измерения переменного напряжения до 200 В;
- $PW1$ - ваттметр модуля «Ваттметр и секундомер» (режимы измерения ваттметра переключаются нажатием кнопки \triangleleft);
- $TV2$ - автотрансформатор модуля «Автотрансформатор»;
- $Z1$ - сопротивление нагрузки, в качестве которого используется активное сопротивление R_{HI} и фазорегулятор модуля «Элементы ЦАП и АЦП».

Подключить нагрузочный резистор R_{HI} модуля «Элементы ЦАП и АЦП» в качестве сопротивления $Z1$ (рис. 2).

3. Включить автоматический выключатель и выключатель дифференциального тока «Сеть» модуля «Модуль питания». Включить мультиметры. Включить ваттметр $PW1$. Увеличивая выходное напряжение автотрансформатора $TV2$ от 0 В до 24 В (ручкой регулировки выходного напряжения автотрансформатора модуля «Автотрансформатор»), заносить показания вольтметра $PV1$, амперметра $PA1$ и ваттметра $PW1$ (P_{PW1} - в режиме измерения активной мощности, Q_{PW1} - в режиме измерения реактивной мощности, S_{PW1} - в режиме измерения полной мощности) в табл. 1. Провести не менее 10 измерений.

Таблица 1

Тип нагрузки	№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Активная	$I_{PA1_{ум}}$, А										
	$U_{PV1_{ум}}$, В										
	$P_{PW1_{ум}}$, Вт										
	$Q_{PW1_{ум}}$, Вар										
	$S_{PW1_{ум}}$, ВА										
	$I_{PA1_{уг}}$, А										
	$U_{PV1_{уг}}$, В										
	$P_{PW1_{уг}}$, Вт										
	$Q_{PW1_{уг}}$, Вар										
	$S_{PW1_{уг}}$, ВА										

$I_{PA1_{y\delta}}$ – показания амперметра PAI при увеличении тока в цепи;
 $I_{PA1_{y\mu}}$ – показания амперметра PAI при уменьшении тока в цепи;
 $U_{PV1_{y\delta}}$ – показания вольтметра PVI при увеличении тока в цепи;
 $U_{PV1_{y\mu}}$ – показания вольтметра PVI при уменьшении тока в цепи;
 $P_{PW1_{y\delta}}$ – показания ваттметра PWI при увеличении тока в цепи;
 $P_{PW1_{y\mu}}$ – показания ваттметра PWI при уменьшении тока в цепи;
 $Q_{PW1_{y\delta}}$ – показания ваттметра PWI при увеличении тока в цепи;
 $Q_{PW1_{y\mu}}$ – показания ваттметра PWI при уменьшении тока в цепи;
 $S_{PW1_{y\delta}}$ – показания ваттметра PWI при увеличении тока в цепи;
 $S_{PW1_{y\mu}}$ – показания ваттметра PWI при уменьшении тока в цепи.

4. Уменьшая выходное напряжение автотрансформатора $TV2$ от 24 В до 0 В (ручкой регулировки выходного напряжения автотрансформатора модуля «Автотрансформатор»), заносить показания вольтметра PVI , амперметра PAI и ваттметра PWI (P_{PW1} - в режиме измерения активной мощности, Q_{PW1} - в режиме измерения реактивной мощности, S_{PW1} - в режиме измерения полной мощности) в табл. 1. Провести не менее 10 измерений при тех же значениях напряжения $U_{PV1_{y\delta}}$ (табл. 1).

5. Отключить питание стенда автоматическим выключателем и выключателем дифференциального тока «Сеть» модуля «Модуль питания». Подключить фазорегулятор в качестве сопротивления нагрузки ZI и повернуть ручку регулировки фазорегулятора (вида нагрузки) против часовой стрелки до упора (активноиндуктивный характер).

6. Включить автоматический выключатель и выключатель дифференциального тока «Сеть» модуля «Модуль питания». Включить мультиметры. Включить ваттметр PWI . Увеличивая выходное напряжение автотрансформатора $TV2$ от 0 В до 24 В (поворачивая ручку регулировки выходного напряжения автотрансформатора модуля «Автотрансформатор»), заносить показания

вольтметра PVI , амперметра PAI и ваттметра PWI (P_{PW1} - в режиме измерения активной мощности, Q_{PW1} - в режиме измерения реактивной мощности, S_{PW1} - в режиме измерения полной мощности) в табл. 2. Провести не менее 10 измерений.

Таблица 2

Тип нагрузки	№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Активно-индуктивная	$I_{PA1_{ум}}$, А										
	$U_{PVI_{ум}}$, В										
	$P_{PW1_{ум}}$, Вт										
	$Q_{PW1_{ум}}$, Вар										
	$S_{PW1_{ум}}$, ВА										
	$I_{PA1_{уб}}$, А										
	$U_{PVI_{уб}}$, В										
	$P_{PW1_{уб}}$, Вт										
	$Q_{PW1_{уб}}$, Вар										
	$S_{PW1_{уб}}$, ВА										

$I_{PA1_{уб}}$ – показания амперметра PAI при увеличении тока в цепи;

$I_{PA1_{ум}}$ – показания амперметра PAI при уменьшении тока в цепи;

$U_{PVI_{уб}}$ – показания вольтметра PVI при увеличении тока в цепи;

$U_{PVI_{ум}}$ – показания вольтметра PVI при уменьшении тока в цепи;

$P_{PW1_{уб}}$ – показания ваттметра PWI при увеличении тока в цепи;

$P_{PW1_{ум}}$ – показания ваттметра PWI при уменьшении тока в цепи;

$Q_{PW1_{уб}}$ – показания ваттметра PWI при увеличении тока в цепи;

$Q_{PW1_{ум}}$ – показания ваттметра PWI при уменьшении тока в цепи;

$S_{PW1_{уб}}$ – показания ваттметра PWI при увеличении тока в цепи;

$S_{PW1_{ум}}$ – показания ваттметра PWI при уменьшении тока в цепи.

7. Уменьшая выходное напряжение автотрансформатора $TV2$ от 24 В до 0 В (поворачивая ручку регулировки выходного напряжения автотрансформатора модуля «Автотрансформатор»), заносить показания вольтметра PVI , амперметра PAI и ваттметра PWI (P_{PWI} - в режиме измерения активной мощности,

Q_{PW1} - в режиме измерения реактивной мощности, S_{PW1} - в режиме измерения полной мощности) в табл. 2. Провести не менее 10 измерений при тех же значениях напряжения $U_{PV1_{y\delta}}$ (табл. 1).

8. После завершения экспериментов и проверки результатов преподавателем необходимо разобрать схему, предоставить комплект в полном составе и исправности преподавателю или лаборанту.

Обработка результатов

1. Используя данные табл. 1-2 рассчитать средние значения силы тока, напряжения и мощности для цепей с активной и активно-индуктивной нагрузками, для каждого пункта измерения по формулам:

$$I_{PA1} = \frac{I_{PA1_{y\delta}} + I_{PA1_{y\mu}}}{2}$$

$$U_{PV1} = \frac{U_{PV1_{y\delta}} + U_{PV1_{y\mu}}}{2}$$

$$P_{PW1} = \frac{P_{PW1_{y\delta}} + P_{PW1_{y\mu}}}{2}$$

$$Q_{PW1} = \frac{Q_{PW1_{y\delta}} + Q_{PW1_{y\mu}}}{2}$$

$$S_{PW1} = \frac{S_{PW1_{y\delta}} + S_{PW1_{y\mu}}}{2}$$

Полученные значения занести в соответствующие ячейки табл. 3.

2. Используя результаты измерения тока I_{PA1} и напряжения U_{PV1} (табл. 3) рассчитать значение полной мощности, для каждого пункта измерения по формуле:

$$S_{UI} = U_{PV1} I_{PA1}$$

Полученные значения занести в соответствующие ячейки табл. 3.

Таблица 3

Тип нагрузки	№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Активная	I_{PA1} , А										
	U_{PV1} , В										
	P_{PW1} , Вт										
	Q_{PW1} , Вар										
	S_{PW1} , ВА										
	S_{UI} , ВА										
Активно-индуктивная	I_{PA1} , А										
	U_{PV1} , В										
	P_{PW1} , Вт										
	Q_{PW1} , Вар										
	S_{PW1} , ВА										
	S_{UI} , ВА										

3. Используя данные табл. 3 сравнить значения полной мощности S_{PW1} измеренной прямым методом и полной мощности S_{UI} измеренной методом амперметра и вольтметра при различных видах нагрузки. Сравнить соотношение значений активной P_{PW1} и реактивной Q_{PW1} мощности при различных видах нагрузки, сделать вывод. Обратите внимание, что в цепи с активной нагрузкой полная мощность должна быть равна активной мощности.

Контрольные вопросы

1. Что характеризует электрическая мощность в цепи с нагрузкой?
2. Приведите определение активной, реактивной и полной мощности.
3. Какими методами в лабораторной работе измеряется полная, активная и реактивная мощности?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ НАГРУЗКИ

Цель работы: ознакомиться с прямым и косвенным методом измерения коэффициента мощности в цепях переменного напряжения при различных ви-

дах нагрузки.

Оборудование: модуль «Элементы ЦАП и АЦП», модуль «Автотрансформатор», модуль «Измерительный блок», модуль «Ваттметр и секундомер», соединительные проводники.

Теоретическая часть

Перед проведением лабораторной работы необходимо изучить теоретическую часть к лабораторной работе № 1.

Коэффициент мощности - безразмерная физическая величина, являющаяся энергетической характеристикой электрического тока. Коэффициент мощности характеризует приёмник электроэнергии переменного тока. Коэффициент мощности равен отношению потребляемой электроприёмником активной мощности к полной мощности. Активная мощность расходуется на совершение работы.

Коэффициент мощности математически можно интерпретировать как косинус угла между векторами тока и напряжения, поэтому при синусоидальном напряжении и токе величина коэффициента мощности совпадает с косинусом угла, на который отстают соответствующие фазы.

В электроэнергетике для коэффициента мощности приняты обозначения $\cos\varphi$ (где φ - угол сдвига фаз между силой тока и напряжением), либо λ . Если для обозначения коэффициента мощности используется λ , значение коэффициента мощности обычно выражают в процентах.

При наличии реактивной составляющей в нагрузке, кроме значения коэффициента мощности, указывают характер нагрузки: активно-ёмкостный или активно-индуктивный. В этом случае коэффициент мощности соответственно называют опережающим или отстающим.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить теоретический материал необходимый для выполнения лабораторной работы. Ответить на контрольные вопросы и получить у преподавате-

ля допуск к проведению лабораторной работы.

2. Согласно схеме (рис. 3) выполнить электрические соединения модулей для измерения коэффициента мощности. **Монтаж производить при отключенном питании стенда.**

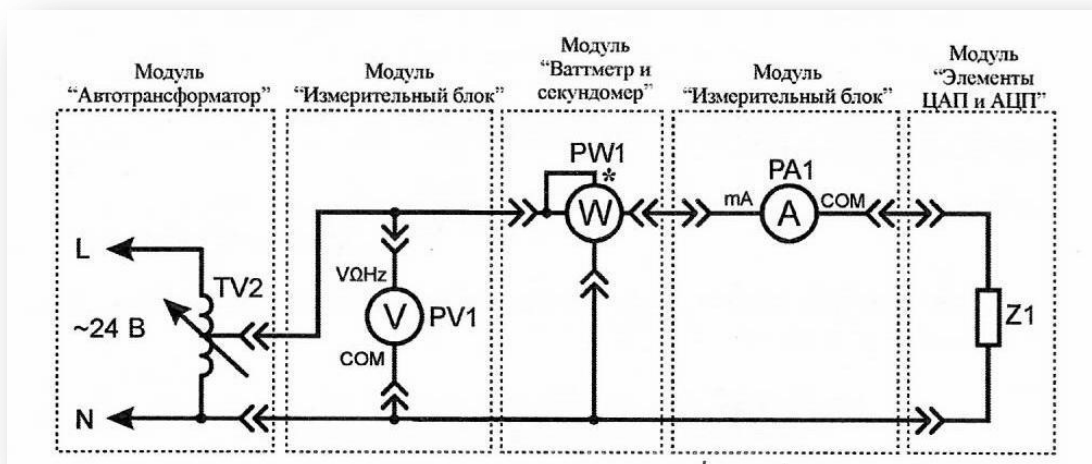


Рис. 3. Схема электрическая соединений лабораторных модулей для измерения коэффициента мощности в цепи однофазного переменного тока

Использовать:

- *PA1* - мультиметр 2 (*Sanwa PC500*) модуля «Измерительный блок» в режиме измерения переменного тока;
- *PV1* - мультиметр 1 (*Mastech MY64*) модуля «Измерительный блок» в режиме измерения переменного напряжения до 200 В;
- *PW1* - ваттметр модуля «Ваттметр и секундомер» (режимы измерения ваттметра переключаются нажатием кнопки \triangleleft);
- *TV2* - автотрансформатор модуля «Автотрансформатор»;
- *Z1* - сопротивление нагрузки, в качестве которого используется фазорегулятор модуля «Элементы ЦАП и АЦП».

Повернуть ручку регулировки фазорегулятора (вида нагрузки) по часовой стрелке до упора (активно-емкостной характер нагрузки).

3. Включить автоматический выключатель и выключатель дифференциального тока «Сеть» модуля «Модуль питания». Включить мультиметры.

Включить ваттметр $PW1$. Увеличивая выходное напряжение автотрансформатора $TV2$ от 0 В до 24 В (ручкой регулировки выходного напряжения автотрансформатора модуля «Автотрансформатор»), заносить показания вольтметра $PV1$, амперметра $PA1$ и ваттметра $PW1$ (P_{PW1} - в режиме измерения активной мощности, $\cos\varphi_{PW1}$ - в режиме измерения коэффициента мощности) в соответствующие ячейки табл. 4. Провести не менее 10 измерений.

Таблица 4

Тип нагрузки	Величина	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Активная	$I_{PA1_{ум}}$, А										
	$U_{PV1_{ум}}$, В										
	$P_{PW1_{ум}}$, Вт										
	$\cos\varphi_{PW1_{ум}}$										
	$I_{PA1_{уб}}$, А										
	$U_{PV1_{уб}}$, В										
	$P_{PW1_{уб}}$, Вт										
	$\cos\varphi_{PW1_{уб}}$										
Активно-индуктивная	$I_{PA1_{ум}}$, А										
	$U_{PV1_{ум}}$, В										
	$P_{PW1_{ум}}$, Вт										
	$\cos\varphi_{PW1_{ум}}$										
	$I_{PA1_{уб}}$, А										
	$U_{PV1_{уб}}$, В										
	$P_{PW1_{уб}}$, Вт										
	$\cos\varphi_{PW1_{уб}}$										
Активно-емкостная	$I_{PA1_{ум}}$, А										
	$U_{PV1_{ум}}$, В										
	$P_{PW1_{ум}}$, Вт										
	$\cos\varphi_{PW1_{ум}}$										
	$I_{PA1_{уб}}$, А										
	$U_{PV1_{уб}}$, В										
	$P_{PW1_{уб}}$, Вт										
	$\cos\varphi_{PW1_{уб}}$										

$I_{PA1_{уб}}$ - показания амперметра $PA1$ при увеличении тока в цепи;

$I_{PA1_{ум}}$ - показания амперметра $PA1$ при уменьшении тока в цепи;

$U_{PV1_{уб}}$ - показания вольтметра $PV1$ при увеличении тока в цепи;

$U_{PV1_{ум}}$ - показания вольтметра PVI при уменьшении тока в цепи;

$P_{PW1_{ув}}$ - показания ваттметра PWI при увеличении тока в цепи;

$P_{PW1_{ум}}$ - показания ваттметра PWI при уменьшении тока в цепи;

$\cos\varphi_{PW1_{ув}}$ - показания ваттметра PWI при увеличении тока в цепи;

$\cos\varphi_{PW1_{ум}}$ - показания ваттметра PWI при уменьшении тока в цепи.

4. Уменьшая выходное напряжение автотрансформатора $TV2$ от 24 В до 0 В (ручкой регулировки выходного напряжения автотрансформатора модуля «Автотрансформатор»), заносить показания вольтметра PVI , амперметра $PA1$ и ваттметра PWI (P_{PW1} - в режиме измерения активной мощности, $\cos\varphi_{PW1}$ - в режиме измерения коэффициента мощности) в соответствующие ячейки табл. 4. Провести не менее 10 измерений при тех же значениях напряжения $U_{PV1_{ув}}$ (табл. 4).

5. Изменить вид нагрузки на близкий к активному (среднее положение ручки регулировки фазорегулятора) и повторить измерения согласно п. 3-4.

6. Изменить вид нагрузки на активно-индуктивный (повернуть ручку регулировки фазорегулятора против часовой стрелки до упора) и повторить измерения согласно п. 3-4.

7. После завершения экспериментов и проверки результатов преподавателем необходимо разобрать схему, предоставить комплект в полном составе и исправности преподавателю или лаборанту.

Обработка результатов

1. Используя данные табл. 4 рассчитать средние значения силы тока, напряжения, активной мощности и коэффициента мощности для цепей с активной, активно-индуктивной и активно-емкостной нагрузками, для каждого пункта измерения по формулам:

$$I_{PA1} = \frac{I_{PA1_{ув}} + I_{PA1_{ум}}}{2}$$

$$U_{PV1} = \frac{U_{PV1_{y\delta}} + U_{PV1_{y\mu}}}{2}$$

$$P_{PW1} = \frac{P_{PW1_{y\delta}} + P_{PW1_{y\mu}}}{2}$$

$$\cos\varphi_{PW1} = \frac{\cos\varphi_{PW1_{y\delta}} + \cos\varphi_{PW1_{y\mu}}}{2}$$

Полученные значения занести в соответствующие ячейки табл. 5.

2. Используя результаты измерения тока I_{PA1} и напряжения U_{PV1} (табл. 4) рассчитать значения коэффициента мощности $\cos\varphi_{расч}$ при различных видах нагрузки, для каждого пункта измерения по формуле:

$$\cos\varphi_{расч} = \frac{P_{PW1}}{U_{PV1} I_{PA1}}$$

Полученные значения занести в соответствующие ячейки табл. 5

Таблица 5

Тип нагрузки	Величина	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Активная	I_{PA1} , А										
	U_{PV1} , В										
	P_{PW1} , Вт										
	$\cos\varphi_{PW1}$										
	$\cos\varphi_{расч}$										
Активно-индуктивная	I_{PA1} , А										
	U_{PV1} , В										
	P_{PW1} , Вт										
	$\cos\varphi_{PW1}$										
	$\cos\varphi_{расч}$										
Активно-емкостная	I_{PA1} , А										
	U_{PV1} , В										
	P_{PW1} , Вт										
	$\cos\varphi_{PW1}$										
	$\cos\varphi_{расч}$										

3. Используя данные табл. 5 сравнить значения коэффициента мощности $\cos\varphi_{PW1}$ измеренные ваттметром при различных видах нагрузки, сделать вывод. Сравнить значения коэффициента мощности $\cos\varphi_{PW1}$ измеренные ваттметром и расчетные $\cos\varphi_{расч}$ при различных видах нагрузки, сделать вывод.

Контрольные вопросы

1. Приведите определение коэффициента мощности, единицу измерения коэффициента мощности.
2. К какому значению стремится коэффициент мощности при активном, активно-индуктивном и активно-емкостном виде нагрузки.
3. Приведите формулу для определения коэффициента мощности при известной полной и активной мощности.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИЗМЕРЕНИЕ АМПЛИТУДЫ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ДИОДНЫХ АМПЛИТУДНЫХ ДЕТЕКТОРОВ

Цель работы: ознакомиться с основными схемами диодных амплитудных детекторов, изучить метод измерения амплитуды напряжения при помощи пикового детектора.

Оборудование: модуль «Модуль питания», модуль «Функциональный генератор. Пиковые детекторы», модуль «Измерительный блок», модуль «Автотрансформатор», соединительные проводники.

Теоретическая часть

Диодный амплитудный детектор (далее ДАД) преобразует измеряемое переменное напряжение в постоянное, причем значение постоянного напряжения равно амплитудному значению переменного.

В данной лабораторной работе рассмотрены два типа ДАД: с открытым и закрытым входом. В схеме ДАД с открытым входом (рис. 4), выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ определяется по формуле:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{т.вх}} + U_{\text{н.вх}}$$

где $U_{\text{т.вх}}$ - амплитудное значение переменной составляющей входного напряжения;

$U_{n.ox}$ - значение постоянной составляющей входного напряжения.

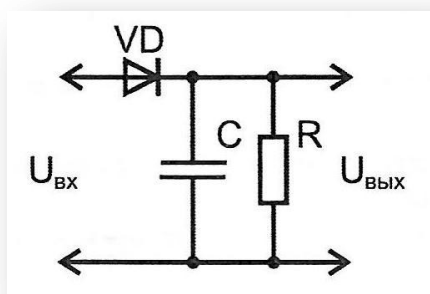


Рис. 4. Схема пикового детектора с открытым входом

В схеме ДАД с закрытым входом (рис. 5) выходное напряжение определяется амплитудным значением переменной составляющей входного напряжения, то есть $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{м.ВХ}}$.

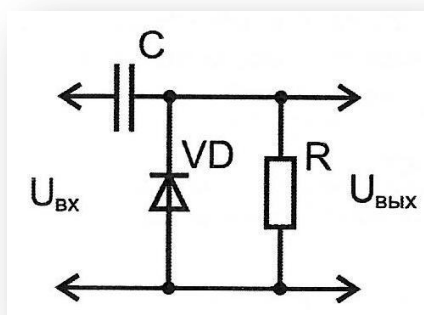


Рис. 5. Схема пикового детектора с закрытым входом

Так как в схеме пикового детектора с закрытым входом напряжение на выходе имеет большую переменную составляющую, по сравнению со схемой ДАД с открытым входом, на выходе применяют RC фильтр (рис. 6).

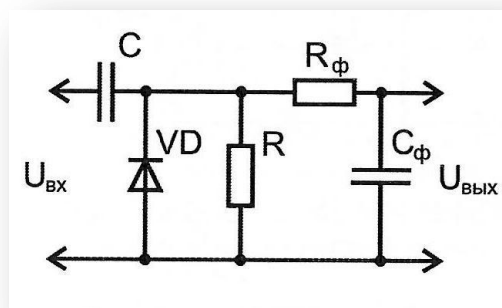


Рис. 6. Схема пикового детектора с закрытым входом и RC -фильтром

Также следует учитывать, что форма синусоидального напряжения в электрических сетях может несколько отличаться от формы идеальной синусоиды, что вносит некоторую погрешность при расчетах амплитудного значения напряжения (до 10%).

Порядок проведения лабораторной работы:

1. Изучить теоретический материал необходимый для выполнения лабораторной работы. Ответить на контрольные вопросы и получить у преподавателя допуск к проведению лабораторной работы.

2. Согласно схеме (рис. 7) выполнить электрические соединения модулей для измерения амплитуды переменного напряжения функционального генератора при помощи ДАД с открытым входом. **Монтаж схемы производить при отключенном питании.**

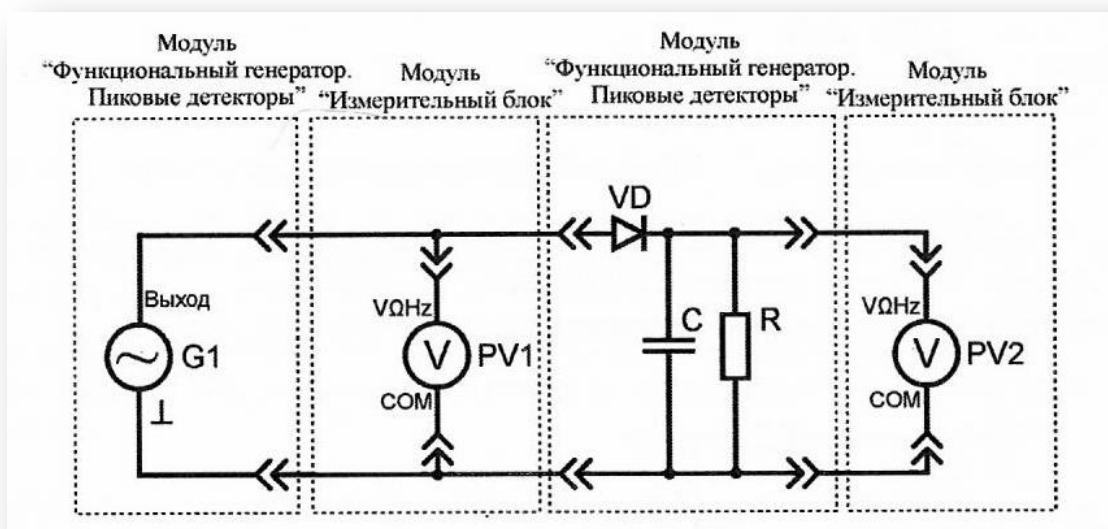


Рис. 7. Схема электрическая соединений лабораторных модулей для измерения амплитуды переменного напряжения функционального генератора при помощи ДАД с открытым входом

Использовать:

- *PV1* - мультиметр 2 (*Sanwa PC500*) модуля «Измерительный блок» в режиме измерения переменного напряжения;
- *PV2* - мультиметр 1 (*Mastech MY64*) модуля «Измерительный

блок» в режиме измерения постоянного напряжения с пределом до 20 В;

- $G1$ - функциональный генератор модуля «Функциональный генератор Пиковые детекторы».

3. Включить автоматический выключатель и выключатель дифференциального тока «Сеть» модуля «Модуль питания». Включить мультиметры и модуль «Функциональный генератор. Пиковые детекторы». Установить синусоидальную форму выходного сигнала функционального генератора $G1$ соответствующей кнопкой функционального генератора. Установить частоту колебаний сигнала в диапазоне от 50 Гц до 1 кГц (по указанию преподавателя).

4. Увеличивая действующее значение выходного напряжения ($PV1$) функционального генератора $G1$ (кнопками изменения амплитуды) в диапазоне от 0 В до 7 В, заносить показания вольтметров $PV1$ и $PV2$ в соответствующие ячейки табл. 6. Провести 5 измерений.

Таблица 6

Источник сигнала	Тип ДАД	№ опыта	1	2	3	4	5
Функциональный генератор $G1$	с открытым входом	U_{PV1}, B					
		U_{PV2}, B					
		$U_{т.расч}, B$					
	с закрытым входом	U_{PV1}, B					
		U_{PV2}, B					
		$U_{т.расч}, B$					
Автотрансформатор $TV2$	с открытым входом	U_{PV1}, B					
		U_{PV2}, B					
		$U_{т.расч}, B$					
	с закрытым входом	U_{PV1}, B					
		U_{PV2}, B					
		$U_{т.расч}, B$					

5. Согласно схеме (рис. 8) выполнить электрические соединения модулей для измерения амплитуды переменного напряжения автотрансформатора при помощи ДАД с открытым входом. **Монтаж схемы производить при отключенном питании.**

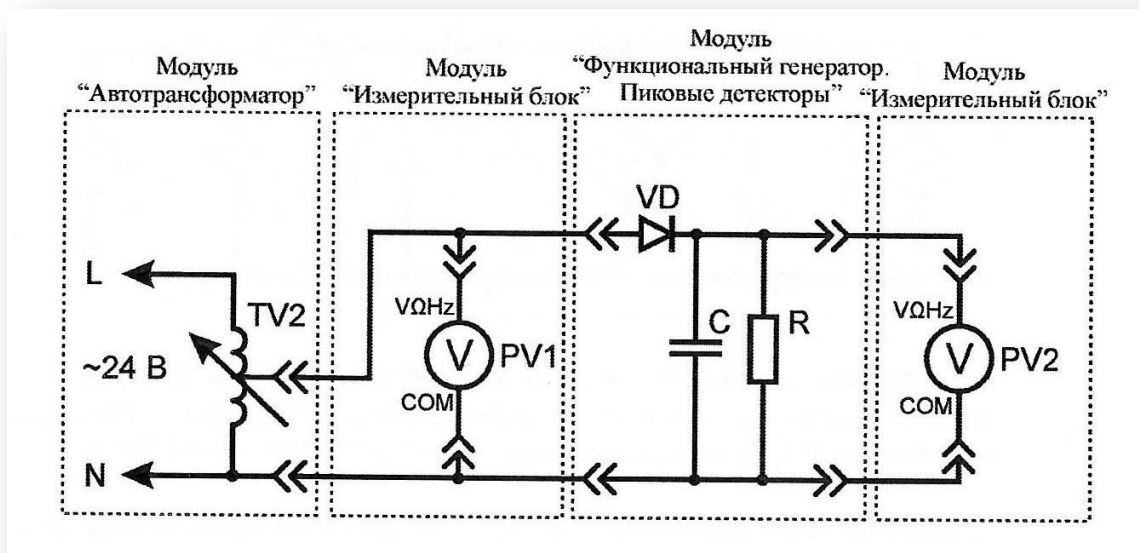


Рис. 8. Схема электрическая соединений лабораторных модулей для измерения амплитуды переменного напряжения автотрансформатора при помощи ДАД с открытым входом

Использовать:

- *PV1* - мультиметр 2 (*Sanwa PC500*) модуля «Измерительный блок» в режиме измерения переменного напряжения;
- *PV2* - мультиметр 1 (*Mastech MY64*) модуля «Измерительный блок» в режиме измерения постоянного напряжения с пределом до 20 В;
- *TV2* - автотрансформатор модуля «Автотрансформатор».

6. Увеличивая действующее значение выходного напряжения (*PV1*) автотрансформатора *TV2* (ручкой регулировки выходного напряжения автотрансформатора модуля «Автотрансформатор») в диапазоне от 0 В до 7 В, заносить показания вольтметров *PV1* и *PV2* в соответствующие ячейки табл. 6. Провести 5 измерений.

7. Согласно схеме (рис. 9) выполнить электрические соединения модулей для измерения амплитуды переменного напряжения функционального генератора при помощи ДАД с закрытым входом. **Монтаж схемы производить при отключенном питании.**

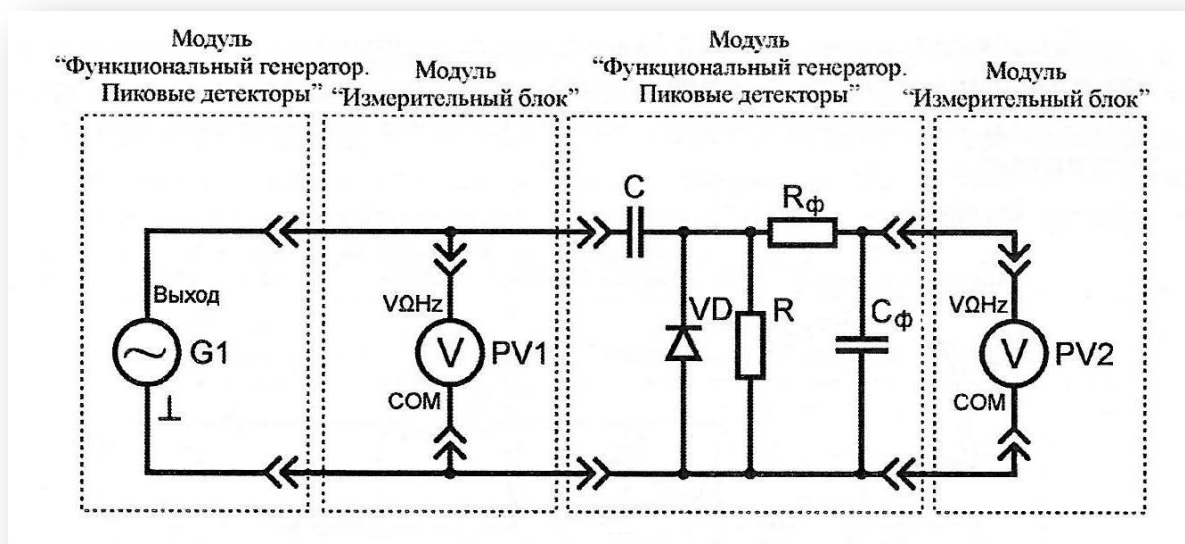


Рис. 9. Схема электрическая соединений лабораторных модулей для измерения амплитуды переменного напряжения функционального генератора при помощи ДАД с закрытым входом

Использовать:

- *PV1* - мультиметр 2 (*Sanwa PC500*) модуля «Измерительный блок» в режиме измерения переменного напряжения;
- *PV2* - мультиметр 1 (*Mastech MY64*) модуля «Измерительный блок» в режиме измерения постоянного напряжения с пределом до 20 В;
- *G1* - функциональный генератор модуля «Функциональный генератор, Пиковые детекторы».

8. Установить синусоидальную форму выходного сигнала функционального генератора *G1* соответствующей кнопкой функционального генератора. Установить частоту колебаний сигнала в диапазоне от 50 Гц до 1 кГц (по указанию преподавателя).

9. Увеличивая действующее значение выходного напряжения (*PV1*) функционального генератора *G1* (кнопками изменения амплитуды) в диапазоне от 0 В до 7 В, заносить показания вольтметров *PV1* и *PV2* в соответствующие ячейки табл. 6. Провести 5 измерений.

10. Согласно схеме (рис. 10) выполнить электрические соединения моду-

лей для измерения амплитуды переменного напряжения автотрансформатора при помощи ДАД с открытым входом. **Монтаж схемы производить при отключенном питании.**

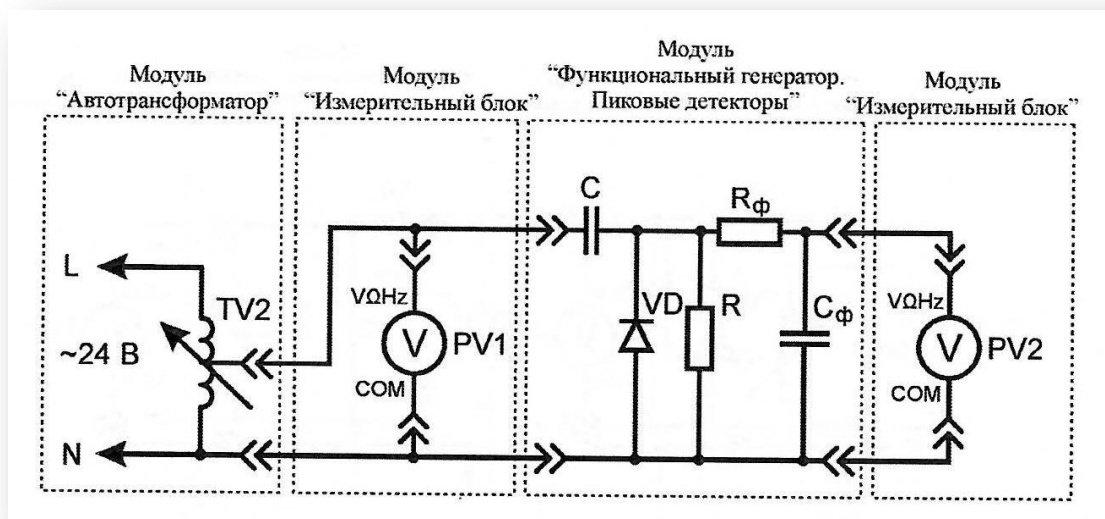


Рис. 10. Схема электрическая соединений лабораторных модулей для измерения амплитуды переменного напряжения автотрансформатора при помощи ДАД с закрытым входом

Использовать:

- *PV1* - мультиметр 2 (*Sanwa PC500*) модуля «Измерительный блок» в режиме измерения переменного напряжения;
- *PV2* - мультиметр 1 (*Mastech MY500*) модуля «Измерительный блок» в режиме измерения постоянного напряжения с пределом до 20 В;
- *TV2* - автотрансформатор модуля «Автотрансформатор».

11. Увеличивая действующее значение выходного напряжения (*PV1*) автотрансформатора *TV2* (ручкой регулировки выходного напряжения автотрансформатора модуля «Автотрансформатор») в диапазоне от 0 В до 7 В, заносить показания вольтметров *PV1* и *PV2* в соответствующие ячейки табл. 7. Провести 3-5 измерений.

12. Рассчитать амплитудные значения переменного сигнала $U_{m,расч}$ синусоидальной формы на входе схем ДАД с открытым и закрытым входами, для

каждого пункта табл. 6 по формуле:

$$U_{m.расч} = U_{PV1} \sqrt{2}$$

Полученные значения занести в соответствующие ячейки табл. 7.

13. Сравнить расчетные $U_{m.расч}$ и измеренные U_{PV2} значения амплитуды переменного напряжения (табл. 6). Сделать вывод о возможных причинах расхождения расчетных и экспериментальных данных при измерении амплитудных значений напряжения функционального генератора и автотрансформатора.

14. Согласно схеме (рис. 11) выполнить электрические соединения модулей для оценки влияния постоянной составляющей на измерение амплитуды переменного напряжения при помощи ДАД с открытым входом. **Монтаж схемы производить при отключенном питании.**

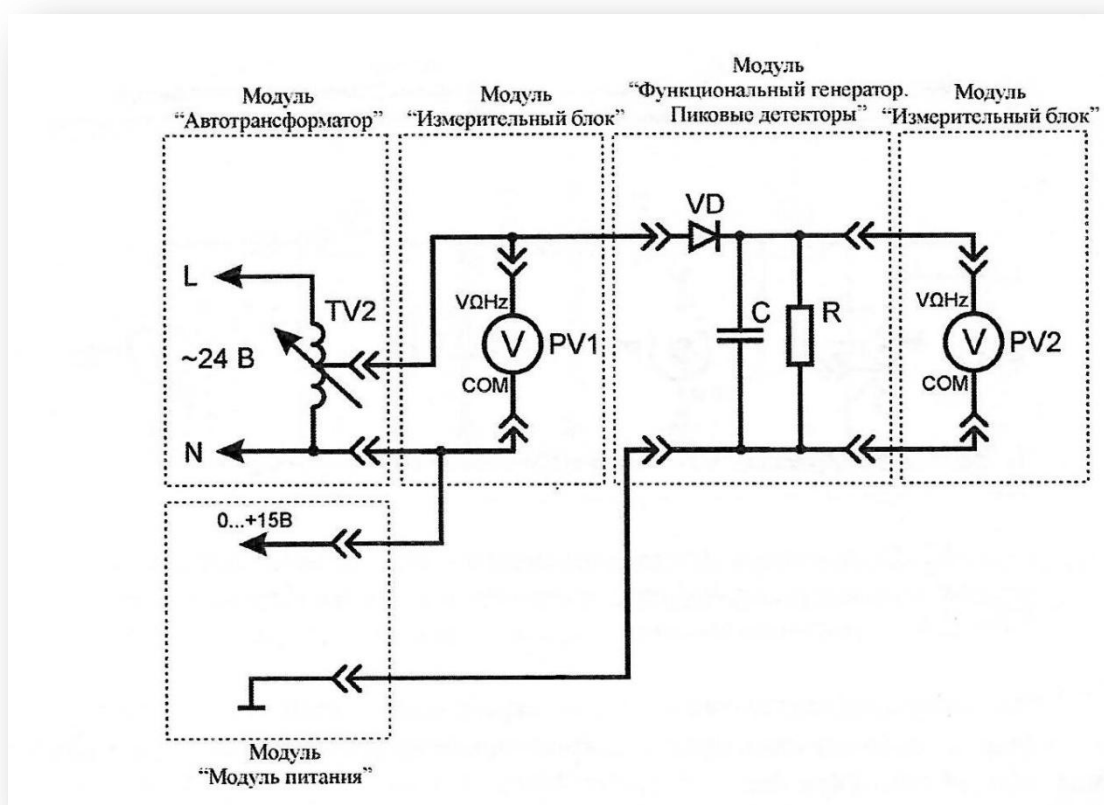


Рис. 11. Схема электрическая соединений лабораторных модулей для оценки влияния постоянной составляющей на измерение амплитуды переменного напряжения при помощи ДАД с открытым входом

Использовать:

- *PV1* - мультиметр 2 (*Sanwa PC500*) в режиме измерения переменного напряжения;
- *PV2* - мультиметр 1 (*Mastech MY64*) модуля «Измерительный блок» в режиме измерения постоянного напряжения с пределом до 20 В;
- *TV2* - автотрансформатор модуля «Автотрансформатор».

15. Установить действующее значение выходного напряжения (*PV1*) автотрансформатора *TV2* (ручкой регулировки выходного напряжения автотрансформатора модуля «Автотрансформатор») на уровне 10 В.

16. Увеличивая выходное напряжение канала «0...+15В» от 0 В до +15 В (ручкой регулировки «0...+15В» модуля «Модуль питания»), заносить показания вольтметров *PV1* и *PV2* в соответствующие ячейки табл. 7. Провести не менее 5 измерений.

Таблица 7

Тип ДАД	№ опыта	1	2	3	4	5
с открытым входом	$U_{PV1}, В$					
	$U_{PV2}, В$					
	$U_{т.расч}, В$					
с закрытым входом	$U_{PV1}, В$					
	$U_{PV2}, В$					
	$U_{т.расч}, В$					

17. Согласно схеме (рис. 12) выполнить электрические соединения модулей для оценки влияния постоянной составляющей на измерение амплитуды переменного напряжения при помощи ДАД с закрытым входом. Монтаж схемы производить при отключенном питании.

Использовать:

- *PV1* - мультиметр 2 (*Sanwa PC500*) в режиме измерения переменного напряжения;
- *PV2* - мультиметр 1 (*Mastech MY64*) модуля «Измерительный блок» в режиме измерения постоянного напряжения с пределом до 20 В;

- $TV2$ - автотрансформатор модуля «Автотрансформатор».

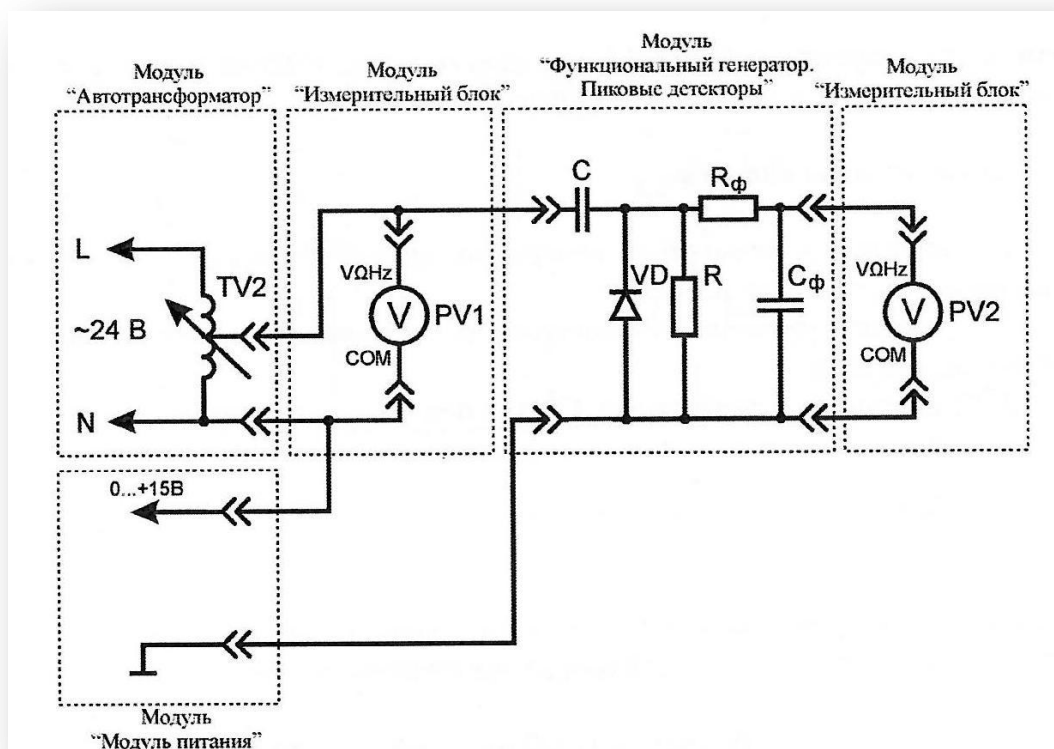


Рис. 12. Схема электрическая соединений лабораторных модулей для оценки влияния постоянной составляющей на измерение амплитуды переменного напряжения при помощи ДАД с закрытым входом

18. Установить действующее значение выходного напряжения ($PV1$) автотрансформатора $TV2$ (ручкой регулировки выходного напряжения автотрансформатора модуля «Автотрансформатор») на уровне 10 В.

19. Увеличивая выходное напряжение канала «0...+15В» от 0 В до +15 В (ручкой регулировки «0...+15В» модуля «Модуль питания»), заносить показания вольтметров $PV1$ и $PV2$ в соответствующие ячейки табл. 7. Провести не менее 5 измерений.

20. Рассчитать амплитудные значения переменного сигнала $U_{m.расч}$ синусоидальной формы на входе схем ДАД с открытым и закрытым входами, для каждого пункта табл. 7 по формуле:

$$U_{m.расч} = U_{PV1} \sqrt{2}$$

Полученные значения занести в соответствующие ячейки табл. 7.

21. Сравнить расчетные $U_{т.расч}$ и измеренные U_{PV2} значения амплитуды переменного напряжения (табл. 7). Сделать вывод о возможных причинах расхождения расчетных и экспериментальных данных.

Контрольные вопросы

1. Укажите на временной диаграмме синусоидального напряжения действующее и амплитудное значение?
2. Приведите временную диаграмму синусоидального напряжения с постоянной составляющей.
3. Типы пиковых детекторов. Схемы пиковых детекторов.
4. Область применения пиковых детекторов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 ИЗУЧЕНИЕ ЦИФРО-АНАЛОГОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ МАТРИЦЫ R-2R

Цель работы: изучение принципов работы цифро-аналогового преобразователя на основе матрицы R-2R.

Оборудование: модуль «Элементы ЦАП и АЦП», модуль «Модуль питания», соединительные проводники.

Теоретическая часть

Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) - устройство, предназначенное для преобразования входной величины, представленной последовательностью числовых кодов, в эквивалентные им значения заданной физической величины. Предназначены для сопряжения цифровых устройств формирования и обработки сигналов с аналоговыми устройствами. ЦАП широко используются для управления аналоговыми устройствами при помощи ЭВМ.

Схема ЦАП с переключателями и матрицей постоянного импеданса пред-

ставлена на рис. 13. В качестве ключей $S_0 \dots S_n$ наиболее часто применяют МОП-транзисторы.

В такой схеме задание весовых коэффициентов ступеней преобразователя реализовано посредством последовательного деления опорного напряжения резистивной матрицей постоянного импеданса (так называемой матрицы $R-2R$). В результате ток через резистор R_H пропорционален значению входного кода. При условии $R_H = const$ выходное напряжение схемы $U_{\text{вых}} = R_H I_{\text{вых}}$ (рис. 13) также пропорционально входному коду.

На практике, вместо сопротивления нагрузки R_H применяют операционный усилитель.

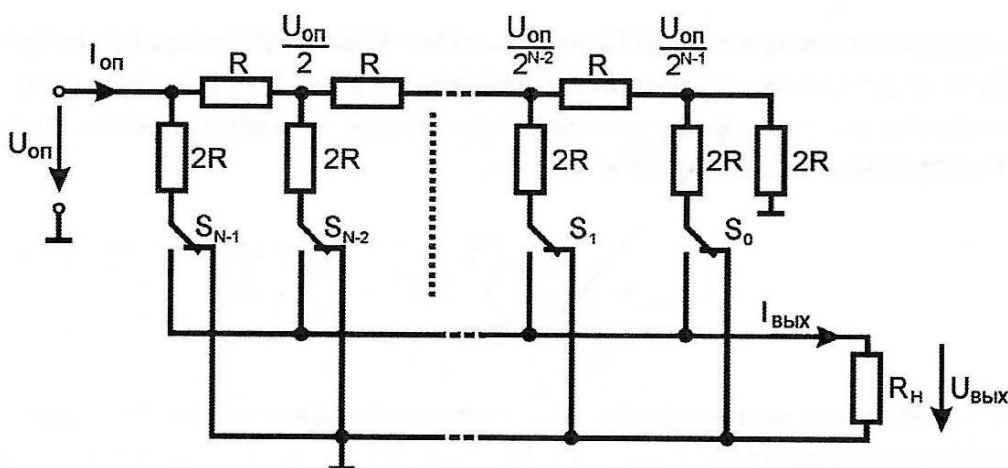


Рис. 13. Схема ЦАП с переключателями и матрицей постоянного импеданса

Для получения выходного напряжения, пропорционального входному коду, применяют схему ЦАП с инверсным включением резистивной матрицы (рис. 14).

Для расчета выходного напряжения такой схемы найдем связь между напряжением U_i на ключе S_i и узловым напряжением U_i' .

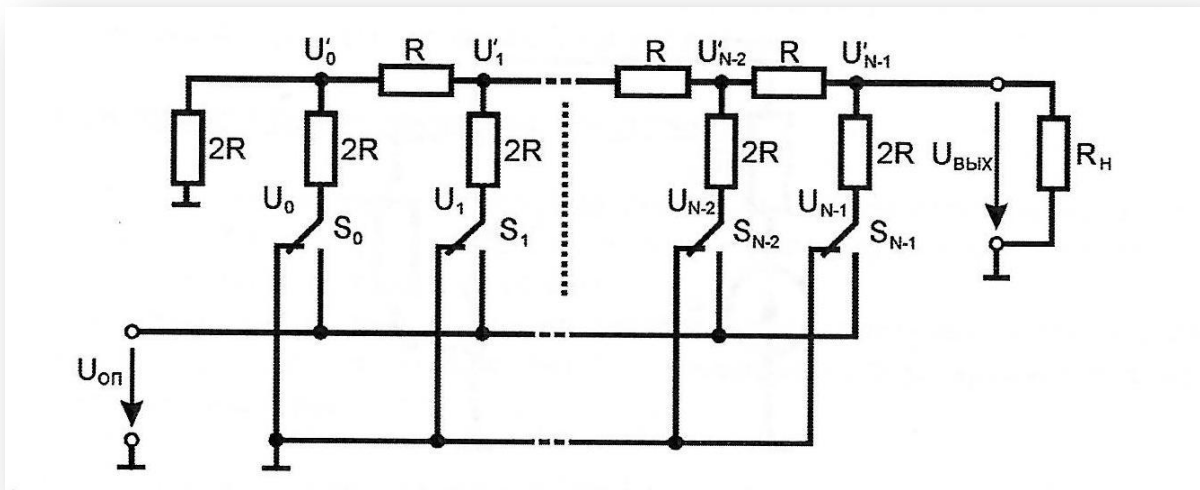


Рис. 14. ЦАП с инверсным включением резистивной матрицы

Воспользуемся принципом суперпозиции. Будем считать равными нулю все напряжения на ключах S , кроме рассматриваемого напряжения U_i . При $R_L = 2R$ к каждому узлу подключены справа и слева сопротивления $2R$. Воспользовавшись методом двух узлов, получим:

$$U'_i = \frac{\frac{U_i}{2R}}{\frac{1}{2R} + \frac{1}{2R} + \frac{1}{2R}} = \frac{U_i}{3}$$

Выходное напряжение ЦАП найдем как общее напряжение на крайнем правом узле, обусловленное суммарным действием всех U_i . При этом напряжения узлов суммируются с весами, соответствующими коэффициентам деления резистивной матрицы $R-2R$. Получим:

$$U_{\text{вых}} = \frac{1}{3 \cdot 2^{N-1}} \sum_{i=0}^{N-1} U_i 2^i = \frac{U_{\text{оп}}}{3 \cdot 2^{N-1}} D \quad (1)$$

где $U_{\text{вых}}$ - выходное напряжение; $U_{\text{оп}}$ - опорное напряжение; D - десятичное значение комбинации ключей 5.

Для определения выходного напряжения при произвольной нагрузке воспользуемся теоремой об эквивалентном генераторе. Из эквивалентной схемы ЦАП на рис. 15 следует:

$$U_{\text{вых}} = \frac{E_E \cdot R_H}{R_E + R_H} \quad (2)$$

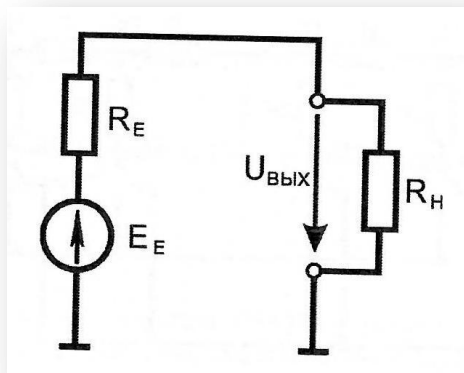


Рис. 15. ЦАП с инверсным включением резистивной матрицы как эквивалентный генератор

Следовательно э.д.с. эквивалентного генератора

$$E_E = U_{\text{вых}} \left(1 + \frac{R_E}{R_H} \right) \quad (3)$$

Внутреннее сопротивление эквивалентного генератора R_E совпадает с входным сопротивлением матрицы $R-2R$, т. е. $R_E = R$. При $R_H = 2R$ из выражений (1) и (2) получим:

$$E_E = \frac{U_{\text{он}}}{2^N} D \quad (4)$$

Подставив выражение (4) в (2), для произвольной нагрузки найдем:

$$U_{\text{вых}} = \frac{R_H}{R + R_H} \cdot \frac{U_{\text{он}}}{2^N} D$$

В частности, при $R_H = \infty$

$$U_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{он}}}{2^N} D$$

Недостатки такой схемы ЦАП (рис 14): высокое выходное сопротивление и зависимость выходного напряжения от сопротивления нагрузки.

Схемы ЦАП на основе резистивных матриц $R-2R$ практичны, надежны, обладают высокой скоростью преобразования и легко реализуются в инте-

гральном исполнении. Не требуется широкого диапазона номиналов и высокой точности резисторов.

В лабораторной работе схема ЦАП формирует напряжение от 0 В до 5 В с числом уровней дискретизации равным 16, при подаче на разряды матрицы входного двоичного 4-х разрядного кода с ТТЛ уровнями.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить теоретический материал необходимый для выполнения лабораторной работы. Ответить на контрольные вопросы и получить у преподавателя допуск к проведению лабораторной работы.

2. Согласно схеме (рис. 16) выполнить электрические соединения модулей для изучения ЦАП на основе матрицы $R-2R$. **Монтаж схемы производить при выключенном питании.**

Использовать:

• *PVI* - мультиметр 2 (*Sanwa PC500*) модуля «Измерительный блок» в режиме измерения постоянного напряжения.

3. Рассчитать значения выходного напряжения ($U_{расч}$ при различных комбинациях тумблеров 1, 2, 4, 8 используя формулы:

$$U_{расч} = \frac{U_{он} \cdot D}{16}$$

$$D = p_1 + 2p_2 + 4p_3 + 8p_4$$

где D - десятичное значение комбинации тумблеров; p_1 - значение 1 или 0, при соответствующем положении тумблера «1»; p_2 - значение 1 или 0, при соответствующем положении тумблера «2»; p_3 - значение 1 или 0, при соответствующем положении тумблера «4»; p_4 - значение 1 или 0, при соответствующем положении тумблера «8»; $U_{он}$ - опорное напряжение ($U_{он}=5$ В). Расчётные данные $U_{расч}$ занести в табл. 8.

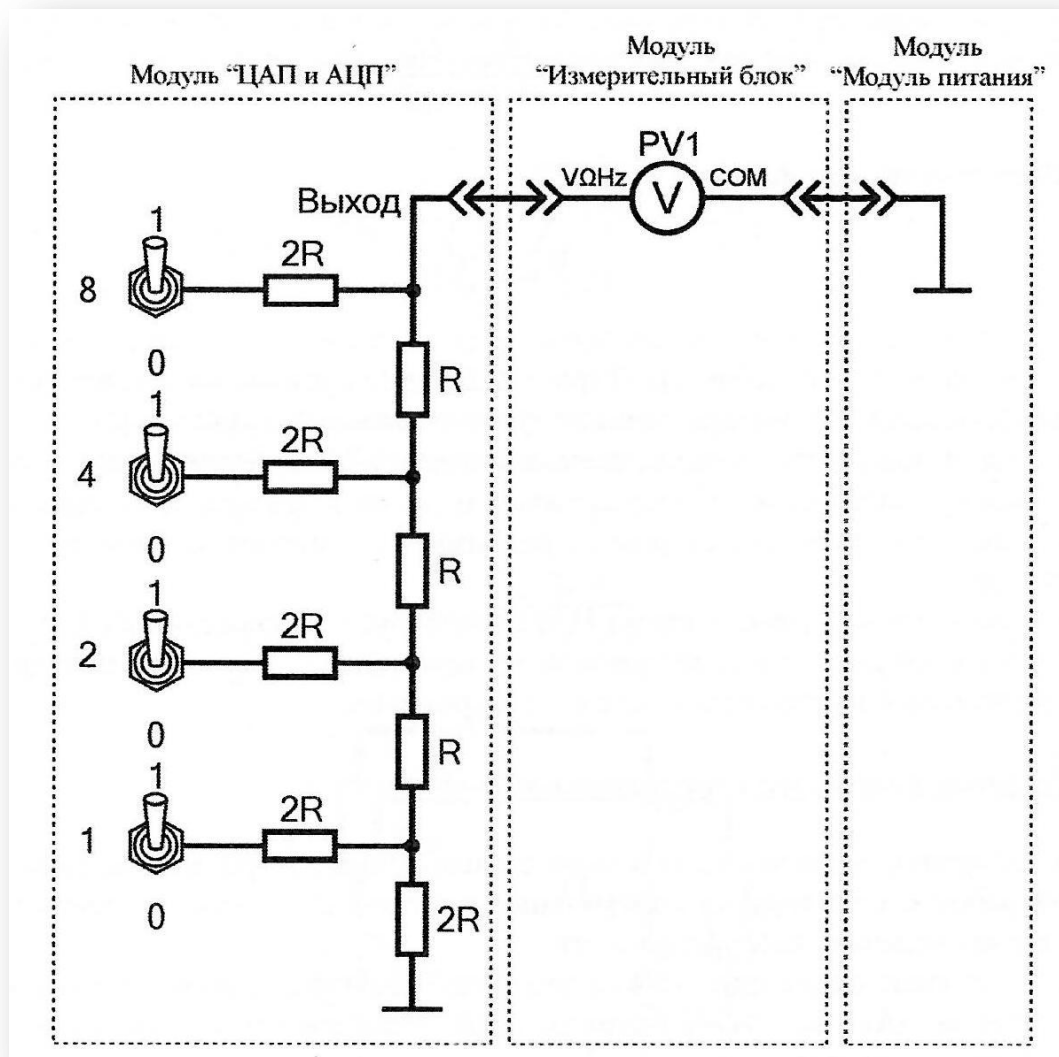


Рис. 16. Схема электрическая соединения лабораторных модулей для изучения ЦАП на основе матрицы $R-2R$

4. Включить автоматический выключатель и устройство защитного выключения «Сеть» модуля «Модуль питания». Включить мультиметр.
5. В соответствии с табл. 8 последовательно устанавливая указанные комбинации тумблеров, заносить показания вольтметра $PV1$ ($U_{эксн}$) в соответствующие ячейки той же таблицы.
6. После завершения экспериментов и проверки результатов преподавателем необходимо отключить питание стенда, разобрать схему, предоставить комплект в полном составе и исправности преподавателю или лаборанту.

Таблица 8

№ комбинации	Положение тумблеров				$U_{эксп}$	$U_{расч}$
	1	2	4	8		
1	0	0	0	0		
2	1	0	0	0		
3	0	1	0	0		
4	1	1	0	0		
5	0	0	1	0		
6	1	0	1	0		
7	0	1	1	0		
8	1	1	1	0		
9	0	0	0	1		
10	1	0	0	1		
11	0	1	0	1		
12	1	1	0	1		
13	0	0	1	1		
14	1	0	1	1		
15	0	1	1	1		
16	1	1	1	1		

7. Сравнить экспериментальные $U_{эксп}$ и расчётные $U_{расч}$ данные (табл. 8), сделать вывод.

Контрольные вопросы

1. Какую функцию выполняет цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП)?
2. Назовите разновидности ЦАП.
3. Для чего к выходу ЦАП с суммированием токов подключают операционный усилитель?
4. Приведите схему ЦАП на основе матрицы $R-2R$.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИЗУЧЕНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Цель работы: изучить принцип работы параллельного АЦП

Оборудование: модуль «Модуль питания», модуль «Элементы ЦАП и

АЦП», модуль «Измерительный блок», соединительные проводники.

Теоретическая часть

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) - устройство, предназначенное для преобразования непрерывно изменяющейся во времени аналоговой физической величины в эквивалентные ей значения числовых кодов.

Процесс аналого-цифрового преобразования предполагает последовательное выполнение следующих операций:

- выборка значений исходной аналоговой величины в некоторые наперед заданные дискретные моменты времени, т. е. дискретизация сигнала по времени;
- квантование (округление до некоторых известных величин) полученной в дискретные моменты времени последовательности значений исходной аналоговой величины по уровню;
- кодирование - замена найденных квантованных значений некоторыми числовыми кодами.

На рис. 17 представлена классификация АЦП по методам преобразования.

В данной лабораторной работе используется АЦП параллельного преобразования. Данный тип АЦП реализует метод непосредственного считывания и является на сегодняшний день самым быстродействующим. В параллельных АЦП (рис. 18) входной сигнал одновременно квантуется при помощи набора компараторов, включенных параллельно эталонному источнику сигнала. Пороговые уровни компараторов установлены при помощи резистивного делителя в соответствии с используемой шкалой квантования.

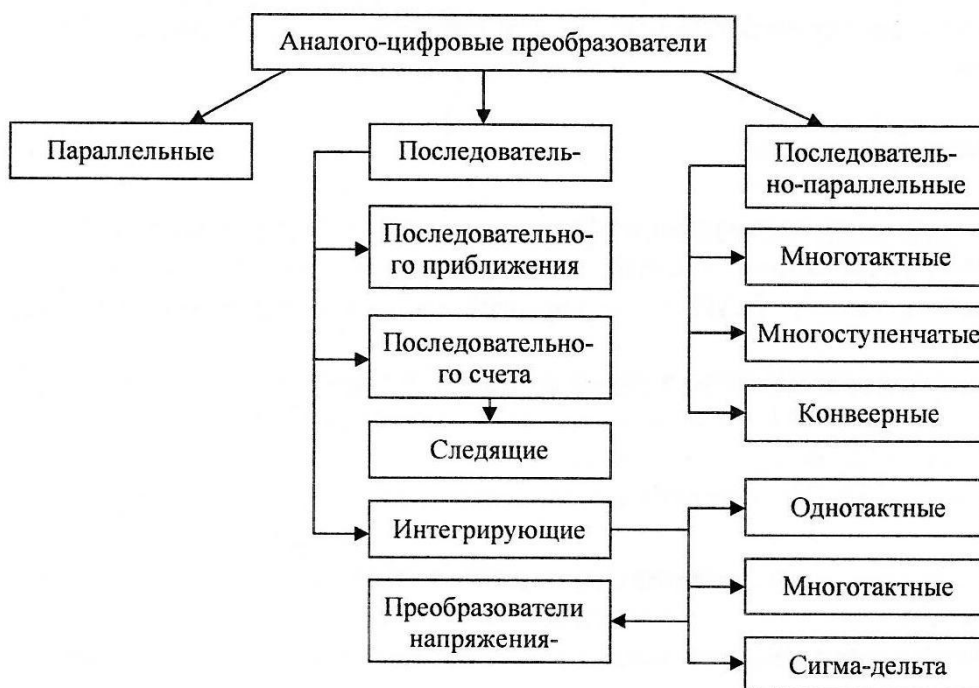


Рис. 17. Классификация АЦП

При подаче аналогового сигнала на входы компараторов, на выходах последних будет иметь место квантованный по уровню сигнал, представленный в параллельном коде. Далее, при помощи кодирующей логики, параллельный код преобразуется в двоичный код.

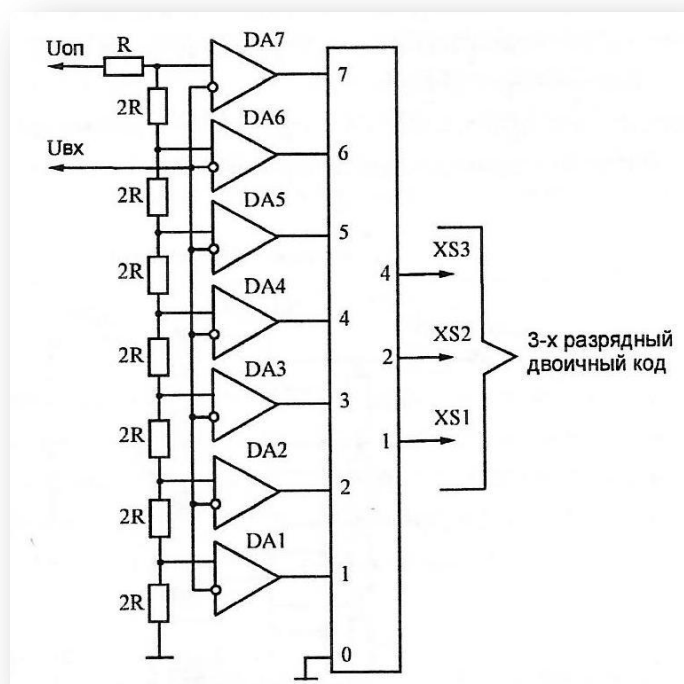


Рис. 18. Принципиальная схема параллельного АЦП

На неинвертирующих входах компараторов $DA1...DA7$ заданы пороговые напряжения резистивным делителем $R-2R$, на который подано опорное напряжение $U_{оп}$. На инвертирующие входы компараторов $DA1...D7$ подается входное напряжение $U_{вх}$. При этом значение логического 0 принимают выходы тех компараторов, напряжение на инвертирующем входе которых больше порогового напряжения. Выходы компараторов соединены с шифратором приоритета, который преобразует, в общем случае, входной m -разрядный параллельный единичный код в n -разрядный параллельный двоичный код. Уровни напряжения на инвертирующих входах компараторов $DA1...DA7$, при которых входное напряжение превышает пороговое, заданы резистивной матрицей $R-2R$:

- $DA1, U_{вх.расч} = h/2;$
- $DA2, U_{вх.расч} = h+h/2;$
- $DA3, U_{вх.расч} = 2h+h/2;$
- $DA4, U_{вх.расч} = 3h+h/2;$
- $DA5, U_{вх.расч} = 4h+h/2;$
- $DA6, U_{вх.расч} = 5h+h/2;$
- $DA7, U_{вх.расч} = 6h+h/2;$

где h - квант входного напряжения ($h=U_{оп}/7, U_{оп} = 5 В$).

Порядок выполнения лабораторной работы

Изучить теоретический материал необходимый для выполнения лабораторной работы. Ответить на контрольные вопросы и получить у преподавателя допуск к проведению лабораторной работы.

1. Собрать схему лабораторного стенда для изучения параллельного АЦП (рис. 19). **Монтаж схемы производить при отключенном питании.**

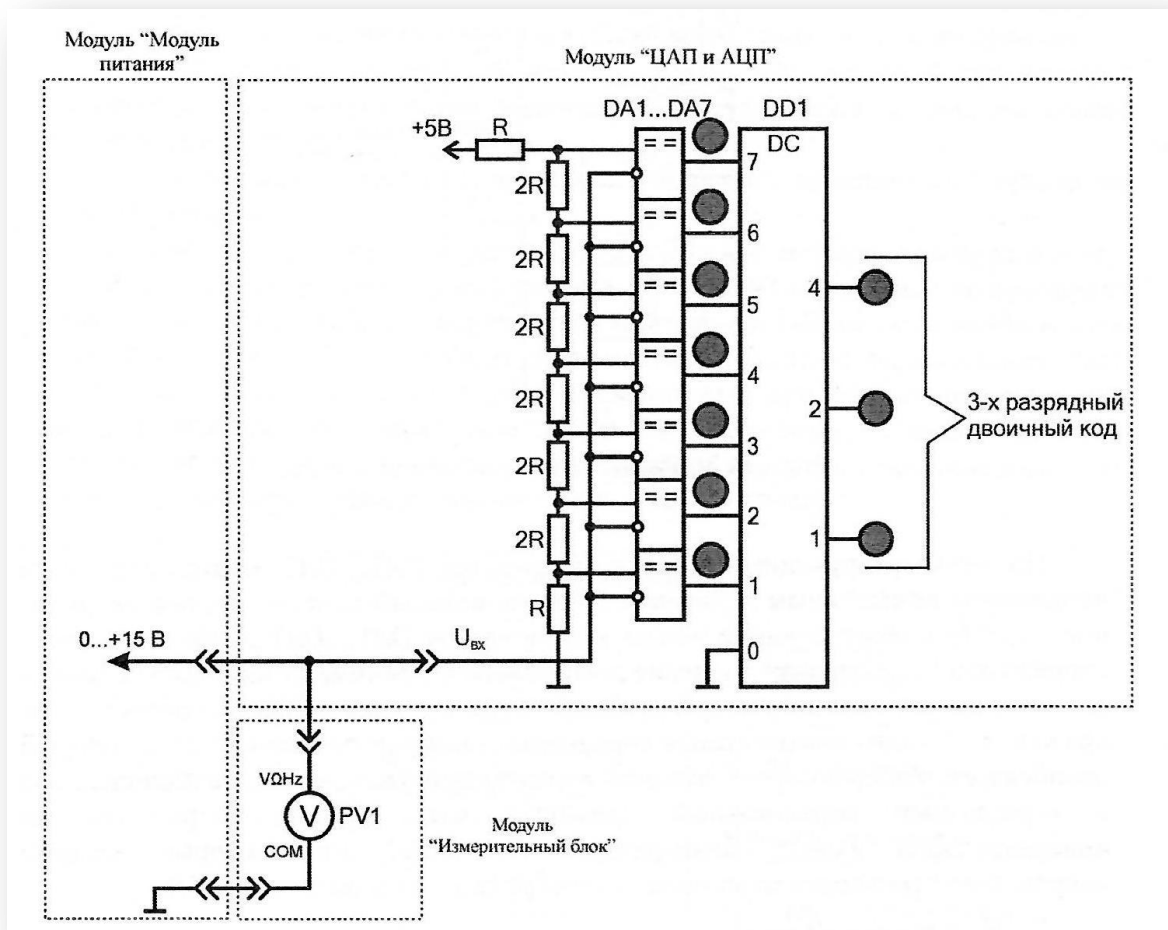


Рис. 19. Схема электрическая соединений лабораторных модулей для изучения параллельного АЦП

Использовать:

- *PV1* - мультиметр 2 (*Sanwa PC500*) модуля «Измерительный блок» в режиме измерения постоянного напряжения.

2. Включить автоматический выключатель и выключатель дифференциального тока «Сеть» модуля «Модуль питания». Включить мультиметр.

3. Плавно увеличивая напряжение на входе схемы (ручкой регулировки «0...+15В» модуля «Модуль питания») наблюдать последовательное загорание светодиодов на выходе компараторов *DA1...DA7* (индикация срабатывания компараторов) и загорание светодиодов на выходе шифратора приоритета *DD1* (индикация трехразрядного двоичного кода).

4. Заполнить табл. 9 при изменении входного напряжения $U_{вх}$ (*PV1*) в

диапазоне от 0 до +5 В. Свечение светодиода на соответствующем выходе компаратора $DA1...DA7$ соответствует логическому 0. Свечение светодиода на соответствующем выходе шифратора приоритета $DD1$ соответствует логической 1.

5. Рассчитать уровни напряжения $U_{расч}$ на инвертирующих входах компараторов $DA1...DA7$, при которых происходит переключение АЦП:

$$U_{расч} = U_{он} \frac{1 + 2n}{14}$$

где $U_{он}$ - опорное напряжение ($U_{он} = 5$ В);

n - десятичный код, соответствующий двоичному коду светодиодного индикатора. Полученные значения занести в табл. 9.

6. После завершения экспериментов и проверки результатов преподавателем отключить питание стенда, разобрать схему, предоставить комплект в полном составе и исправности преподавателю или лаборанту.

Таблица 9

Выходы $DA1...DA7$	$U_{вх}$, В	$U_{расч.}$, В	Выходы шифратора приоритета $DD1$		
			1	2	4

7. Сравнить экспериментальные $U_{вх}$ и расчетные $U_{расч}$ (табл. 9) значения напряжения, при которых происходит переключение компараторов $DD1...DD7$, сделать вывод.

Контрольные вопросы

1. Какие принципиальные погрешности вносятся в процессе аналого-цифрового преобразования (АЦП)?
2. Приведите классификацию АЦП по методам преобразования.
3. Какой тип АЦП является наиболее быстродействующим?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Типовой комплект учебного оборудования «Электрические измерения и основы метрологии» ЭИиОМ-СК. Методические указания к выполнению лабораторных работ [Текст]. – Челябинск: ООО НПП «Учебная техника-Профи», 2015. – 117 с.
2. Волегов, А.С. Электронные средства измерений электрических величин [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.С. Волегов, Д.С. Незнахин, Е.А. Степанова. – Екатеринбург: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2014. – 104 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/36>. – Загл. с экрана.
3. Вострокнутов, Н.Н. Электрические измерения [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н. Н. Вострокнутов. – Москва: Академия стандартизации, метрологии и сертификации, 2017. – 321 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/36>. – Загл. с экрана.
4. Ким, К.К. Электрические измерения неэлектрических величин [Электронный ресурс]: учебное пособие / К.К. Ким, Г.Н. Анисимов, А.А. Ткачук. – Саратов: АйПиЭрМедиа, 2019. – 137 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/36>. – Загл. с экрана.
5. Клаассен, К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике [Текст] / К.Б. Клаассен. – М.: Постмаркет, 2002. – 352 с.
6. Панфилов, В.А. Основы метрологии и электроизмерительной техники [Текст] / В.А. Панфилов. – НТФ «Энергопрогресс». - 2006. – 88 с.
7. Панфилов, В.А. Электрические измерения [Текст] / В.А. Панфилов. – М.: Академия, 2012. – 288 с.
8. Ткалич, В.Л. Обработка результатов технических измерений [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.Л. Ткалич, Р.Я. Лабковская. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2011. – 73 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/36>. – Загл. с экрана.
9. Угольников, А.В. Метрология. Электрические измерения: практикум

[Электронный ресурс] / А.В. Угольников. – Саратов : Ай Пи Ар Медиа, 2019. – 140 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/36>. – Загл. с экрана.

10. Хрусталеv, З.А. Электротехнические измерения [Текст] / З.А. Хрусталеv. – М.: КноРус . - 2011. – 208 с.

11. Шинкоренко, Е.В. Технические измерения и приборы. Часть I [Электронный ресурс]: учебное пособие / Е.В. Шинкоренко. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2009. – 68 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/36>. – Загл. с экрана.

Ольга Валерьевна Скрипко

доктор техн. наук, профессор кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники ФГБОУ ВО «АмГУ»

Наталья Сергеевна Бодруг

старший преподаватель кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники ФГБОУ ВО «АмГУ»

Метрология, стандартизация и сертификация. Часть 2

Методические указания к лабораторным работам.
