Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна
Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского федерального университета
Дата подписания: 05.09.2023 14:31:07
Уникальный программный ключ:
d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Колледж Пятигорского института (филиал) СКФУ

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Специальность 23.02.07 Техническое обслуживание и ремонт двигателей, систем и агрегатов автомобилей

Квалификация специалист

Пятигорск 2021

Методические указания для практических занятий по дисциплине Электротехника и электроника составлены в соответствии с требованиями ФГОС СПО. Предназначены для студентов, обучающихся по специальности 23.02.07 «Техническое обслуживание и ремонт двигателей, систем и агрегатов автомобилей»

Рассмотрено на заседании ПЦК колледжа Пятигорского института (филиал) СКФУ

Протокол № _8_ от «_22_» __03____2021 г.

Составитель _____ Т.В. Икаева

Директор колледжа ИСТиД _____ З.А. Михалина

Пояснительная записка

Данные методические указания предназначены для закрепления теоретических знаний и приобретения необходимых практических навыков и умений по программе дисциплины "Электротехника и электроника" для специальности Специальность 23.02.07 Техническое обслуживание и ремонт двигателей, систем и агрегатов автомобилей

Цели и задачи практических занятий:

В результате изучения учебного материала дисциплины и по ходу приобретения практических навыков работы, студент должен

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен **уметь:**

- Пользоваться электроизмерительными приборами
- Производить проверку электронных и электрических элементов автомобиля
- Производить подбор элементов электрических цепей и электронных схем

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен **знать:**

- Методы расчета и измерения основных параметров электрических, магнитных и электронных цепей
- Компоненты автомобильных электронных устройств
- Методы электрических измерений
- Устройство и принцип действия электрических машин

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ В ЭЛЕКТРОЛАБОРАТОРИИ:

Работая в лаборатории, необходимо использовать следующие правила:

1. К выполнению практической работы следует приступать только после полного уяснения её содержания.
2. Начинать работу следует с ознакомления с приборами и оборудованием, применяемыми в данной работе.
7. Не загромождайте своё рабочее место предметами, которые не потребуются для выполнения опыта. Работайте спокойно, без суетливости, не мешал соседям.
9. При работе с электроприборами расположение их на рабочем столе должно быть таким, чтобы схема соединений получалась наиболее простой, наглядной, удобной.
10. При сборке сложных схем следует вначале соединить главную, последовательную цепь, начиная сборку от одного зажима источника тока и заканчивая на другом, а затем уже подключить параллельные цепи.
12. Собранная схема обязательно должна быть проверена.
13. При включении схемы особое внимание следует обратить на показания амперметров и других измерительных приборов. В случае резкого движения стрелки амперметра к концу шкалы схему необходимо немедленно отключить от источника напряжения.
15. Схему следует разбирать только после её отключения.
16. Закончив работу, приведите рабочее место в порядок.

ПРИ РАБОТЕ С ЭЛЕКТРОПРИБОРАМИ

1. Категорически запрещается:
   - трогать руками оголённые провода и части приборов, находящиеся под напряжением, даже если оно невелико;
   - прикасаться к вращающимся частям электрических машин;
   - производить изменения в схеме при подключённом источнике питания;
   - заменять или брать оборудование или приборы с других рабочих мест без разрешения преподавателя;

- отходить от приборов или оставлять схему под напряжением при обработке результатов измерений;
- перегружать приборы током или напряжением, превышающим номинальное значение.

2. Проверку наличия подаваемого к схеме или элементам схемы напряжения необходимо производить только контрольной лампочкой или вольтметром, соблюдал правила техники безопасности.
3. При работе в кабинете следует строго соблюдать меры предосторожности, так как электрический ток, проходящий через тело человека, величиной в 0, 025 А уже является опасным для человека.

Требования к оформлению отчета по выполнению практической ра-боты по дисциплине "Электротехника и электроника"

Оформление отчетов по выполнению практических работ осуществляется в тетрадях по основам электротехники. От предыдущей работы отступают 3-4 клетки и записывают дату выполнения работы и далее посередине следующей строки номер практической работы. Далее, каждый раз с новой строки записывают тему, цель. После строки «Ход работы» коротко поэтапно выполняется практическая работа. • Оформление отчета должно быть лаконичным. Форма отчета по выполнению практической работы не регламентируется, может быть произвольная. • Таблицы заполняются четко и аккуратно, при этом таблица должна занимать всю ширину тетрадной страницы. • В конце каждой практической работы обязательно записывается вывод по итогам выполненной работы (вывод формулируется исходя из цели практической работы) или приводятся ответы на контрольные вопросы.

Практическая работа №1

Решение задач по теме: «Электрические заряды и электрическое поле»

Цель работы: повторить основные понятия по теме: электрическое поле, однородные и неоднородные поля, напряженность электрического поля; развивать умения анализировать учебный материал, сравнивать, сопоставлять изучаемые явления и факты, делать выводы; развивать логичность, целостность восприятия; воспитывать познавательный интерес, любознательность, аккуратность при выполнении заданий

Ход работы:

Теоретическое обоснование:

$k = 9 \cdot 10^9 \frac{Н \cdot м^2}{Кл^2}$ Коэффициент пропорциональности в СИ

С помощью эксперимента обнаруживаем, что вокруг всякого заряженного проводящего тела, которое находится в покое, возникает особого рода материя – электрическое поле (органами чувств человека не обнаруживается). Напряженность поля – силовая характеристика электрического поля равная отношению силы, действующей на пробный положительный заряд q_0 к величине этого заряда.

$E = \frac{F}{q_0}$ - формула напряженности электрического поля в векторной форме, где $\left[\frac{\text{Н}}{\text{Кл}}\right] E$ - вектор напряженности

$[\text{Кл}] q_0$ - пробный положительный заряд

$E = \frac{U}{\Delta d}$ - связь между напряженностью и напряжением

Напряженность одного электрического поля равна отношению разности потенциалов (напряжения U) между двумя точками поля, к расстоянию Δd между ними.

Докажем, что $1\frac{Н}{Кл}=1\frac{В}{м}$, Для этого числитель и знаменатель умножим на (м) получим

$$1\frac{Н\cdot м}{Кл\cdot м}=\frac{1Дж}{1А\cdot с\cdot м}=1\frac{В\cdot А\cdot с}{А\cdot с\cdot м}=1\frac{В}{м}.$$

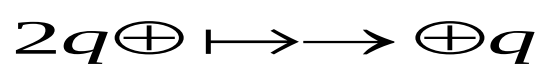
$$\vec{E}=\vec{E}_1+\vec{E}_2+...+\vec{E}_n$$

$$E=\frac{k|q|}{\varepsilon r^2} \quad -$$

Результирующая напряженность поля созданного несколькими зарядами равна геометрической сумме напряженностей, созданных каждым зарядом в отдельности.
Формула напряженности поля точечного заряда на расстоянии r от него или шара радиусом r.

Например.

1.Построить результирующий вектор напряженности и дать ответ.



Ответ: $\vec{E}_{рез}$ равен разности и направлен в сторону меньшего заряда.

Практическая часть

Решить задачи:

Задача№1

Найдите напряженность поля системы двух зарядов $q_1=8\cdot10^{-8}Кл$ и $q_2=-3\cdot10^{-8}Кл$ в точке А, соединяющей эти заряды (рис.)

Решение. Согласно принципу суперпозиции ,напряженность результирующего поля $\vec{E}$ равна сумме $\vec{E}_1+\vec{E}_2$ напряженностей полей, созданных зарядами q_1 и q_2 .Модули $\vec{E}_1$ и $\vec{E}_2$ напряженностей находим по формулам:

$E_1=\frac{kq_1}{r_1^2}$,$E_2=\frac{kq_2}{r_2^2}$,где r_1=0,2 м, r_2=0,1 м.

Задача№2

Между горизонтальными пластинами заряженного конденсатора, напряжённость которого 49 Н/Кл, находится в равновесии пылинка, имеющая заряд $2\cdot10^{-8}$ Кл. Какова её масса?

Задача№3

Удаётся ли зарядить металлический стержень натиранием о мех или бумагу, если не удаётся, объясните, когда это возможно и проделайте это.

Задача№4. Почему нити прилипают к гребням чесальных машин, применяющихся в текстильной промышленности, и при этом путаются и часто рвутся? Для борьбы с этим явлением в цехах искусственно создают повышенную влажность воздуха. Зачем это делают?

Задача№5. Цинковые опилки просеивают через медное сито. Что произойдет с листочками электроскопа, если струю этих опилок направить на шарик электроскопа?

Задача№6. Потрите стержень электроскопа не наэлектризованной каучуковой палочкой. Электроскоп обнаруживает заряд. Почему?

Задача№7. Почему при переливании бензина из одной цистерны в другую он может воспламениться, если не принять специальных мер предосторожности?

Задача№8. На предприятиях резиновой промышленности при вальцовке каучук пропускают между двумя вращающимися валами. Если поднести руку к такому каучуку, то появится искра. Почему?

Задача№9. Если ножовкой распиливать лист какого-нибудь полимера (полиэтилен, полистирол, винипласт, плексиглас и др.), то опилки прилипают к ножовке, к столу, на котором укреплена обрабатываемая деталь, и другим предметам. Чем это объясняется?

Задача№10. Можно ли на концах стеклянной палочки получить два одновременно существующих разноименных заряда?

Практическая работа № 2
Изучение закона Ома для полной цепи

Цель работы: измерить ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока.

Основные теоретические положения

Рассмотрим **Закон Ома** (*Ohm's law*) для полной электрической цепи постоянного тока. Здесь нас прежде всего интересует его практическое отношение к постоянному току (*direct current*). Различают две формулировки **Закона Ома**, одна для участка цепи, а другая для полной цепи. В последней учитывается источник тока, точнее его внутреннее сопротивление.

Простейшая электрическая цепь постоянного тока состоит из источника тока и одной единственной резистивной нагрузки, а попросту из — активного сопротивления.

Закон Ома — закон пропорциональности

Формулировка **Закона Ома** для полной цепи и для участка цепи — это утверждение пропорциональности. Устанавливается достаточна простая алгебраическая связь между величинами силы тока, суммы сопротивлений (r+R) и ЭДС источника тока.

Сила тока в электрической цепи, прямо пропорциональна ЭДС источника и обратно пропорциональна сумме внутреннего сопротивления этого источника и общего сопротивления цепи.

Наиболее понятное и простое применение **Закона Ома** в такой формулировке — это электрическая цепь с одним источником тока в ветви (контуре). Кроме **Закона Ома**, для расчёта электрических цепей, необходимо знать правила Кирхгофа, а также иметь базовые представления об элементах цепей, таких как узлы, ветви, контуры, двухполюсники и т. п.

Потери на внутреннем сопротивлении источника ЭДС

Самый простой пример иллюстрирующий влияние внутреннего сопротивления источника тока — это гальванические элементы (батареи) и аккумуляторы. Способность источника тока выдавать большое значение силы тока напрямую зависит от его внутреннего сопротивления. Чем оно больше, тем меньший ток способен выдать источник ЭДС.

Правильное понимание **Закона Ома для полной цепи** позволяет правильно рассчитать и выбрать источник тока по нагрузке, а также позволяет своевременно выявить дефекты источников тока. Тот источник тока, который не пригоден для низкоомной нагрузки, потому как его внутреннее сопротивление в больше или равно сопротивлению нагрузки, будет вполне пригоден в эксплуатации для питания электрической цепи с нагрузкой в 10 раз большим сопротивлением, чем его собственное.

Чем большую мощность нужно получить на нагрузке при малом значении ЭДС, тем меньше должно быть внутреннее сопротивление источника. Поэтому самыми лучшими источниками постоянного тока (DC) в настоящее время остаются химические аккумуляторы, хотя вполне возможно, что их могут превзойти в этом полупроводниковые источники тока — солнечные батареи.

Оптимальным считается, когда падение напряжения на внутреннем сопротивлении, более чем в 10 раз меньше чем падение напряжения на полезной нагрузке. Если говорить языком пропорциональности, то это означает, что зная сопротивление нагрузки или её мощность, нужно выбирать источник тока, где его внутреннее сопротивление (*импеданс*) будет более чем в 10 раз меньшим.

Согласно закону Ома сила тока I в замкнутой цепи с одним источником питания определяется выражением: $I = \frac{\xi}{r + R}$ (1)

Отсюда: $Ir + IR = \xi$ (2)

Из формулы (2) можно найти внутреннее сопротивление r источника тока, ЭДС которого предварительно измеряют вольтметром:

$$r = \frac{\xi - IR}{I} = \frac{\xi}{I} - R \quad (3)$$

Оборудование, средства измерения: 1) источник питания, 2) проволочный резистор сопротивлением 2 Ом, 3) амперметр, 4) ключ, 5) вольтметр, 6) соединительные провода.

Экспериментальная установка изображена на рисунке 1. К источнику тока 1 подключается резистор 2, амперметр 3 и ключ 4. ЭДС источника тока непосредственно измеряется вольтметром 5.

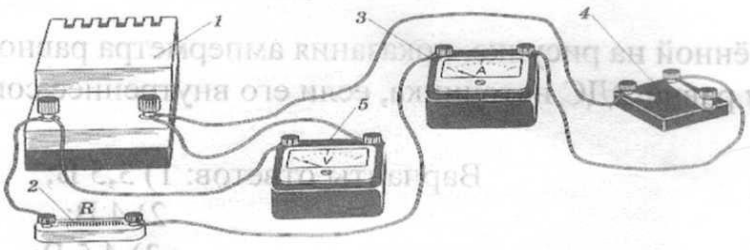


Рис 1

Сила тока I измеряется амперметром.

Порядок выполнения работы

1. Начертите схему цепи.
2. Соберите цепь по схеме.
3. Измерьте вольтметром ЭДС источника тока при разомкнутой цепи Ɛ=В.
4. Снимите показания вольтметра и амперметра при замкнутой цепи.
5. Все измерения занесите в таблицу.
6. Вычислите r (внутреннее сопротивление источника тока).
7. Рассчитайте погрешности:

а) $\Delta\xi = U_{max} \times \frac{k_V}{100} =$

$\xi \pm \Delta\xi =$

б) $\Delta I = I_{max} \times \frac{k_A}{100} =$

в) $\Delta R = R \times \varepsilon = R \times \frac{\Delta R}{R} = R \times 0{,}03 =$

$$\Delta r = \frac{\xi}{I}\left(\frac{\Delta\xi}{\xi} + \frac{\Delta I}{I}\right) + \Delta R =$$

Таблица.1

ξ, В	U, В	I, А	R, Ом	r, Ом	Класс точности амперметра	Класс точности вольтметра	$\Delta\xi$	ΔI	ΔR	Δr	U_{max}, В	I_{max}, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

.

Решите задачу:

В цепи, изображённой на рисунке 2, показания амперметра равно 0,5 А, вольтметра - 4 В. Чему равна ЭДС источника, если его внутреннее сопротивление 1 Ом? Варианты ответов: 1) 3,5 В; 2) 4 В; 3) 4,5 В; 4) 5 В

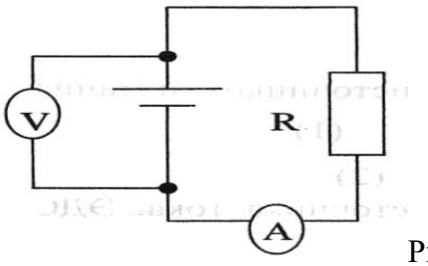


Рис №2

Контрольные вопросы

1. Определение электрической цепи.
2. Из чего состоит простая электрическая цепь?
3. Как узнать сопротивление нагрузки при устоявшемся режиме работы, то есть когда лампа горит в полный накал?

Практическая работа №3
Параллельное и последовательное соединение резисторов

Цель работы: изучить законы протекания тока через параллельно и последовательно соединенные проводники (резисторы) и экспериментально проверить закон Ома.

Оборудование:

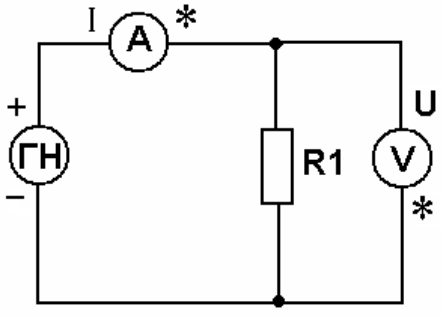
1. Блок генераторов напряжений ГН2, в данной работе используется генератор регулируемого постоянного напряжения 0…15 В (в генераторе обязательно включить его внутреннее сопротивление $R_{ВН}$).
2. Блок амперметра-вольтметра АВ1.
3. Стенд с объектами исследования С3-ЭТ01, в данной работе используются резисторы R1 = 150 Ом и R4 = 270 Ом.

Ход работы:

Параллельное соединение резисторов.

Опыт №1. 1.1. Собрать электрическую схему, показанную на рисунке №1:

1.2. **Предъявить собранную схему для проверки преподавателю!**



1.3. На блоке амперметра-вольтметра нажать кнопку «Сеть», остальные три кнопки выбора: мА, мкА, = и ≈ должны быть отжаты.

1.4. Пределы на амперметре и вольтметре установить на 20 мА и 20В.

1.5. На блоке генераторов ГН нажать кнопку «Сеть» и в генераторе 0…15 В включить его внутреннее сопротивление $R_{ВН}$!.

Рис.№1

1.6. Наблюдая за показаниями вольтметра регулятором установить выходное напряжение с генератора **U = 2В**

1.7. Показания приборов записать в таблицу №1 (столбцы 2 и 4).

1.8. Отключить генератор и приборы кнопками «Сеть».

Опыт №2. 2.1. Сделать следующее изменение в схеме: вместо резистора R1 подсоединить резистор R4.

2.2. Вновь выполнить пункты с 1.3. по 1.8.

Опыт №3. 3.1. Собрать электрическую схему, показанную на рисунке №2.

3.2. **Предъявить собранную схему для проверки преподавателю!**

3.3. Вновь выполнить пункты с 1.3. по 1.8. Если будет необходимо, то предел амперметра установить на 200мА.

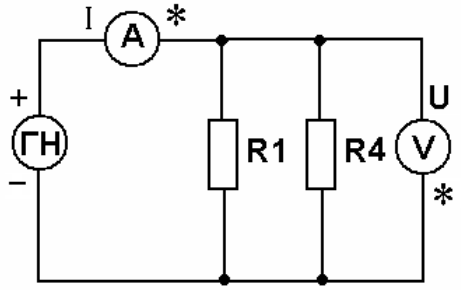
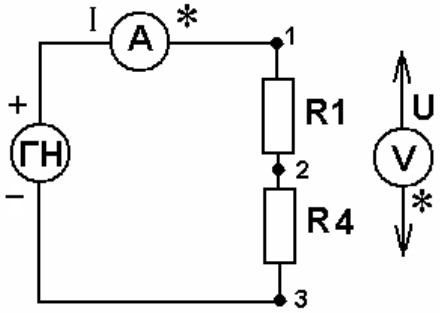


Рис.№2

Последовательное соединение резисторов

Опыт №4. 1.1. Собрать электрическую схему, показанную на рисунке №4:

Рис.№4



4.2. Подсоединить вольтметр к точкам 1 и 3 схемы.

4.3. Предъявить собранную схему для проверки преподавателю!

4.4. На блоке амперметра-вольтметра нажать кнопку «Сеть», остальные три кнопки выбора: мА, мкА, = и ≈ должны быть отжаты.

4.5. Пределы на амперметре и вольтметре установить соответственно на 20 мА и 20В.

4.6. На блоке генераторов ГН нажать кнопку «Сеть» и в генераторе 0…15 В включить его внутреннее сопротивление $R_{ВН}$!.

4.7. Наблюдая за показаниями вольтметра регулятором установить выходное напряжение с генератора **U = 3В.**

4.8. Показания приборов записать в таблицу №2 (столбцы 2 и 3 – вся цепь).

4.9. Измерить напряжение на резисторе R1, для этого подсоединить вольтметр к точкам 1 и 2 схемы. Показания приборов записать в таблицу №2 (столбцы 2 и 3).

4.10. Измерить напряжение на резисторе R2, для этого подсоединить вольтметр к точкам 2 и 3 схемы. Показания приборов записать в таблицу №2 (столбцы 2 и 3).

Таблица №1

		$R_{зад}$	$U_{уст}$	$g_{расч}$	$I_{изм}$		$P_{расч}$	$I_{расч}$	ΔI	γ
№ опыта	**Ед. изм.**	Ом	В	См	mA	A	Вт	A	A	%
	Схема	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Рис.№1 с резисто-									

	ром R1									
2	Рис.№1 с резисто-ром R4									
3	Рис.№2 Вся цепь									

Таблица №2

	$R_{зад}$	$U_{изм}$	$I_{изм}$		$P_{расч}$	$I_{расч}$	ΔI	γ
Ед. изм.	Ом	В	mA	A	Вт	A	A	%
Участок цепи	1	2	3	4	5	6	7	8
R1								
R4								
Вся цепь								

Порядок выполнения расчетов.

5.1. Рассчитать $\mathbf{R_{зад}}$ для всей цепи (расчет должен быть показан в отчете), результат занести в таблицу №1 (столбец 1).

5.2. Перевести значения тока $I_{изм}$ из мА в амперы, результаты занести в таблицу №1 (столбец 5).

5.3. Рассчитать силу тока $\mathbf{I_{расч}}$ по закону Ома для участка цепи (все расчеты должны быть показаны в отчете), результаты занести в таблицу №1 (столбец 7).

5.4. Заполнить все остальные столбцы таблицы, используя дополнительные расчетные формулы:

Параллельное соединение резисторов.

Проводимость участка цепи $g_{расч} = 1/ R_{зад;}$

Расчетная мощность $P_{расч} = U_{изм} * I_{изм;}$

Абсолютная погрешность измерения $\Delta I = I_{изм} - I_{расч}$;

Относительная погрешность измерения $\gamma = (\Delta I/ I_{расч})*100\%$

(все данные расчеты должны быть показаны в отчете)

5.5. Убедиться, что: $U = const;$ $I_Ц = I_1 + I_2 + I_3$; $1/R_Ц = 1/R_1 + 1/ R_2 + 1/R_3$;

$P_Ц = P_1 + P_2 + P_3;$ $g_Ц = g_1 + g_2 + g_3$

Последовательное соединение резисторов

$I = const;$ $UЦ = U1 + U2 + U3$;

$RЦ = R1 + R2 + R3$; $PЦ = P1 + P2 + P3;$

(все данные расчеты должны быть выполнены в отчете).

5.6. Сделать вывод по пункту 5.5. - как выполняются законы параллельного и последовательного соединения.

5.7. Составить отчет по выполнению лабораторно-практической работы, соблюдая правила оформления и сдать преподавателю.

Контрольные вопросы

1. Что называется электрическим сопротивлением?
2. Дать определение узлу, ветви и контуру цепи.
3. Амперметр назначение, метод подключения.
4. Вольтметр назначение, метод подключения.

Практическая работа №4

Решение задач по теме «Расчет электрических цепей»

Цель работы: Практические занятия проводятся с целью успешного освоения студентами теоретического материала и применения его для решения задач и анализа полученных результатов.

Основные теоретические положения

Расчет простой электрической цепи.

В цепи с источниками постоянного тока можно исключить все индуктивности, закоротив их, а все ветви, содержащие конденсаторы, — разомкнуть. В этом случае уравнение электрического состояния контура приобретает вид:

$$\Sigma RI = \Sigma E.$$

В уравнении положительные знаки принимаются для тех токов и эдс, направления которых совпадают с произвольно выбранным направлением обхода рассматриваемого контура. При этом в качестве приемников могут быть несколько резисторов, включенных последовательно и параллельно. Если известны эдс генератора, его внутреннее сопротивление и сопротивление резисторов, то токи во всех ветвях можно найти, используя метод преобразования (свертывания) или метод пропорциональных величин (подобия).

Этот метод состоит в замене групп последовательно и параллельно соединенных резисторов эквивалентным Rэ. Затем по уравнению состояния простого контура находят ток в неразветвленной части цепи. Посредством обратного преобразования находят токи во всех ветвях заданной цепи.

Метод пропорциональных величин (подобия)

Сущность метода состоит в гом, что в электрической схеме задаются произвольным значением тока в одной из ветвей и затем после определения токов в других ветвях находят эдс E'. Сравнивают полученное значение E' с заданной эдс E, находят коэффициент пропорциональности K=E/E'. Для нахождения действительных токов в ветвях схемы полученные значения токов умножают на коэффициент K.

Расчет сложной электрической цепи

Любую ветвь электрической цепи постоянного тока, из скольких бы элементов она ни состояла, можно привести путем преобразования к двум элементам: активному и пассивному {E и R). Общий анализ сложной электрической цепи, когда известны конфигурация цепи и параметры ее элементов, состоит в нахождении токов и напряжений во всех ветвях, а также мощности на участках цепи. Эта задача может быть решена с помощью уравнений электрического состояния.

При составлении уравнений электрического состояния рекомендуется придерживаться определенной последовательности

1) задаться произвольно-положительными направлениями токов во всех ветвях;

2) составить уравнения для узлов;

3)составить уравнения для контуров.

Общее число уравнений должно быть равно количеству неизвестных, т. е. количеству токов ветвей в. Эти уравнения должны быть независимы, т. е. ни одно из них не должно быть следствием других. Так, число уравнений, составленных для узлов, должно быть на единицу меньше общего числа узлов (у—1). Действительно, каждая ветвь связывает два узла и поэтому значение тока в одно уравнение войдет со знаком «плюс», а в другое — со знаком «минус». Следовательно, одно узловое уравнение окажется лишним.

Количество контурных уравнений k определяется из выражения k=b-(y-1) При выборе контуров для составления уравнений следует исходить из того же принципа независимости уравнений. Контуры необходимо выбирать так, чтобы в систему составляемых уравнений вошли все ветви схемы, а в каждый из контуров — наименьшее число ветвей.

Наряду с токами и напряжениями характеристикой электрической цепи является также энергетическое состояние: баланс мощностей, выделяемых источниками энергии и потребляемых приемниками.

Из закона сохранения энергии для любой электрической цепи алгебраическая сумма мощностей источников эдс равна сумме мощностей, потребляемых в приемниках (резисторах):

Если направления эдс'и тока, действующих в ветви, совпадают, то мощность такого источника эдс будет в уравнении со знаком плюс — источник отдает энергию в цепь (работает в режиме генератора). Если направление действия эдс не совпадает с направлением тока в ветви, то источник эдс потребляет энергию и в уравнении будет знак «минус».

Рационализированные методы общего расчета электрических цепей

Решение системы уравнений электрического состояния узлов и контуров, если количество ветвей в электрической цепи более трех, создает известные трудности.

Упростить расчет сложных электрических цепей возможно двумя методами: наложения (суперпозиции) и с помощью вспомогательных неизвестных.

Метод наложения состоит в предварительных преобразованиях, позволяющих сложную цепь представить несколькими простыми цепями.

Метод вспомогательных неизвестных - контурных токов или узловых потенциалов, заключается во введении этих неизвестных в расчеты, число которых существенно меньше числа ветвей в цепи.

Метод наложения используется для линейной системы. Принцип наложения заключается в том, что если линейная цепь подвергается воздействию нескольких источников эдс одновременно, то реакция (ток) цепи на эти источники равна алгебраической сумме реакций (токов) на каждое воздействие отдельно.

Метод контурных токов

В методе контурных токов в качестве промежуточных переменных выбирают токи, замыкающиеся в каждом контуре и называемые контурными. В этом случае число уравнений уменьшается до числа независимых контуров (ячеек), т. е. до k=b-(y-1). Очевидно, этот метод будет выгоден, когда k=≤(y-1).

При расчете электрических цепей методом контурных токов, следует руководствоваться следующими правилами:

1. Число контурных токов, замыкающихся через каждую из ветвей, должно быть по возможности минимальным, т. е. следует выбирать только простые контуры;

2. Положительные направления контурных токов можно выбирать произвольно, лучше (удобнее) по часовой стрелке.

Метод узлового напряжения

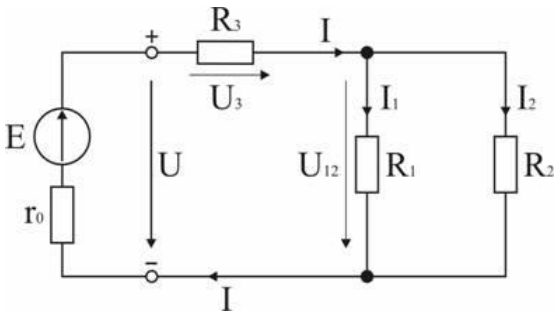
Если разветвленная цепь имеет только два узла или путем несложных преобразований может быть приведена к двум узлам, то анализ таких цепей ведут методом двух узлов, который называют методом узлового напряжения.

Методы анализа режимов отдельной ветви или части электрической цепи

В практике возникает необходимость исследовать режимы отдельных участков или ветвей схемы при изменении их параметров или параметров на других участках (ветвях) схемы, выбрать оптимальные режимы их работы, например при максимальной мощности, заданном коэффициенте полезного действия, получении линейности и стабильности характеристики при изменении режимов источника питания и др.

Воздействие сложной активной электрической цепи (активного двухполюсника) на исследуемую ветвь можно заменить воздействием последовательно соединенных эдс E, и его внутреннего сопротивления Rв.

Расчет цепи с одним источником питания



Задача 1. В цепи, схема которой приведена на рис. 1.29, ЭДС аккумуляторной батареи E = 78 В, ее внутреннее сопротивление r_0 = 0,5 Ом. Сопротивления резисторов R_1 = 10 Ом, R_2 = 5 Ом, R_3 = 4 Ом. Вычислить токи во всех ветвях цепи и напряжения на зажимах батареи и на каждом их резисторов.

Анализ и решение задачи 1

1. Обозначение токов и напряжений на участках цепи.

Резистор R_3 включен последовательно с источником, поэтому ток I для них будет общим, токи в резисторах R_1 и R_2 обозначим соответственно I_1 и I_2. Аналогично обозначим напряжения на участках цепи.

2. Определение эквивалентного сопротивления цепи:

$R_э = r_0 + R_3 + R_1 R_2 / (R_1 + R_2) = 0,5 + 4 + 5 * 10 / (5 + 10) = 7,8$ Ом

3. Ток в цепи источника рассчитываем по закону Ома:

$I = E / R_э = 78 / 7,8 = 10$ А.

4. Определение напряжений на участках цепи:

$U_{12} = R_{12} I = 3,3 * 10 = 33$ В; $U_3 = R_3 I = 4 * 10 = 40$ В;

$U = E - r_0 I = 78 - 0,5 * 10 = 73$ В.

5. Определение токов и мощностей всех участков:

$I_1 = U_{12} / R_1 = 33 / 10 = 3{,}3$ А; $I_2 = U_{12} / R_2 = 33 / 5 = 6{,}6$ А;

$P_1 = R_1 I_1^2 = U_{12} I_1 = 108{,}9$ Вт; $P_2 = R_2 I_2^2 = U_{12} I_2 = 217{,}8$ Вт;

$P_3 = R_3 I^2 = U_3 I = 400$ Вт.

Мощность потерь на внутреннем сопротивлении источника

$\Delta P = r_0 I^2 = 50$ Вт.

Мощность источника $P = E I = 780$ Вт.

Дополнительные вопросы к задаче 1

1. Как проверить правильность решения задачи?

Правильность вычисления токов можно проверить, составив уравнение на основании первого закона Кирхгофа: $I = I_1 + I_2$.

Правильность расчета мощностей проверяют по уравнению баланса мощностей: $P = P_1 + P_2 + P_3 + \Delta P$.

2. Каким будет напряжение на зажимах источника, при обрыве в цепи резистора R_3?

Это будет режим холостого хода источника ЭДС, при котором $U = E$, т.к. ток I равен 0 и $I r_0 = 0$.

3. Каким будет ток в цепи источника при коротком замыкании на его зажимах?

В режиме короткого замыкания $U = 0$ и ток источника ограничивается только его внутренним сопротивлением

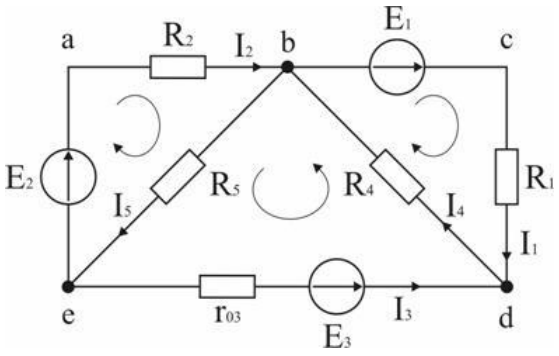
$I_{кз} = E / r_0 = 78 / 0{,}5 = 156$ А.

4. Как изменятся токи в схеме при увеличении R_1?

При увеличении R_1 увеличивается сопротивление параллельного участка схемы R_{12}, поэтому увеличивается сопротивление $R_{экв}$, что приводит к уменьшению тока I. При уменьшении I уменьшаются падения напряжения $I R_3$ и $I r_0$ и, в соответствии со вторым законом Кирхгофа, напряжение на разветвлении $U_{12} = E - I (R_3 + r_0)$ возрастает, что приводит к увеличению тока в резисторе R_2. Т.к. ток I уменьшается, а ток I_2 возрастает, ток $I_1 = I - I_2$уменьшается.

Расчет сложных цепей при помощи уравнений Кирхгофа

Задача 2. Рассчитать схему рис. 1.30, составив систему уравнений на основании законов Кирхгофа.



Исходные данные к задаче:

$E_1 = 60$ В; $E_2 = 80$ В; $E_3 = 70$ В;

$R_1 = 20$ Ом; $R_2 = 50$ Ом; $r_{03} = 5$ Ом; $R_4 = 65$ Ом; $R_5 = 85$ Ом.

Анализ и решение задачи 2

1. Определение необходимого числа уравнений.

В схеме рис. 1.30 пять ветвей и для расчета токов в них надо составить пять уравнений. По первому закону Кирхгофа составляются уравнения для всех узлов, кроме одного (уравнение для него будет следствием предыдущих), по второму – для независимых контуров (в каждый последующий контур входит хотя бы одна ветвь, не вошедшая в ранее рассмотренные). Для данной схемы надо составить два уравнения по первому закону и три – по второму.

2. Составление и решение системы уравнений.

Для составления уравнений задаемся произвольно направлениями токов в ветвях и направлениями обхода контуров (рис. 1.30).

Уравнение для узла d: $I_1 + I_3 - I_4 = 0$.
Уравнение для узла e: $- I_2 - I_3 + I_5 = 0$.
Уравнение для контура bcd: $I_1R_1 + I_4R_4 = E_1$.
Уравнение для контура abe: $I_2R_2 + I_5R_5 = E_2$.
Уравнение для контура bde: $I_3r_{03} + I_4 R_4 + I_5R_5 = E_3$.

Подставив в уравнения численные значения величин, получим алгебраическую систему уравнений:

$I_1 + I_3 - I_4 = 0$;
$- I_2 - I_3 + I_5 = 0$;
$20 I_1 + 65 I_4 = 60$;
$50 I_2 + 85 I_5 = 80$;
$5 I_3 + 65 I_4 + 85 I_5 = 70$.

Решение системы дает значения токов: $I_1 = 1{,}093$ А; $I_2 = 0{,}911$ А; $I_3 = -0{,}506$ А; $I_4 = 0{,}587$ А; $I_5 = 0{,}405$ А.

Дополнительные вопросы к задаче 2

1. Что означает минус перед численным значением тока I_3?

Знак «–» говорит о том, что реальное направление тока в данной ветви противоположно принятому в начале расчета.

2. В каких режимах работают элементы схемы, содержащие источники ЭДС?

В ветвях с E_1 и E_2 токи совпадают по направлению с ЭДС, т.е. данные элементы работают источниками, отдавая энергию в схему; в ветви с ЭДС E_3 ток направлен против ЭДС, т.е. данный элемент работает потребителем (например, машина постоянного тока в режиме двигателя).

3. Как проверить правильность решения задачи?

Для проверки правильности расчета можно на основании законов Кирхгофа написать уравнения для узлов и контуров схемы, которые не использовались при составлении исходной системы. Независимой проверкой является уравнение баланса мощностей: сумма мощностей источников равна сумме мощностей, расходуемых в резистивных элементах

схемы. Т.к. элемент схемы с ЭДС может работать как в режиме источника, так и в режиме потребителя, соответствующее слагаемое в левой части уравнения берется с плюсом, если E и I совпадают по направлению (источник), и с минусом, если направления противоположны (потребитель).

Мощности элементов схемы с ЭДС:

$E_1I_1 + E_2I_2 - E_3I_3 = 60 * 1 * 1{,}093 + 80 * 0{,}911 - 70 * 0{,}506 = 104{,}04$ Вт.

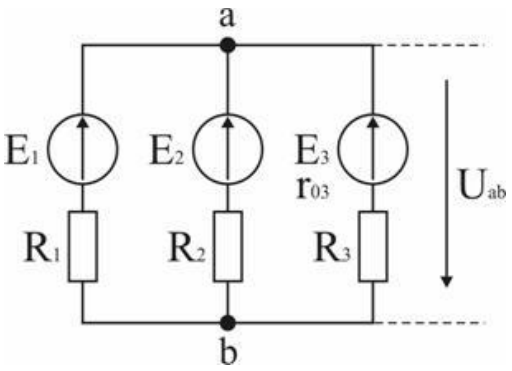
Мощности, расходуемые в резистивных элементах схемы:

$I_1^2R_1 + I_2^2R_2 + I_3^2r_{03} + I_4^2R_4 + I_5^2R_5 = 1{,}093^2 * 20 + 0{,}911^2 * 50 + 0{,}506^2 * 5 + 0{,}587^2 * 65 + 0{,}405^2 * 85 = 103{,}01$ Вт

□EI = □P Баланс мощностей сошелся, следовательно задача решена верно.

Расчет цепи методом узлового напряжения

Задача 1. В схеме рис. 1.31 $E_1 = 60$ В, $E_2 = 48$ В, $E_3 = 6$ В, $R_1 = 200$ Ом, $R_2 = 100$ Ом, $r_{03} = 0{,}5$ Ом, $R_3 = 9{,}5$ Ом. Определить токи в ветвях схемы.



Анализ и решение задачи 1

1. Вычисление узлового напряжения. Для схемы с двумя узлами напряжение между ними можно подсчитать по формуле

$$U_{ab} = \frac{E_1g_1 + E_2g_2 + E_3g_3}{g_1 + g_2 + g_3},$$

где E_i – ЭДС i-й ветви, g_i – ее проводимость $\left(g_i = \frac{1}{R_i}\right)$.

Подставляем числовые значения:

$$U_{ab} = \frac{60/200 + 48/100 + 6/(0{,}5 + 9{,}5)}{1/200 + 1/100 + 1/(0{,}5 + 9{,}5)} = 12$$ В.

2. Расчет токов в ветвях

Токи определяем на основании закона Ома для ветви с источником: напряжение на зажимах источника равно его ЭДС минус падение напряжения на его внутреннем сопротивлении:

$$I_1 = \frac{E_1 - U_{ab}}{R_1} = \frac{60 - 12}{200} = 0{,}24$$ А;

$$I_2 = \frac{E_2 - U_{ab}}{R_2} = \frac{48 - 12}{100} = 0{,}36$$ А;

$$I_3 = \frac{E_3 - U_{ab}}{r_{03} + R_3} = \frac{6-12}{0{,}5+9{,}5} = -0{,}6$$ А.

Дополнительные вопросы к задаче 1

1. Как повлияет на порядок расчета изменение полярности ЭДС в одной из ветвей схемы?

В формуле узлового напряжения и при расчете тока в этой ветви данную ЭДС надо брать со знаком «минус».

2. В каких режимах работают источники схемы?

По результатам расчета $U_{ab} < E_1$, $U_{ab} < E_2$, т.е. эти элементы схемы работают источниками; т.к. $U_{ab} > E_3$, т.к. в третьей ветви направлен против E_3 и принятого перед началом расчета направления I_3, т.е. этот элемент схемы работает в режиме потребления энергии.

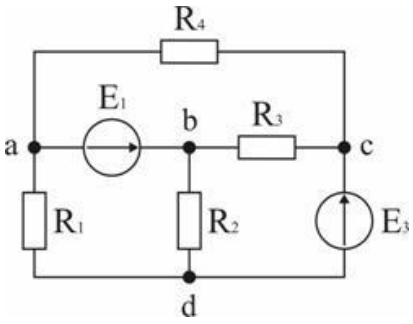
3. В каких режимах будут работать источники, если за счет изменения величины ЭДС E_3 увеличить узловое напряжение U_{ab} до 48 В?

Увеличением E_3 можно установить $U_{ab} = 48$ В $= E_2$, при этом ток I_2 будет равен нулю (режим холостого хода), источник E_1 вырабатывает энергию, E_3 – потребляет. Ток в схеме и необходимую величину E_3 определим на основании второго закона Кирхгофа:

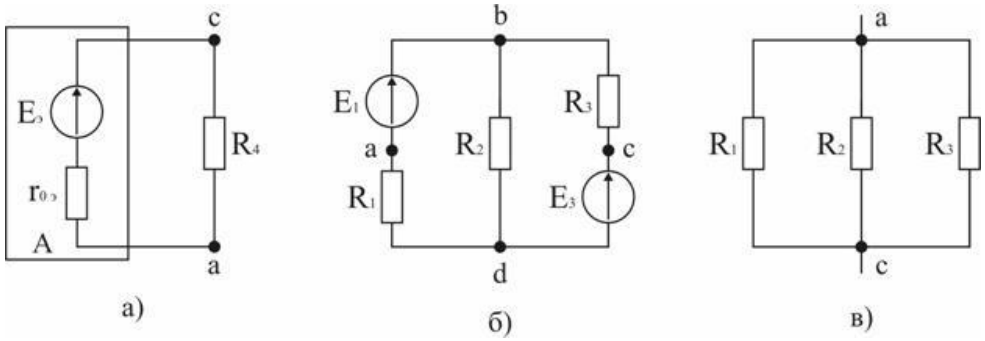
$$I_1 = -I_3 = \frac{E_1 - U_{ab}}{R_1} = \frac{60-48}{200} = 0{,}06$$ А;

$E_3 = U_{ab} + I_3 (r_{03} + R_3) = 48 - 0{,}06 * 10 = 47{,}4$ В.

Расчет цепей методом эквивалентного генератора



Задача 2. В схеме рис. 1.32 $E_1 = 10$ В, $E_2 = 25$ В, $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = 40$ Ом, $R_3 = 5$ Ом, $R_4 = 6{,}36$ Ом. Определить ток в ветви с резистором R_4.



Анализ и решение задачи 2

1. Заменим по отношению к ветви с резистором R_4 всю остальную схему эквивалентным генератором (активным двухполюсником) с ЭДС $E_э$ и внутренним сопротивлением $r_{0э}$ (рис. 1.33, а). ЭДС $E_э$ определяется по результатам расчета режима холостого хода генератора как напряжение между точками «а» и «с» схемы рис. 1.32 при разомкнутой ветви с резистором R_4.

После размыкания ветви с R_4 получается схема с двумя узлами рис. 1.33, б. Узловое напряжение

$$U_{bd} = \frac{E_1/R_1 + E_3/R_3}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3} = \frac{10/20 + 25/5}{1/20 + 1/40 + 1/5} = 20$$ В.

Ток в ветви с ЭДС E_3

$I_3 = (E_3 - U_{bd}) / R_3 = (25 - 20) / 5 = 1$ А.

Для расчета напряжения между точками «а» и «с» в схеме рис. 1.33, б примем потенциал точки «а» равным нулю, тогда

$\varphi_a = 0$; $\varphi_b = \varphi_a + E_1 = 10$ В; $\varphi_c = \varphi_b + I_3R_3 = 15$ В; $E_r = \varphi_c - \varphi_a = 15$ В.

2. Для расчета внутреннего сопротивления генератора в схеме рис. 1.33, б закорачиваются все ЭДС (рис. 1.33, в) и определяется сопротивление по отношению к точкам «а» и «с»:

$$\frac{1}{r_{оэ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$; $r_{оэ} = 3{,}64$ Ом

3. Ток в ветви с резистором R_4 (схема рис. 1.33, а)

$I_4 = E_э / (r_{0э} + R_4) = 20 / (3{,}64 + 6{,}36) = 2$ А.

Дополнительные вопросы к задаче 2

1. Как экспериментально определить параметры эквивалентного генератора?

Исходя из эквивалентности схем рис. 1.32, а и рис. 1.33, а, $E_э$ и $r_{0э}$ можно рассчитать по результатам двух опытов. Разомкнув ветвь с R_4, измеряем напряжение между точками «с» и «а» U_{xx}, равное ЭДС $E_э$, (опыт холостого хода). Для определения $r_{0э}$ проводится (если это допустимо) опыт короткого замыкания: заданная ветвь замыкается накоротко и измеряется ток в ней ($I_к$). При этом $r_{0э} = E_э / I_к$.

2. Выбрать величину сопротивления резистора R_4 так, чтобы в нем выделялась максимально возможная мощность.

Для схемы рис. 1.33, а $$P_4 = I_4^2 R_4 = \frac{E_э^2 R_4}{(r_{оэ} + R_4)^2}$$. Максимум мощности P4 определяется решением уравнения $$\frac{dP_4}{dR_4} = 0$$: $R_{н.экстр} = r_{0э}$, при этом $$P_{4max} = \frac{E_э^2}{4r_{оэ}} = \frac{15^2}{4 \times 3{,}64} = 17{,}5$$ Вт. Режим, когда сопротивление нагрузки равно внутреннему сопротивлению источника, называется согласованным, он часто использует-

ся в маломощных электронных устройствах, когда КПД установки (50 %) не имеет существенного значения, но важно передать в нагрузку максимальную мощность (усилители напряжения, маломощные усилители мощности, линии связи и т.д.). При этом все устройство по отношению к нагрузке представляется в виде эквивалентного генератора, параметры которого определяются по результатам анализа работы и расчета устройства.

Самостоятельная работа студента

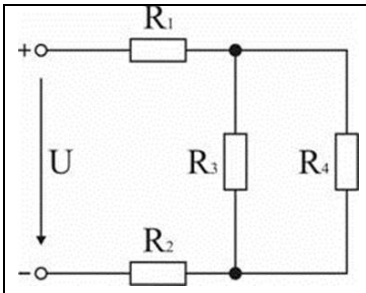


Рис.1.34

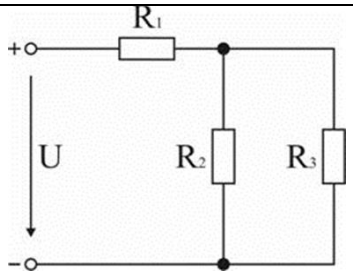


Рис.1.35

Задача 1. В схеме (рис. 1.34) $R_1 = R_3 = 40$ Ом, $R_2 = 20$ Ом, $R_4 = 30$ Ом, $I_3 = 5$ А. Вычислить напряжение источника U и ток I_4. Ответ: 900 В; 6,67 А.

Задача 2. В схеме (рис. 1.34) напряжение U = 65 В, напряжение на зажимах резистора R_4 равно 20 В. Определить все токи в схеме, если $R_2 = 15$ Ом, $R_3 = 10$ Ом, $R_4 = 30$ Ом. Ответ: $I_1 = I_2 = 2$ А; $I_3 = 1,5$ А; $I_4 = 0,5$ А.

Задача 3. В схеме (рис. 1.35) – $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 5$ Ом, $R_3 = 10$ Ом, $I_3 = 2$ А. Найти напряжение источника U. Ответ: 80 В.

Задача 4. К схеме (рис. 1.35) приложено напряжение U = 45 В, при этом ток источника $I_1 = 1,25$ А. Сопротивления ветвей параллельной части схемы равны: $R_2 = 40$ Ом, $R_3 = 10$ Ом. Найти R_1 и токи I_2, I_3. Ответ: $R_1 = 28$ Ом, $I_2 = 0,25$ А, $I_3=1$ А.

Задача 5. В схеме (рис. 1.36) – $R_1 = 50$ Ом, ток источника I = 0,6 А, ток в резисторе R_3 равен $I_3 = 0,4$ А, мощность, расходуемая в резисторе R_4: $P_4 = 0,4$ Вт; напряжение на резисторе R_2: $U_2 = 36$ В. Определить напряжение источника U. Ответ: U = 68 В.

Задача 6. Мощности, расходуемые в сопротивлениях схемы (рис. 1.36): $P_1 = 15$ Вт, $P_2 = 20$ Вт, $P_3 = 10,8$ Вт, $P_4 = 7,2$ Вт. Определить напряжения на участках схемы и токи в ее ветвях, если приложенное к ней напряжение U = 106 Вт. Ответ: I = 0,5 А; $I_3 = 0,3$ А; $I_4 = 0,2$ А; $U_1 = 30$ В; $U_2 = 40$ В; U = 36 В.

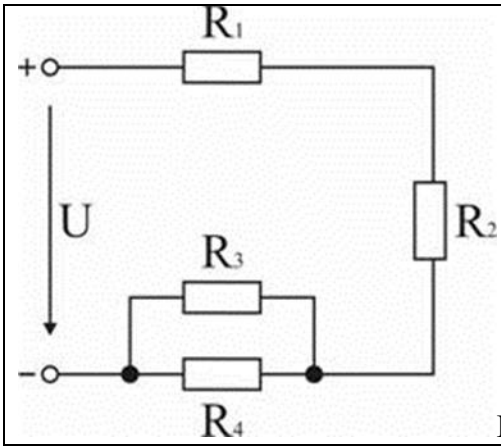


Рис. 1.36

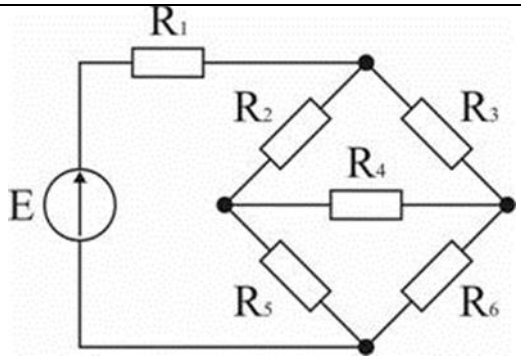


Рис. 1.37

Задача 7. Для схемы (рис. 1.37) дано: R_1 = 2 Ом, R_2 = 4 Ом, R_3 = 10 Ом, R_4 = 60 Ом, R_5 = 22 Ом, R_6 = 5 Ом, E = 12 В. Вычислить ток в диагонали моста R_4, используя преобразование треугольника резисторов R_2, R_3, R_4 в эквивалентную звезду. Ответ: I_4 = 0,077 А.

Задача 8. В схеме (рис. 1.37) определить ток источника, используя преобразование звезды резисторов R_2, R_4, R_5 в эквивалентный треугольник, если R_2 = 6 Ом, R_3 = 42 Ом, R_4 = 12 Ом, R_5 = 24 Ом, R_6 = 28 Ом, I_3 = 0,5 А. Ответ: I = 2,75 А.

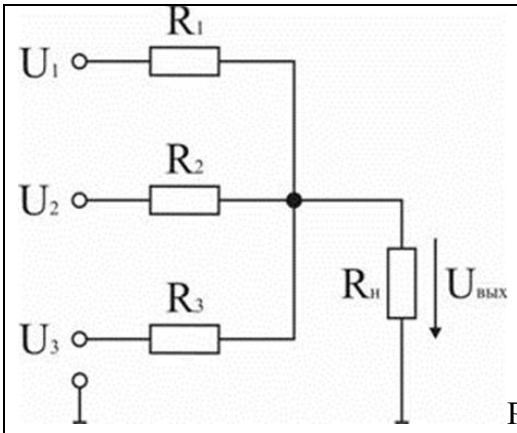
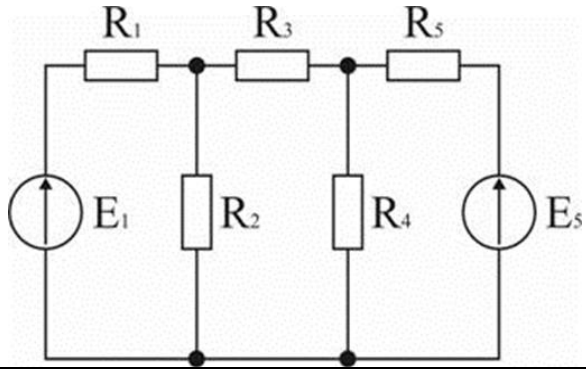


Рис.1.38

Рис. 1.39



Задача 9. Для схемы (рис. 1.38) входные напряжения: U_1 = +10 В, U_2 = -15 В, U_3 = +20 В, R_1 = R_2 = R_3 = 500 Ом, $R_н$ = 1000 Ом. Методом узлового напряжения определить выходное напряжение $U_{вых}$. Ответ: $U_{вых}$ = 4,3 В.

Задача 10. В схеме (рис. 1.39) E_1 = 120 В, E_5 = 140 В, R_1 = 70 Ом, R_2 = 30 Ом, R_3 = 135 Ом, R_4 = 210 Ом, R_5 = 140 Ом. Определить методом эквивалентного генератора величину и направление тока в резисторе R_3. Ответ: I_3 = 0,2 А.

Практическая работа №5
Исследование катушки со стальным сердечником

Цель работы: изучить явление электромагнитной индукции и самоиндукции в катушке, научиться определять величину индуктивности катушки.

Основные теоретические положения

Согласно явлению электромагнитной индукции при перемещении катушки в магнитном поле в ней наводится электродвижущая сила. Аналогичное явление наблюдается, если перемещать постоянный магнит внутри катушки.

Явление самоиндукции заключается в том, что в катушке при включении ее в электрическую сеть возникают ЭДС самоиндукции и ток, направленный навстречу возрастающему току от внешнего источника питания. Наоборот, при выключении электрической сети в катушке возникает ток, совпадающий по направлению с убывающим током в цепи, т. е. поддерживающим его. Причем если в катушку вставить стальной сердечник, то действие ЭДС самоиндукции резко увеличивается. Электродвижущая сила определяется по формуле

$e_L = -L\frac{di}{dt}$, ω

L- индуктивность катушки;

$\frac{di}{dt}$ - скорость изменения тока в цепи.

Одна из основных электрических характеристик катушки — величина ее индуктивности, которая в практических расчетах определяется по формуле (катушка без сердечника)

$L=\frac{\mu_0 \omega^2 S}{l}$ Гн,

$\mu_{0=}\ 4\pi \times 10^{-7}$ — магнитная постоянная, Гн/м;

ω— число витков катушки

S— сечение катушки, м^2

l— длина катушки,

Оборудование

1. Катушка индуктивности L_1—1 шт.
2. Катушка индуктивности L_2—1 шт.
3. Вольтметр магнитоэлектрической системы — 1 шт.
4. Постоянный магнит — 1 шт.
5. Стальной сердечник — 1 шт.
6. Лампа накаливания 36 В, 26 Вт — 2 шт.
7. Переменный резистор 5,0 Ом, 3А— 1 шт.
8. Источник постоянного тока (регулируемый) 120 В — 1 шт.

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему по. рис. 1. Изучить явление электромагнитной индукции, вводя в катушку постоянный магнит.

Повторить опыт с катушкой L_2 с большим числом витков. Вводя и выводя магнит с большей и меньшей скоростью, наблюдать отклонение стрелки вольтметра.

3. Записать результаты наблюдений.
4. Собрать схему по рис. 2 для изучения явления самоиндукции.

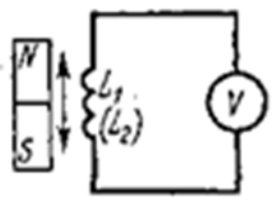


Рис.1.Схема для изучения явления электромагнитной индукции

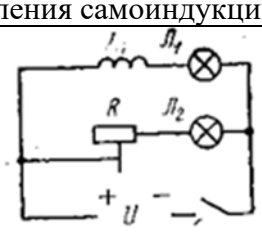


Рис.2. Схема для изучения явления самоиндукции.

5. Включить схему и установить напряжение 60 В.
6. Объяснить, почему при включении цепи лампа Л1 загорается медленнее, чем лампа Л2.
7. Повторить опыт, вставив в катушку стальной сердечник.
8. Записать результаты измерений.
9. Определить величину индуктивности катушек, использованных в работе. Данные и результаты записать в таблицу.

Катушки	Длина l, м	Сечение s, м²	Число витков w	Индуктивность L, Гн
L_1				
L_2				

10. Приступить, к отчету.

Контрольные вопросы

1. В чем проявляется явление электромагнитной индукции в катушке при: перемещении внутри нее постоянного магнита?
2. Почему при введении постоянного магнита внутрь катушки стрелка вольтметра отклоняется в одну сторону, а при выведении из катушки — в другую?
3. Как определить направление индуктированной ЭДС в катушке?
4. Что называется самоиндукцией и как действует ЭДС самоиндукции в электрических цепях?
5. От каких величин зависит индуктивность катушки?
6. Как влияет наличие стального сердечника на величину индуктивности катушки и на самоиндукцию?
7. Почему при прохождении тока в катушке со стальным сердечником он нагревается?

Практическая работа №6
Исследование электрической цепи переменного тока с последовательным соединением активного, индуктивного и емкостного сопротивлений

Цель работы : исследование электрической цепи переменного тока с последовательным соединением активного, индуктивного и емкостного сопротивлений

Основные теоретические положения

Если в цепи с последовательно соединенными активным, индуктивным и емкостным сопротивлениями (рис. 1) проходит синусоидальный ток, то напряжение U, приложенное к данной цепи, расходуется на преодоление трех
сопротивлений: активного Ra, индуктивного $X_L = \omega L$ и емкостного

$$X_C == \frac{1}{\omega C}$$

Активное падение напряжения совпадает по фазе с током. Его действующее значение $U_a = R \cdot I$.

Индуктивное падение напряжений по фазе опережает ток на 90°. Его действующее значение Напряжение на индуктивном сопротивлении опережает по фазе на $\frac{\pi}{2}$ радиана и равно $U_L = X_L \cdot I$,

где $X_L = 2\pi ft = \omega L$ – реактивное индуктивное сопротивление катушки, Ом;

f – частота переменного тока, Гц (1/с);

L – индуктивность, Гн;

ω – угловая частота синусоидального переменного электрического тока, 1/с.

Емкостное падение напряжения по фазе отстает от тока на угол 90°. Его действующее значение Напряжение на емкостном сопротивлении отстает по фазе на $\frac{\pi}{2}$ радиана и равно $U_C = X_C \cdot I$

$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{\omega C}$ – реактивное емкостное сопротивление конденсатора, Ом;

C – емкость конденсатора, Ф.

При $X_L > Xc$ вектор $\overrightarrow{U_L} > \overrightarrow{U_C}$, $\vec{U} = \overrightarrow{U_a} + \overrightarrow{U_L} + \overrightarrow{U_C}$ угол ф положителен; ток отстает по фазе от напряжения.

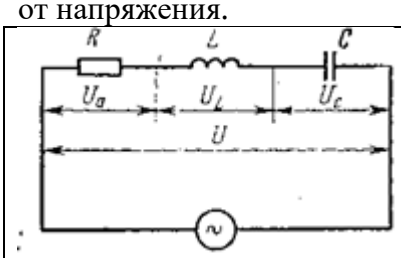


Рис. 1. Последовательная цепь переменного тока, содержащая активное, индуктивное и емкостное сопротивления

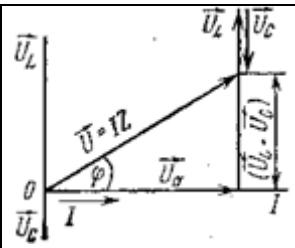


Рис. 2. Векторная диаграмма цепи для цепи $\overrightarrow{U_L} > \overrightarrow{U_C}$

Чтобы определить действующие значения напряжения и тока, используем векторную диаграмму. Рассмотрим случай, когда $X_L > X_C$. Вектор напряжения на индуктивном сопротивлении U_a совпадает по направлению с вектором тока I. Вектор напряжения на индуктивном сопротивлении U_L повернут по отношению к вектору тока на угол $\frac{\pi}{2}$ радиана против движения часовой стрелки и опережает его на $90°$. Вектор напряжения на конденсаторе U_C повернут по отношению к вектору тока также на угол $\frac{\pi}{2}$ радиана, но по движению часовой стрелки и на рисунке направлен вниз; поэтому дадим ему знак минус, противоположный знаку плюс у напряжения на индуктивности. Два вектора напряжения U_L и U_C противодействуют друг другу, и, если вольтметром замерить напряжение на этих двух сопротивлениях, получим их алгебраическую сумму

Рис. 1 Схема последовательного соединения резистора R, катушки индуктивности L и конденсатора C

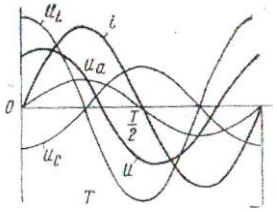


Рис.2 Синусоидальные кривые мгновенных значений напряжений и силы тока при последовательном

соединении резистора, катушки индуктивности и конденсатора

$U_L + (-U_C) = (U_L - U_C)$

Так как $X_L > X_C$ и вектор $U_L > U_C$, сумма этих двух векторов будет положительной и направлена вверх. Теперь сложим геометрический вектор $(U_L - U_C)$ с вектором U_a и получим гипотезу прямоугольного треугольника U, катеты которого равны U_a и $(U_L - U_C)$.

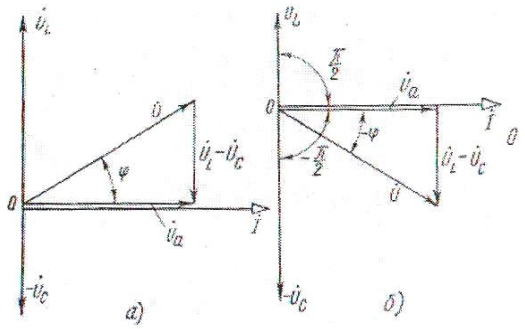


Рис.3. Векторные диаграммы напряжений и силы тока при последовательном соединении резистора,
катушки индуктивности и конденсатора

Величину вектора напряжения U, подведенного ко всей данной цепи можно вычислить алгебраически, используя теорему Пифагора

$U = \sqrt{U_a^2 + (U_L - U_C)^2}$.

На векторной диаграмме видно, что вектор I отстает от вектора напряжения U, подведенного ко всей электрической цепи, на угол ϕ – угол сдвига фаз.

На рисунке приведена векторная диаграмма той же цепи, показанной на рисунке, но для случая, когда $X_L < X_C$. Полное сопротивление электрической цепи, состоящей из последовательно включенных R, X_L и X_C, определяем по формуле

$z = \sqrt{R^2 + (X_L + X_C)^2}$,

а силу тока вычисляют по закону Ома для цепи переменного тока $I = \dfrac{U}{z}$.

Если $X_L = X_C$, то разность $X_L - X_C$ обращается в нуль и полное сопротивление z цепи становится равным активному сопротивлению R цепи. Векторы U_L и U_C равны по величине и взаимно компенсируют друг друга. Вектор U сливается с вектором U_a, т.е. входное напряжение цепи равно напряжению на активном сопротивлении и совпадает по фазе с током. Напряжения на индуктивности и емкости находятся в противофазе и равны друг другу по величине. Такое состояние цепи называют *последовательным резонансом* цепи*, или резонансом напряжений.* Для определения напряжений на реактивных элементах цепи при резонансе достаточно знать входное напряжение цепи и величины активных и реактивных сопротивлений.

$U_C = X_C \cdot I = X_C \cdot \dfrac{U}{R} = \dfrac{1}{\omega CR} \cdot U$; $U_L = X_L \cdot I = X_L \cdot \dfrac{U}{R} = \dfrac{1}{\omega CR} \cdot U$.

Зная напряжение и силу тока цепи при резонансе можно определить величины активных и реактивных сопротивлений цепи и построить треугольник сопротивлений.

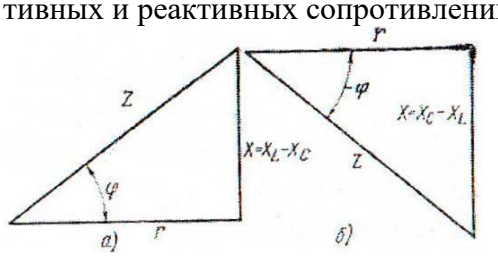


Рис.4 Треугольники сопротивлений цепи с последовательным соединением резистора, катушки индуктивности и конденсатора

Из приведенных формул видно, что чем меньше активное сопротивление цепи, тем выше напряжение на реактивных элементах; это напряжение может стать значительно выше напряжения U, подведенного ко всей цепи.

На основании равенства напряжений $U_L = U_C$ при резонансе напряжений можно определить резонансную частоту цепи f_0. Так как

$$X_L = X_C,\ \omega L = \frac{1}{\omega C};\ \omega^2 = \frac{1}{LC};$$

$$\omega = 2\pi f = \frac{1}{\sqrt{LC}};\ f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Активная мощность рассматриваемой электрической цепи

$P = UI\cos\phi = I^2 R$.

Реактивная мощность цепи

$Q = UI\sin\phi = XI^2 = (X_L - X_C)I^2 = X_L I^2 - X_C I^2 = Q_L - Q_C$.

При резонансе напряжений $(X_L = X_C)$ реактивная мощность цепи равна нулю. При параллельном соединении катушки индуктивность и конденсатора получают разветвленную цепь.

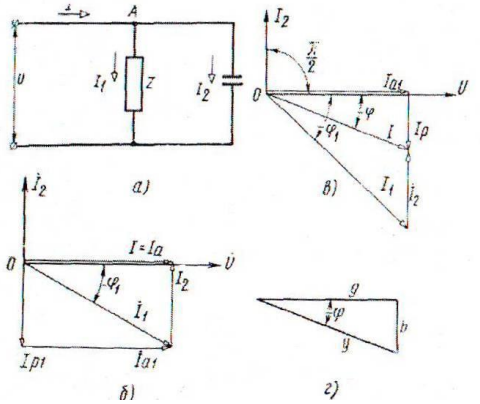


Рис.5. Параллельное соединение катушки индуктивности и конденсатора

Силу тока, протекающего по катушке, определяют по формуле

$$I_1 = \frac{U}{z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}},$$

где U – напряжение сети, подведенное к сопротивлению z, В;

z – полное сопротивление катушки, Ом;

R – активное сопротивление катушки, Ом;

X_L – индуктивное сопротивление катушки, Ом.

Вектор тока I_1 отстает от вектора напряжения U на угол ϕ и его можно разложить на два составляющих вектора; на активную составляющую I_{a1} и на реактивную составляющую I_{p1}, которые перпендикулярны друг другу

$I = \sqrt{I_{a1}^2 + I_{p1}^2}$.

Вектор активной составляющей силы тока I_{a1} совпадает по фазе с вектором напряжения, а вектор реактивной составляющей силы тока I_{p1} отстает от вектора напряжения на угол $\frac{\pi}{2}$ радиана.

Силу тока I_2, протекающего по цепи с конденсатором, определяют по формуле

$$I_2 = \frac{U}{X_C},$$

где X_C – реактивное, емкостное сопротивление конденсатора, Ом.

Ток, протекающий по цепи с конденсатором, опережает приложенное к нему напряжение на угол $\frac{\pi}{2}$ радиана.

Общая сила тока I, идущая из сети к точке А, представляет собой геометрическую сумму двух токов

$I = I_1 + I_2$.

Геометрическое построение для определения силы фазы общего тока показано на рисунке. Вектор общего тока I отстает от вектора приложенного напряжения на угол ϕ.

В данной цепи емкостный ток меньше реактивной составляющей тока, поэтому общий ток имеет индуктивный характер, т.е. отстает по фазе от напряжения. Если бы индуктивный ток был меньше емкостного, то общий ток имел бы емкостный характер и опережал по фазе напряжение.

Для расчета цепи переменного тока при параллельном соединении элементов цепи, содержащих активное и реактивное сопротивления, вместо сопротивлений следует пользоваться проводимостями, которые при параллельном соединении складываются. В цепи переменного тока в отличие от цепи постоянного тока имеются три проводимости, равные обратным значениям сопротивлений: полная проводимость, обозначаемая $=1/z$, активная проводимость $g = R/z^2$ и реактивная проводимость $b = X/z^2$, которые могут быть изображены в виде треугольника проводимостей, показанного на рис.5.

Когда в электрической цепи, состоящей из параллельно включенных индуктивного и емкостного сопротивлений, реактивные проводимости равны между собой, ток в ветви с конденсатором становится равным индуктивной составляющей тока в катушке и наступает резонанс токов. В этом случае сила общего тока в неразветвленной цепи определяется активной проводимостью

$I = Ug$,

а вектор общего тока совпадает с вектором напряжения сети.

Активную проводимость цепи переменного тока можно определить из треугольника проводимостей, приведенного на рисунке 5, если известны полная и реактивная проводимости:

$g = \sqrt{y^2 - b^2}$ или $g = \dfrac{R}{R^2 + X^2} = \dfrac{I_a}{U}$.

Следует иметь я виду, что сила тока, проходящего по цепи с параллельно включенными конденсаторами и катушкой, при резонансе токов может быть во много раз больше силы тока в неразветвленной цепи.

Практическая часть

1. Собрать схему, включить ее в сеть и записать показания приборов в таблицу.
2. По результатам измерений вычислить R, X_L, X_C, ϕ, S, P, Q, $\cos\phi$, z.
3. Построить треугольник сопротивлений и мощностей.
4. Собрать схему, включить под напряжение и измерить силу тока и угол ϕ по показаниям приборов для различных емкостей конденсаторной батареи. Результаты записать в таблицу.

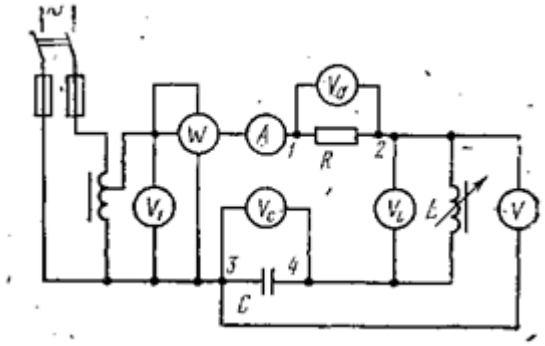


Рис. 6. Схема соединения измерительных приборов при исследовании резонанса напряжений

Таблица 2. Исследование цепи с последовательным соединением резистора, индуктивной катушки и конденсатора. Резонанс напряжений

№ опыта	*Измерено*						
	I, A	U_1, B	U_a, B	U_L, B	U_{L+C}, B	U_C, B	P, B
	Вычислено						
	$R, Ом$	$X_L, Ом$	$X_C, Ом$	$\cos\phi$	$Q, вар$	$S, B*A$	$\phi, рад$

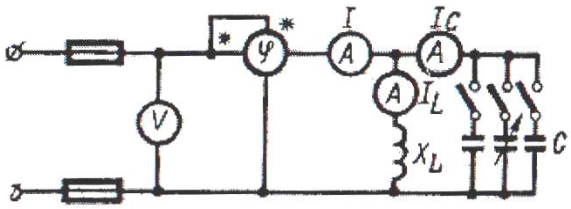


Рис. 7. Схема включения измерительных приборов при исследовании резонанса токов

Таблица 3. Исследование цепи с параллельным соединением индуктивности и емкости

№ опыта	U, B	I, A	I_L, A	I_C, A	$\phi, рад$	$\cos\phi$	*Указать, когда наступает резонанс токов*

5. Довести емкость до величины, при которой $\cos\phi$ =0. Записать в таблицу значение токов при резонансе.
6. Построить векторную диаграмму.
7. Сделать вывод, о подтверждении закона Ома для неразветвленной цепи переменного тока, состоящей из последовательно включенных резистора, катушки индуктивности и конденсатора; особенностями параллельного включения индуктивности (катушки) и емкости (конденсатора).

Контрольные вопросы

1. Как определяется полное сопротивление в цепи переменного тока?
2. Что характеризует момент резонанса напряжений?
3. Каким путем можно добиться резонанса напряжений?
4. При каком соединении возможно возникновение резонанса напряжений?
5. Чему равна резонансная частота, если известны индуктивность и емкость цепи?
6. Совпадает ли по фазе ток с напряжением сети при резонансе напряжений?
7. Как изменится коэффициент мощности, если между выводами ***3—4*** (рис. 6) поставить перемычку?
8. Как изменится показание амперметра (рис. 6), если при изменении индуктивности в схеме установки возникнет резонанс напряжений?
9. Чему равно показание вольтметра (рис. 6) в случае резонанса напряжений?
10. Какую опасность может создать резонанс напряжений

Практическая работа № 7
Ознакомление с электроизмерительными приборами.

Цель работы: Изучение устройства электроизмерительных приборов, условий эксплуатации и других характеристиках стрелочных электроизмерительных приборов.
Краткие теоретические сведения.

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.

ОСНОВНЫЕ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

У многих приборов есть общие по назначению части. Это корпус, зажимы, шкала, указательная стрелка, ограничители, винт корректора (рис.1). На корпусе некоторых приборов расположены переключатель пределов измерения и арретир. Внутри каждого прибора находится его главная часть — измерительный механизм. Отдельные приборы, например омметры, снабжены камерой, в которую помещают источник электропитания (гальванический элемент). У интегрирующих приборов, например у электросчетчиков, в отличие от показывающих приборов отсутствует указательная стрелка, но у них есть счетный механизм.

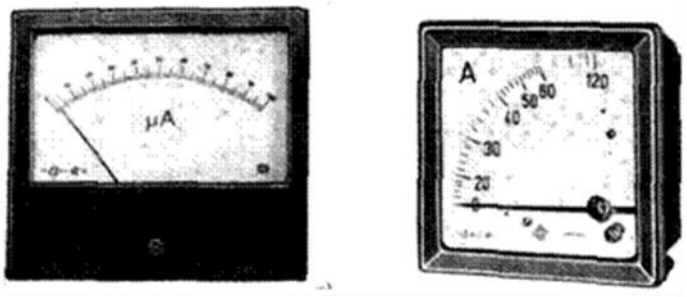


рис.1

Корпус служит для защиты измерительного механизма от механических повреждений, от пыли. В зависимости от способа защиты внутреннего устройства прибора от внешних воздействий корпуса приборов могут быть обыкновенные, водо-, газо- и пылезащищенные, герметические и взрывобезопасные. К зажимам прибора присоединяют провода для включения ею в электрическую цепь.

По шкале прибора отсчитывают значение измеряемой величины.

Внешний вид шкалы и нанесенные на нее условные обозначения зависят от назначения и конструкции прибора. На шкалу наносят черточки (вертикальные, горизонтальные, наклонные), называемые о т м е т к а м и. Отметку шкалы, соответствующую нулевому значению измеряемой величины, называют нулевой. Интервал между двумя соседними отметками носит название деления шкалы, а значение электрической величины, приходящееся на одно деление шкалы, — цены деления. Значение измеряемой величины, соответствующее начальной отметке шкалы называют начальным значением шкалы, а значение измеряемой величины, соответствующее конечной отметке шкалы – конечным значением. Разность между конечным и начальным значениями измеряемой величины является рабочим диапазоном измерений. Шкалы бывают равномерными (все деления шкалы одинаковые) и неравномерными (деления шкалы неодинаковы). На шкале многих приборов параллельно отметкам расположена зеркальная полоса, что позволяет уменьшить ошибки при снятии показаний. Глаз, стрелка и ее отражение в зеркальной полосе должны находиться на одной линии.

Указательная стрелка нужна для отсчета по шкале значения измеряемой величины. Стрелку делают из алюминия или его сплавов. Стрелка соединена с измерительным механизмом, под действием которого она отклоняется (перемещается). Чтобы при движении

стрелка не касалась корпуса (и в результате не погнулась), на шкале есть амортизирующие ограничители.

С помощью винта корректора непосредственно перед измерением стрелку устанавливают точно против нулевой отметки шкалы. Для этого винт корректора слегка поворачивают отверткой.

Переключатели пределов измерения установлены у тех приборов, которые служат для измерения электрических величии в нескольких пределах. В этом случае перед включением прибора переключатель устанавливают так, чтобы имеющаяся на нем точка (пометка) оказалась против требующегося предела измерения. Переносные приборы снабжены арретиром, с помощью которого закрепляют в неподвижном положении измерительный механизм, чтобы при транспортировке прибора он не повредился. 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: $\alpha = K \square I$. 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: $\alpha = K \square 2I$. 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 - C 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 $\gamma_{ПР}$.

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

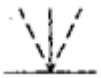
При проведении измерений в электрических цепях широкое применение получили цифровые измерительные приборы, например мультиметры – комбинированные цифровые измерительные приборы, позволяющие измерять постоянное и переменное напряжение, постоянный и переменный ток, сопротивления, проверять диоды и транзисторы. 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 (PA1, PA2, PA3 и PA4) 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.

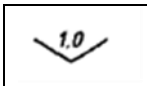
Цифровой измеритель мощности предназначен для измерения параметров электрической цепи:

– 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 ϕ;
– угла сдвига фаз ϕ (Fi) между током и напряжением.

Таблица 1

	прибор магнитоэлектрический с подвижной рамкой
	Логометр^ магнитоэлектрический
	Прибор электромагнитный
	Логометр электромагнитный
	Прибор электродинамический
	Прибор ферродинамический
	Логометр электродинамический
	Логометр ферродинамический
	Прибор индукционный
	Прибор тепловой с нагреваемой нитью
	Прибор биметаллический
	Прибор вибрационный
	Прибор электростатический

	Прибор астатический
	Прибор или вспомогательная часть под высоким напряжением
	Прибор применять при вертикальном положении шкалы
	Прибор применять при горизонтальном положении
	Прибор применять при наклонном положении шкалы относительно горизонтальной плоскости, например под углом 60º
	Термопреобразователь неизолированный
	Термопреобразователь изолированный
	Преобразователь электронный в измерительной цепи
	Преобразователь электронный во вспомогательной цепи
	Экран электростатический
	Экран магнитный
	Магнитная индукция, выраженная в миллитеслах (2 мТ), вызывающая изменение показаний, соответствующее обозначению класса точности
	Электрическое поле, выраженное в киловольтах на метр (10 к В/м), вызывающее изменение показаний, соответствующее обозначению класса точности
	Корректор
	Зажим для заземления
	Напряжение испытательное 500 В
	Напряжение испытательное выше 500 В (2 кВ)
	Прибор не подлежит испытанию прочности изоляции
1,5	Обозначение класса точности (1,5) при нормировании пределов допускаемых погрешностей в процентах от нормируемого значения, определенного в единицах измеряемой величины, за 'исключением случая» когда нормируемое значение равно длине шкалы

	Обозначение класса точности (1,0) при нормировании пределов допускаемых погрешностей в процентах от нормируемого значения, когда нормируемое значение равно длине шкалы
	Обозначение класса точности (0,2) при нормировании пределов допускаемых погрешностей в процентах от действительного значения
	Ссылка на соответствующий документ к прибору
	Обозначение, указывающее на ориентирование прибора во внешнем магнитном поле
	Ток постоянный
	Ток переменный однофазный
	Ток постоянный и переменный
	Ток трехфазный переменный. Общее обозначение
А Б В1; В2; В3	А (или отсутствие буквы) – прибор для сухих отапливаемых помещений с температурой +10°С …+35°С и влажности до 80% при 30°С; Б – прибор для закрытых не отапливаемых помещений с температурой - 30°С …+40°С и влажности до 90% при 30°С; В – приборы для полевых и морских условий: В1 – при температуре -40°С … +50°С и В2 – при температуре - 50°С … +60°С и влажности до 95% при 35°С; В3 – при температуре -40°С … +50°С и влажности до 98% при 40°С
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 Fi 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.

3.1. 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		

4. Содержание отчета

а) наименование работы и цель работы;

б) технические данные измерительных приборов;

г) результаты измерений;

д) выводы по работе.

5. Контрольные вопросы

1. Что позволяют правильно выбрать приборы и дают некоторые указания по их эксплуатации.

2. Что такое предел измерения?

3. Как определяется цена деления прибора?

4. Что характеризует класс точности прибора?

5. В какой части шкалы прибора измерение точнее и почему?

Практическая работа № 8
Измерение сопротивлений.

Цель работы.

Ознакомить студентов с различными, наиболее часто применяемыми методами измерения сопротивлений.

Краткие теоретические сведения.

Измерение сопротивлений играет важную роль в электротехнике. Путем измерения сопротивления отдельных участков электрических цепей можно не только сделать вывод об исправности или неисправности аппаратуры, но и точно установить место и характер неисправности.

Наиболее часто для измерения сопротивления применяются методы амперметра и вольтметра; омметра; мегомметра.

Сопротивление участка цепи можно определить с помощью амперметра и вольтметра. Для этого амперметр включают последовательно, а вольтметр— параллельно к нему. Если сопротивление, которое' нужно измерить^ меньше сопротивления вольтметра, то приборы включают по схеме на рис. 34. Если же измеряемое сопротивление больше сопротивления амперметра, то приборы включают подсхеме на рис. 35. В первом случае измеряют малые сопротивления, а во втором — большие.

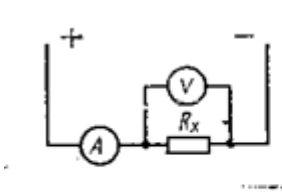


Рис. 34. Схема для измерения сопротивления при $R_x < R_V$

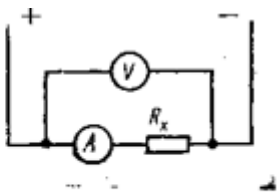


Рис. 35. Схема для измерения сопротивления при $R_x > R_A$

Величина сопротивления может быть определена и с помощью омметра. Омметр — прибор магнитоэлектрической системы, последовательно с которым включен источник постоянного тока (сухой гальванический элемент). Шкала: омметра градуируется непосредственно в омах, поэтому нуль ее находится справа, что соответствует наименьшему сопротивлению и наибольшему току. Цифры на шкале, показывающие омы, возрастают справа налево. Приступая к измерениям с помощью омметра, стрелку прибора надо установить на нуль, пользуясь магнитным шунтом. Вызвано это тем, что в процессе работы напряжение источника электрической энергии, имеющегося в омметре, изменится и градуировка прибора нарушится. Магнитный шунт представляет собой стальную пластинку, которую можно с помощью винта приближать к полюсным надставкам постоянного магнита прибора или удалять от них. Величина магнитной индукции поля постоянного магнита изменится и градуировка прибора восстановится.

Для измерения сопротивления изоляции отдельных частей электротехнических установок по отношению к «земле» и друг к другу служат мегомметры. Измерение сопротивления изоляции должно производиться напряжением, по .возможности равным рабочему, но не меньшим 100 В. Мегомметры состоят из источника напряжения (генератора постоянного тока) и измерительного прибора. Для измерения сопротивления зажим Л мегомметра присоединяют к одному проводу линии, а зажим 3 — к другому проводу или к «земле». Вращая ручку мегомметра с частотой 120 об/мин, определяют по шкале сопротивление изоляции.

Оборудование

1. Источник питания постоянного тока с регулируемым напряжением и коммутационной аппаратурой.
2. Амперметр магнитоэлектрической системы с пределом измерения тока до 3—5 А с известным сопротивлением
3. Вольтметр магнитоэлектрической системы с пределом измерения 50—75 В с известным сопротивлением ,
4. Три резистора на ток 1,5 А и 40—50 Ом каждый.
5. Многопредельный омметр с нижним пределом ,измерения сопротивления 1 кОм.
6. Мегомметр на 500 В с двумя' шкалами измерения сопротивлений — кОм и МОм.
7. Электродвигатель трехфазного тока любой мощности—1 шт.
8. Провода соединительные многожильные.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с приборами, необходимыми для выполнения работы и собрать схему по рис. 34 или 35. ^
2. Дать проверить схему преподавателю.
3. Подключая в схему различные резисторы, замерить напряжение и ток в цепи. Данные замеров записать в табл. 1.

Измеряемое сопротивление	Замеры	*U* в	/, А	R′xОм	Rxcp′,Ом	Rx,Ом
R_1	1					
	2					
R_2	1					
	2					

R_3	1					
	2					

При проведении измерений по схеме на рис. 35 амперметр покажет величину тока, проходящего через искомое сопротивление Rx, а вольтметр будет учитывать кроме напряжения на этом сопротивлении напряжение, приходящееся на амперметр. Поэтому истинное значение сопротивления Rx определяется по формуле $R_X = \frac{U-U_A}{I} = \frac{U-IR_A}{I} = \frac{U_A}{I}$-$R_A$, где U_A— напряжение, приходящееся на амперметр, а R_A — сопротивление амперметра.

Если R_A мало по сравнению с Rx, последнее можно определить по приближенной формуле $Rx' = \frac{U}{I}$

4. Включив цепь, измерить установленные резисторы омметром и записать данные в табл.. 1 (графа Rx, Ом).
5. По данным замеров определить методом амперметра и вольтметра величины сопротивления резисторов. Записать данные в табл. 1 (графа R′xОм)
6. Вычислить среднее значение сопротивления для каждого резистора и записать данные расчетов в табл. 1 (графа Rxcp′,Ом).
7. Убедиться в приблизительном совпадении R′x, Rxcp′, Rx.

Ниже приводятся правила выполнения измерений с помощью мегомметра М1101М:

1) проверить исправность прибора при разомкнутых зажимах. При вращении рукоятки стрелка должна установиться на, отметке «∞» шкалы мегомметра, если переключатель стоит в положении «МΩ», или на отметке «0» той же шкалы, если переключатель стоит в положении «КΩ»;
2) переключатель установить в положение «МΩ» или «КΩ»;
3) к зажимам «Линия» и «Земля» подсоединить элемент, сопротивление которого надо измерить;
4) равномерно с частотой 2 об/с вращать рукоятку генератора мегом метра и производить отсчет по его шкале;
5) для измерения сопротивления изоляции между проводами трехфазной линии и между каждым фазным проводом «землей» потребители электрической энергии должны быть отключены. Измерения проводят согласно пунктам 3 и 4 правил. Результаты измерений записать в табл. 2;

Фаза-земля	$R_{изм}$, МОм	фаза —фаза	$R_{изм}$,МОм
А — земля В — земля С — земля		А—В В—С С—А	

6) для измерения изоляции всех обмоток статора трехфазного электродвигателя переменного тока необходимо разомкнуть обмотки. Результаты измерений записать в табл.3

Таблица3

Фаза —корпус	$R_{изм}$, МОм	фаза —фаза	$R_{изм}$, МОм
C_1 —- корпус C_2 — корпус C_3 — корпус		А—В А—С С—А	

7. Сделать отчет

Контрольные вопросы

1. В чем сущность метода измерения сопротивления с помощью амперметра и вольтметра?
2. Какие существуют схемы включения амперметра и вольтметра для измерения сопротивления и когда какая схема применяется?
3. Какой закон электротехники лежит в основе метода измерения сопротивления с помощью амперметра и вольтметра?
4. Какие условия необходимо соблюдать для повышения точности измерения?
5. Какой прибор (какого типа и класса точности) применяется в омметре?

6. Каково устройство омметра?
7. Каково устройство мегомметра?
8. Для чего измеряют сопротивление изоляции проводов?
9. Чему должно быть равно сопротивление изоляции между зажимами различных обмоток, а также между зажимами любой обмотки и корпусом, если изоляция не повреждена?
10. Влияет ли на точность измерения изменение частоты вращения рукоятки мегомметра в пределах от 60 до 180 об /мин?

Практическая работа № 9

Испытание трехфазного трансформатора

Цель работы: изучить устройство и основные характеристики трехфазного трансформатора, определить коэффициент трансформации, изучить работу: трансформатора при симметричной нагрузке.

Основные теоретические положения

Трехфазные трансформаторы преобразуют электрическую энергию в трехфазных цепях с одним соотношением линейных напряжений и токов в электрическую энергию с другим соотношением этих же величин. В таких трансформаторах есть две трехфазные обмотки — высшего напряжения ***ВН*** и низшего напряжения НН, в каждую из которых входят три фазные обмотки или фазы. Следовательно, трехфазный трансформатор имеет шесть независимых фазных обмоток и 12 выводов с соответствующими зажимами, причем начальные выводы фаз обмотки высшего напряжения обозначают ***А, В,*** С, конечные выводы — ***X, У, Z,*** а для фаз обмоток низшего напряжения применяют аналогичные обозначения — а,, **б**, ***с*** и х, у, z. Фазные обмотки высшего и низшего напряжений соединяют звездой или треугольником, причем при соединении их звездой нейтральные точки обозначают О и о.

Фазный коэффициент трансформации определяется отношением фазных, напряжений при холостом ходе: $К_ф = \frac{U_{ф\,вн}}{U_{ф\,нн}}$

Линейный коэффициент трансформации определяется по аналогичной формуле

$К_л = \frac{U_{л\,вн}}{U_{л\,нн}}$

Если соединение фазных обмоток выполнено по схеме Y / Y или Δ/Δ, то оба коэффициента одинаковы, т. е. $К_л = К_ф$

При соединении по схеме Y/Δ $Кл=\sqrt{3}К_ф$, а по схеме Δ/ Y

$К_л = \frac{К_ф}{\sqrt{3}}$

Каждому типу соединения фазных обмоток соответствует определенный угол сдвига фаз между соответствующими высшими и низшими напряжениями, отсчитываемый в направлении вращения часовой стрелки от вектора высшего напряжения к вектору низшего напряжения. Величина этого угла зависит от направления навивки обмоток, маркировки их выводов и принятого типа соединения фазных обмоток. При одном и том же направлении навивки, одинаковой маркировке выводов и соединении фазных обмоток по схеме Y / Y угол сдвига фаз между векторами линейных напряжений $U_{ав}$ и равен нулю и такой трансформатор относится к группе О (рис. 43).

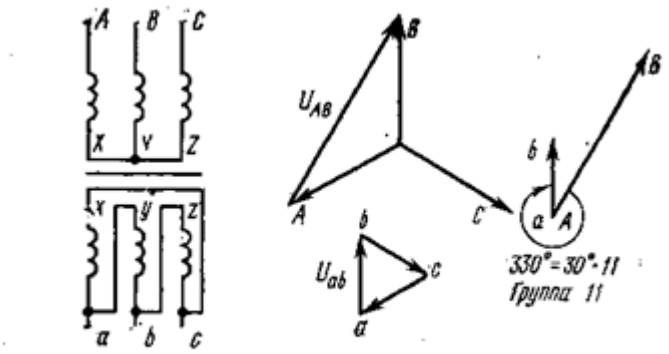


Рис. 44. Схема трехфазного трансформатора Y/△

Рис. 44. Схема трехфазного трансформатора Y/△

Номинальная мощность трехфазного трансформатора $S=3U_{ф} \times I_{ф}$, а активная мощность $P_н=3U_{фн} \times I_{фн}$ или $P_н=\sqrt{3}U_{лн} \times I_{лн} \cos\varphi_н$

Коэффициент мощности трансформатора $\cos\varphi_1=\frac{P_1}{\sqrt{3}U_{л1} I_{л1}}$, где P_1 — активная мощность со стороны первичной обмотки.

Загрузка трехфазного трансформатора определяется по формуле

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2н}},$$

где β — коэффициент загрузки, а I_2 и $I_{2н}$ — соответственно ток нагрузки вторичной обмотки трансформатора и ее номинальный ток.

Внешняя характеристика трансформатора — это зависимость напряжения на зажимах вторичной обмотки U_2 от тока нагрузки I_2. Характеристика снимается обычно при значениях I_2=(0; 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25) $I_{2н}$

Оборудование и аппаратура

1. Амперметр переменного тока — б шт.
2. Вольтметр переменногр тока — 2 шт.
3. Ваттметр трехфазный — 2 шт.
4. Трансформатор трехфазный — 1 шт.
5. Резистор переменный — 3 шт.
6. Автомат трехполюсный — 3 шт.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством и паспортными данными . трехфазного трансформатора и записать их; номинальная мощность Sн, кВ·А; номинальное первичное напряжение $U_{н2}$ номинальное вторичное напряжение
2. Соединить фазные обмотки трансформатора по схеме Y / Y, собрать схему по рис. 45 и дать проверить ее преподавателю.

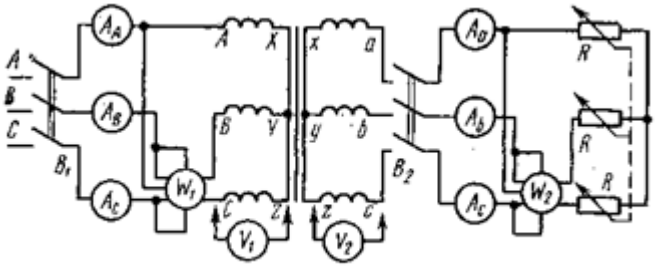


Рис. 45. Схема испытаний трехфазного трансформатора

4. Разомкнуть автомат B_2, включить трансформатор в сеть и записать показания вольтметров в табл. 1.

№	Схема соединения фаз обмоток	Напряжение, В					
		U_{AN}, В	U_{BC}, В	U_{CA}, В	U_{ab}, В	U_{bc}, В	U_{ca}, В
1	Y/Y						
2	Y/Δ						
3	Δ/Y						
4	Δ/Y						

4. При выключенном автомате B_1 поочередно соединять фазные обмотки по схемам Y/Δ, Δ/ Y и Δ/Δ, после включения этого же автомата сделать отсчеты по вольтметрам и результаты записать в табл. 1.

5. Вычислить коэффициенты трансформации трехфазного трансформатора (фазного Кф и линейного Кл) при соединении фазных обмоток по схемам Y/ Y, Y/Δ, Δ/ Y и Δ/Δ проверить справедливость формул (1)~(5). Результаты расчетов записать в табл. 2.

№	Схема соединения фаз обмоток	$K_ф$	$U_{л\,ВН}$, В	$U_{л\,НН}$, В	$K_л$	
					по опыту	по формуле
1	Y/Y					
2	Y/Δ					
3	Δ/Y					
4	Δ/Δ					

6. Собрать схему по рис. 45, включить автомат В2 и снять внешнюю характеристику трансформатора: $U_2 = f(I_2)$

Результаты измерений и расчетов записать в табл. 3.

№	Значение коэффициента загрузки β	Измерено						Вычислено	
		$U_{л_1}$, В	$I_{л_1}$, А	P_1, Вт	$U_{л_2}$, В	$I_{л_2}$, А	P_2, Вт	$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_2$
1	0								
2	0,25								
3	0,5								
4	0,75								
5	1								
6	1,25								

7. Составить отчет по работе

Практическая работа № 10

Испытание генератора постоянного тока параллельного возбуждения (снятие характеристик холостого хода, внешней и регулировочной)

Цель работы: научиться собирать схему включения генератора постоянного тока параллельного возбуждения, снять характеристики холостого хода, внешню1р и регулировочную.

Основные теоретические положения

В генераторе с параллельным возбуждением обмотка возбуждения включается параллельно обмотке якоря. Когда якорь генератора вращается, магнитный поток остаточного магнетизма индуктирует в его обмотке незначительную ЭДС. В подключенной к якорю обмотке возбуждения полюсов появляется небольшой ток. Этот ток вызывает увеличение магнитного потока полюсов, что, в свою очередь, приводит к увеличению ЭДС.

Главные условия самовозбуждения генератора постоянного тока параллельного возбуждения: наличие в стали полюсов остаточного магнетизма;

правильное соединение обмотки возбуждения с обмоткой якоря. Магнитный поток, созданный обмоткой возбуждения, должен совпадать по направлению с остаточным магнетизмом;

выведение регулировочного реостата, включенного последовательно с обмоткой возбуждения, из цепи возбуждения;

отключение нагрузки от генератора параллельного возбуждения.

Генератор с параллельным возбуждением обладает следующими основными свойствами: возбуждается независимо от того, замкнут или разомкнут внешний участок цепи; замкнутый накоротко, оп не возбуждается; при увеличении нагрузки напряжение на его зажимах уменьшается.

Регулировочной характеристикой генератора называется график зависимости напряжения на его зажимах от тока возбуждения при разомкнутой цепи якоря, т. е. его ЭДС, при неизменной скорости вращения.

I Внешней характеристикой генератора называется график зависимости напряжения на его зажимах от тока нагрузки при неизменной скорости вращения и неизменном сопротивлении регулировочного реостата.

Регулировочной характеристикой генератора называется график зависимости тока возбуждения от тока нагрузки при неизменной частоте-вращения и неизменном напряжении на нагрузке. Иначе говоря, регулировочная характеристика показывает, как надо изменять ток возбуждения при изменении тока нагрузки, чтобы напряжение на нагрузке оставалось неизменным.

Оборудование и аппаратура

Генератор с параллельным возбуждением—1 шт.

2. Асинхронный электродвигатель — 1 шт.

3. Амцерметры постоянного тока 10 и 2 А — 2 шт.

4. Вольтметр постоянного тока 150 В — 1 шт. ;

5. Реостат возбуждения 2 А, 60 Ом—1 Шт.

6. Рубильник двухполюсный 25Ю В, 60 А — 1 шт.

7. Рубильник однополюсный 250 В, ^ А—1 шт. ' !

8. Предохранители — 2 шт.

Порядок выполнения работы \

1. Собрать схему по рис. 70 и дать ее для проверки преподавателю.

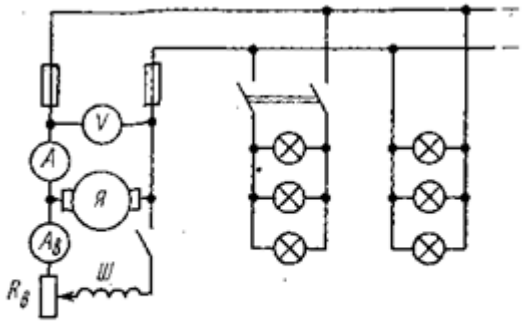


Рис. 70. Схема включения генератора постоянного тока с параллельным возбуждением

2. Для снятия характеристики холостого хода внешнюю цепь отключить и, изменяя ток возбуждения от нуля, записать значения напряжения, соответствующие каждому значению тока возбуждения. Показания приборов загрузку, снять зависимость между током нагрузки и напряжением. Показания приборов записать в табл. 2. По данным измерениям построить характеристику холостого хода генератора.

3. Для снятия внешней характеристики генератора подключить к нему нагрузку (ламповый реостат), установить ток возбуждения и, изменяя нагрузку, снять зависимость между током нагрузки и напряжением. Показания приборов записать в табл. 2.

4. Для снятия регулировочной характеристики отключить нагрузку и с помощью реостата возбуждения установить напряжение. После этого подключить нагрузку (ламповый «реостат) и, увеличивая ток нагрузки включением ламп, изменить ток (возбуждения так, чтобы (напряжение осталось неизменным. Снять зависимость тока возбуждения от тока нагрузки при неизменном напряжении. Показания приборов записать в табл. 3. По данным измерений построить регулировочную характеристику генератора.

5. Составить отчет по работе.

Контрольные вопросы

1: Каково устройство генератора постоянного тока параллельного возбуждения и назначение его частей?

2. Как в генераторе постоянного тока индуктируется ЭДС?

3. Какими способами можно регулировать напряжение на зажимах генератора постоянного тока?

4. Почему при увеличении нагрузки генератора падает напряжение на его

зажимах?

5. Что произойдет, если во время работы генератора закоротить обмотку якоря?

5. Почему генератор, замкнутый накоротко, не возбуждается?

7. Условие самовозбуждения генератора с параллельном возбуждением.

Практическая работа № 11

Определение начал и концов фазных обмоток трехфазного асинхронного двигателя

Цель работы: научить учащихся находить концы и начала катушек обмоток статора трехфазного асинхронного двигателя и правильно соединять их.

Основные теоретические положения

Развивать номинальную мощность на валу при номинальной частоте вращения трехфазный асинхронный электродвигатель может только в том случае, если три его обмотки на статоре включены правильно. В практике редко случается (особенно после ремонта двигателя), что концы и начала отдельных обмоток электродвигателя спутаны и вместо клеммной доски для присоединения двигателя к сети выходят шесть концов. В этом случае необходимо разобраться, какие из них — концы, а какие —начала обмоток, так. как если хоть одна из обмоток включена неправильно, двигатель нормально работать не сможет. При правильном соединении обмоток статора двигателя звездой все начала обмоток С1, С2, С3 присоединяют к зажимам сети, а все концы С4, С5, С6 — к общей нулевой точке (рис. 51, а). При правильном соединении треугольником все начала фазных обмоток С1, С2, С3соединяют с сетью, а концы — с началами других фаз (рис. 51, б). Если неизвестна маркировка выводов статорной обмотки асинхронного трехфазного двигателя, ее можно установить следующим способом. Все обмотки статора намотаны на один стальной сердечник. Если через одну обмотку пропускать переменный ток, то в других обмотках наводится ЭДС взаимоиндукции, как во вторичных обмотках трансформатора. Если соединить две обмотки так, чтобы конец одной был соединен с началом другой, то напряжения на этих обмотках будут складываться. Если же соединить начало одной обмотки с началом другой и конец одной с концом другой, то напряжения на них изменяются в противофазе и потому суммарное напряжение меньше напряжения на одной обмотке. Таким образом, при соединении конец — начало напряжение увеличивается, а при соединении конец ~ конец (или начало — начало) — уменьшается. Пользуясь этим, можно маркировать выводы статорных обмоток. При маркировке концов обмоток необходимо пользоваться пониженным напряжением.

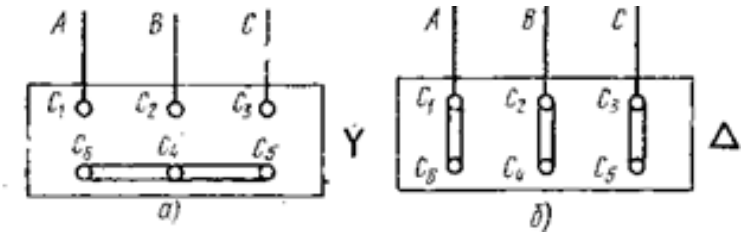


Рис. 51 Схема подключения обмоток статора трехфазного асинхронного двигателя: а – звездой, б – треугольником

Оборудование

1. Асинхронный электродвигатель 220/127 В, 07 кВт — 1 шт.
2. Лампа накаливания 36 В — 1 шт.
3. Источник переменного тока 36 В.
4. Соединительные провода.

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую схему по рис. 52 и показать ее преподавателю. Поочередно включая однополюсные вилки в клеммы выводов фаз статорной обмотки асинхронного двигателя, определить выводы трех обмоток. По загоранию лампы определить (попарно) клеммы — выводы каждой фазы.
2. Произвольно обозначить нумерацию фаз: φ_1, φ_2, φ_3, а также произвольно обозначить выводы первой, второй и третьей фазы: $н_1$ $н_2$. $н_3$ —начала обмоток, $К_1$, $К_2$, $К_3$ — концы обмоток.
3. Собрать схему по рис. 53. На этой схеме обозначенный конец первой фазы К подключается к одному из выводов второй фазы, другой вывод второй фазы и обозначенный вывод $н_1$ подключаются к электролампе. При этом к обмотке третьей фазы подается напряжение 36 В.

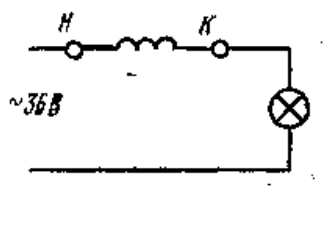


Рис. 52. Схема для определения выводов обмоток статора трехфазного асинхронного двигателя

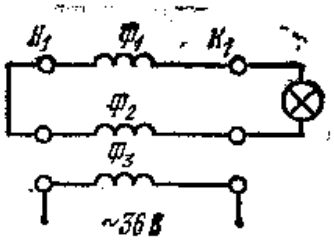


Рис. 53. Схема неправильного соединения первой и второй фаз обмоток статора трехфазного асинхронного двигателя (лампа не горит)

Ток, проходя по обмотке $ф_2$, создает в сердечнике статора переменное магнитное поле, которое вызовет индуктивную ЭДС в двух других, фазных ()Г)мотках {$ф_1$, ф3).

1. В зависимости от того, как соединены между собой выводы $ф_1$и $ф_2$ ЭДС в этих обмотках будут либо складываться (тогда электрическая лампа будет гореть), либо вычитаться (электрическая лампа гореть не будет).

2. Если присоединении по схеме рис. 53 лампа горит, то это значит, что клемма $к_1$ соединена с началом второй фазной обмотки, т. е. с *Н2,* тогда **ее** второй конец есть *К2.*

3. Если лампа не горит, это значит, что *К1* соединен с *К2.* Если поменять местами подключение выводов *Ф2* (рис. 54), то лампа загорится.

4. Таким же способом определить начало и конец третьей фазы. Для этого собрать схему по рис. 55 или 56. Лампа будет гореть только при условии соединения *К2 с Нз.*

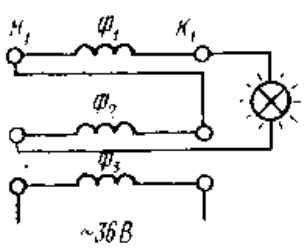


Рис. 54. Схема правильного соединения первой и второй фаз обмотки статора трехфазного асинхронного двигателя (лампа горит)

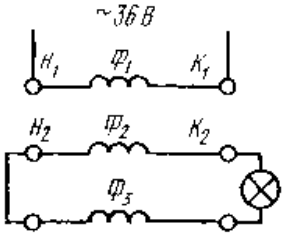


Рис. 55. Схема неправильного соединения второй и третьей фаз обмотки статора (лампа не горит)

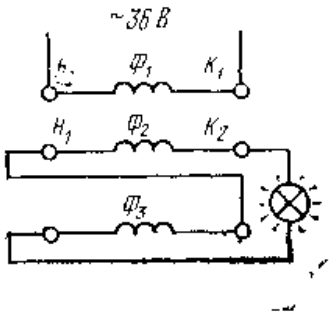


Рис. 56. Схема правильного соединения второй и третьей фаз обмотки статора (лампа горит)

8. Окончательно выводы всех трех обмоток обозначьте согласно ГОСТу.
9. Соединить обмотки двигателя звездой, присоединить к рубильнику. Проверить работу двигателя.
10. Приступить к составлению отчета.

Контрольные вопросы

1. Как нужно включить обмотки статора трехфазного двигателя, чтобы получить соединение звездой, треугольником?
2. Как определить концы обмоток, принадлежащие одной фазе?
3. Как определить начала и концы обмоток статора каждой фазы трехфазного асинхронного двигателя?
4. Какие виды неисправностей асинхронных двигателей возможны, если: статор двигателя имеет повышенный перегрев; ротор двигателя имеет повышенный перегрев; при работе двигатель сильно гудит.

Практическая работа № 12

Работа с трехфазным асинхронным двигателем - пуск, остановка, реверсирование.

Цель работы: ознакомиться со сборкой схем и включением в сеть трехфазных асинхронных двигателей, способами пуска и реверсирования асинхранных двигателей

Основные теоретические положения

Основные виды асинхронных двигателей — двигатели с короткозамкнутым и фазным роторами.

Короткозамкнутый ротор состоит из вала, стального сердечника, собранного из отдельных листов штампованной стали, и короткозамкнутой обмотки. В одном случае обмотка выполняется из медных стержней; укладываемых в пазы ротора. Торцы стержней соединяются с помощью медного кольца. Сами медные стержни в пазах не изолируются. В других случаях в пазы сердечника заливается алюминий.

У двигателей с фазным ротором сердечник ротора имеет продольные пазы. В эти пазы укладываются обмотки трехфазного тока, которые состоят из трех одинаковых секций. Обмотка ротора соединена в звезду, концы — в одну точку, а начала припаяны к трем контактным кольцам, укрепленным на палу ротора и изолированым друг от друга. С помощью щеток с щеткодержателями контактные кольца соединяются с трехфазным пусковым реостатом. Переменные резисторы могут создать большой момент при трогании двигателя с места.

Короткозамкнутые двигатели пускаются в ход двумя способами. Первый способ — напряжение сети подводится непосредственно к обмоткам статора с помощью ру-

бильника. Второй способ — сначала обмотки статора соединяются звездой, а после того как частота вращения ротора станет нормальной,— треугольником.

Двигатель с короткозамкнутым ротором из-за своей простоты, надежности и дешевизны нашел наибольшее распространение во всех отраслях народного хозяйства. Недостатки -его — малый момент при трогании с места и большой пусковой , ток. Чтобы устранить их, промышленность выпускает двигатели с глубоким пазом. В пазы закладываются две коротко- замкнутые обмотки, одна над другой. Верхняя обмотка — пусковая, нижняя — рабочая.

Двигатели такой конструкции имеют хорошую пусковую характеристику, просты и надежны в эксплуатации.

Простейшими устройствами, предназначенными для пуска двигателя, являются трехфазный рубильник и трехфазные автоматические выключатели. Более сложен пуск с помощью магнитных пускателей или контакторов. Принципиальная схема включения двигателя магнитным пускателем дана на рис. 57. При нажатии кнопки «Пуск» по катушке магнитного пускателя потечет ток. Вокруг катушки возникнет магнитное поле, под действием которого втянется сердечник, на котором закреплены подвижные контакты. Произойдет соединение подвижных и неподвижных контактов. Ток пойдет к обмоткам ’ статора двигателя, и двигатель начнет вращаться. Для остановки двигателя нажимают на кнопку «Стоп».

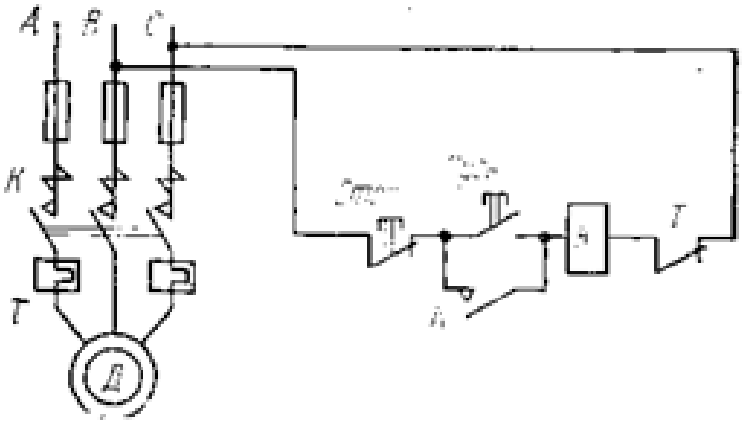
Проследите по рис. 57, что произойдет, если нажать на кнопку «Стоп».

При перегрузке двигателя срабатывает тепловое реле,- и двигатель останавливается. Для отключения двигателя от сети при коротком замыкании есть плавкие вставки.

Для изменения направления вращения двигателя надо поменять местами две любые фазы с помощью трехфазных перекидных рубильников и реверсивных магнитных пускателей.

Оборудование

1. Амперметр переменного тока 5 А—^.3 шт.
2. Амперметр переменного тока 1 А — 1 шт.
3. -Вольтметр переменного тока 450 В — 1 шт.
4. Электродвигатель асинхронный, короткозамкнутый, трехфазный, мощностью Д0 1 кВт — 1 шт.
5. Электродвигатель асинхронный, трехфазный, с фазным ротором, мощностью до 3 кВт —1 шт.
6. Трехфазный пусковой резистор — 1 шт.
7. Рубильник трехполюсный — 1 шт.
8. Магнитный пускатель — 1 шт.
9. Тахометр — 1 шт.
10. Источник переменного тока 380/220 В, 50 Гц



Р

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с основными теоретическими положениями лабораторной работы.
2. Собрать электрическую цепь по рис. 57 и дать проверить ее преподавателю.
3. Пустить двигатель вхолостую.
4. Остановить двигатель.
5. Собрать схему реверсирования злектродвигателя, поменяв местами две фазы. Показать собранную схему преподавателю.
6. Нажатием кнопки «Пуск» пустить двигатель вхолостую, убедившись в том, что ротор двигателя вращается в обратную по отношению к п. 3 сторону.
7. Собрать схему включения в сеть трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором (рис. 58). Дать проверить ее преподавателю.

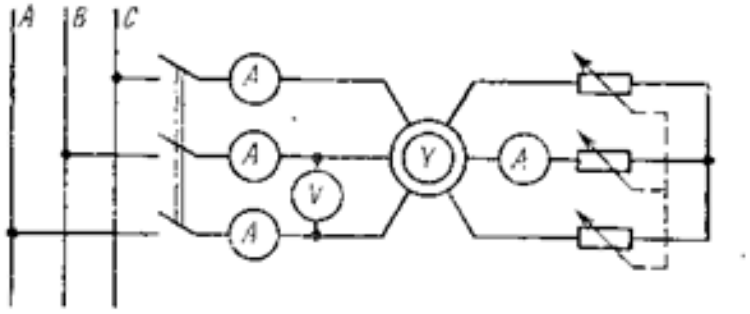


Рис. 58. Схема пуска трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором

8. Запустить двигатель вхолостую при полностью введенном сопротивлении резистора, включенного в цепь обмотки ротора.
9. Выводя сопротивление пускового резистора, обратить внимание на изменение частоты вращения вала двигателя.
10. Остановить двигатель.
11. Разобрать схему и приступить к составлению отчета.

Контрольные вопросы

1. В чем преимущества и недостатки асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором?
2. В чем преимущества и недостатки асинхронного электродвигателя с фазным ротором?
3. Во сколько раз пусковой ток асинхронного короткозамкнутого двигав теля больше номинального и почему?

Практическая работа № 13

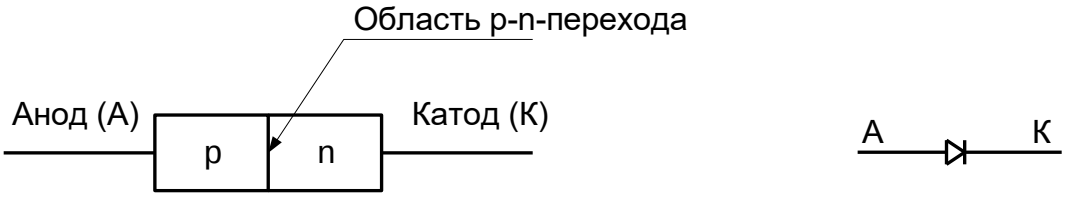
Исследование работы туннельного диода

Цель работы: снять опытным путем вольтамперную характеристику туннельного диода и определить величину отрицательного дифференциального сопротивления.

Основные теоретические положения

Полупроводниковым диодом называют электропреобразовательный полупроводниковый прибор с одним или несколькими *p-n*-переходами и двумя выводами.

Структура полупроводникового диода с электронно-дырочным переходом и его условное графическое обозначение приведены на рис. 1, а, б.



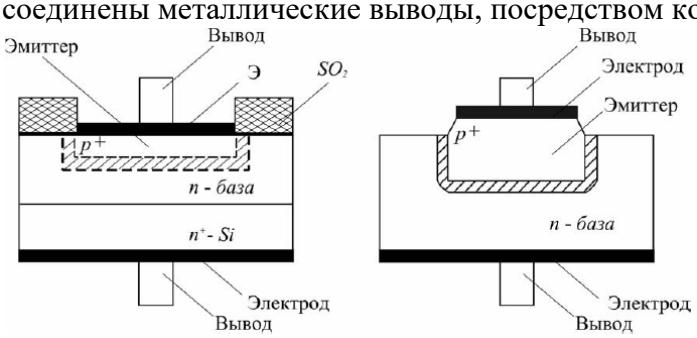
а б

Рис. 1

Буквами *p* и *n* обозначены слои полупроводника с проводимостями соответственно *p*-типа и *n*-типа. Обычно концентрации основных носителей заряда (дырок в слое *p* и электронов в слое *n*) сильно различаются. Одна из областей *p-n*-структуры, называемая эмиттером, имеет большую концентрацию основных носителей заряда, чем другая область, называемая базой.

В зависимости от основного назначения и вида используемого явления в *p-n*-переходе различают шесть основных функциональных типов электропреобразовательных полупроводниковых диодов: выпрямительные, высокочастотные, импульсные, туннельные, стабилитроны, варикапы. Каждый тип диода содержит ряд типономиналов, регламентированных соответствующим ГОСТом.

На рис. 2 представлены структуры планарно-эпитаксиального (а) и сплавного (б) диодов. База и эмиттер образуют омические переходы (контакт) с электродами. К электродам подсоединены металлические выводы, посредством которых диод включается в цепь.



а б Рис. 2 Рис. 2

Основной характеристикой полупроводниковых диодов служит вольт-амперная характеристика. В отличие от характеристики идеального *p-n*- перехода (пунктирная кривая на рис. 3,а), характеристика реального диода (сплошная кривая на рис. 3,а) в области прямых напряжений *U* располагается несколько ниже из-за падения части приложенного напряжения на объёмном сопротивлении базы диода *r* .

Уравнение вольт-амперной характеристики имеет вид:

$$I = I_0\left[\exp\left(\frac{U}{\varphi_T}\right)-1\right],$$

где U - напряжение на *p-n*-переходе; I_0 -обратный (или тепловой) ток, φ_T - температурный потенциал электрона.
Туннельным называется полупроводниковый диод, в котором используется туннельный механизм переноса носителя заряда через р-п-переход и в характеристике которого есть область отрицательного дифференциального сопротивления (рис. 77).

Туннельные диоды отличаются очень малым удельным сопротивлением

,р- и- п-областей (содержание примесей до 10^{-21} $\frac{1}{см3}$ 3) и весьма малой (порядка 0,001 мкм) толщиной р-п-перехода. Электроны проходят потенциальный барьер, не изменяя своей энергии. Это приводит к тому, что вольтамперная характеристика туннельного диода значительно отличается от такой же характеристики обычного диода.

Через р-п-переход туннельного диода протекает ток, который можно представить в виде составляющих: I=Iт.пр—Iт.обр+Iд, где Iт.пр — туннельный ток в прямом направлении; Iт.обр — туннельный ток в обратном направлении; Iд — диффузионный ток.

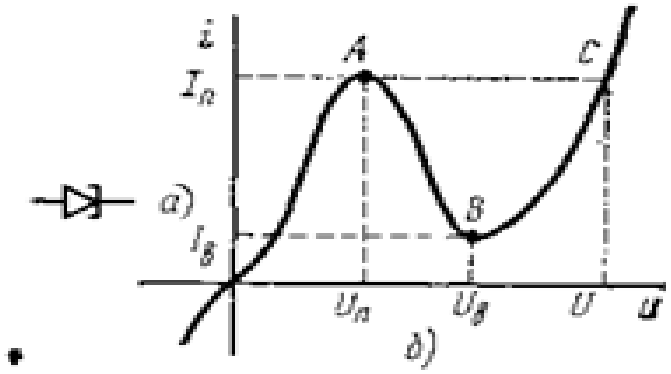


Рис. 3 туннельный диод а-условное графическое обозначение,

б- вольтамперная характеристика

В точке А (рис. 3) прямой туннельный ток достигает пикового значения Iп при некотором пиковом напряжении Uп. Односторонняя проводимость р-п- перехода при туннельном эффекте полностью отсутствует. В точке В туннельный ток полностью прекращается, а р-п-- переход приобретает обычные свойства, связанные с прохождением через него диффузионного тока впадины $I_{в.}$. В точке С ток равен пиковому при напряжении U.

Падающий участок характеристики широко применяют для усиления и генерирования колебаний. Характеристика туннельного диода мало зависит от температуры, диод обладает большой скоростью срабатывания, может работать при очень низкой и при высокой температуре.

Одно из преимуществ туннельных диодов — очень малая потребляемая мощность (не более 1 % мощности, потребляемой обычным полупроводниковым диодом).

Оборудование

1. Источник постоянного напряжения 4,5 В.
2. Переменный резистор 1 — 10 Ом.
3. Резистор 1—5 кОм. ^
4. Миллиамперметр типа 359, класса точности 0,5 с тремя шкалами измерения 10, 20 и 40 мА. Шкалаимеет ЮО' делений.

5. Вольтметр астатический типа АВН, класса точности 0,5 с тремя шкалами измерений 1,5, 3 и 7,5 В. Шкала имеет 150 делений.
6. Туннельный диод.

Порядок выполнения работы

Собрать электрическую цепь по рис. 78 для снятия вольтамперной характеристики туннельного диода и дать на проверку преподавателю.

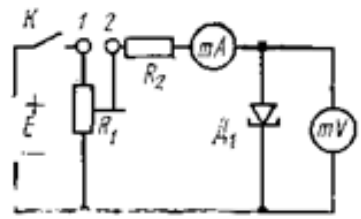


Рис. 78. Схема для исследования туннельного диода

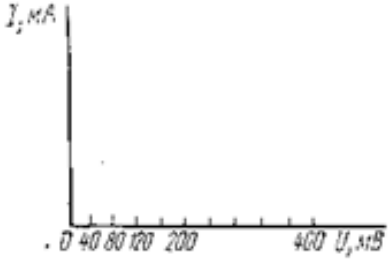


Рис. 79. Координатные оси для построения вольтамперной характеристики туннельного диода

2. Движок переменного резистора должен находиться в крайнем нижнем положении.
3. Замкнуть контакт К, подав тем самым напряжение на исследуемый диод
4. Изменяя напряжение на входе от 0 до 400—600 мВ ступенями по 20— 40 мВ, снять вольтамперную характеристику туннельного диода и результаты измерений записать в таблицу.
5. Снять напряжение с установки.
6. По полученным данным построить вольтамперную характеристику туннельного диода (рис. 79).
7. Рассчитать величину отрицательного дифференциального сопротивления на падающем участке вольтамперной характеристики туннельного диода по формуле $R_Д = \frac{\Delta U}{\Delta i}$ (величина которого должна находиться в интервале 5—100 Ом).
8. Составить отчет.

	Ток туннельного диода ГИ															
Напряжение, мВ	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
Ток, мА																

Контрольные вопросы

1. Почему туннельные диоды считают приборами с «вырожденными» полупроводниковыми свойствами?

2. Что можно сказать о концентрации примесей в туннельном диоде?

3. В чем особенность вольтамперной характеристики туннельного диода?

4. Какова область применения туннельных диодов?

5. Что называется пиковым напряжением туннельного диода?

6. Что можно сказать о потребляемой мощности туннельными диодами по сравнению с потребляемой мощностью обычных полупроводниковых приборов?

Практическая работа № 14

Исследование работы транзистора, включенного по схемам с общим эмиттером, общей базой, общим коллектором

Цель работы*:* изучить основные параметры транзисторов, их усилительные свойства и область применения.

Основные теоретические положения

Транзистор полупроводниковый триод, у которого изменение тока во входной цепи вызывает изменение сопротивления выходной цепи. Транзистор применяется в схемах радиоэлектроники для усиления и генерирования сигналов различной частоты, а также как бесконтактный «переключатель.

Если к р-п-переходу «добавить» область с дырочной или электронной проводимостями, то образуются транзисторные р-п-р- или п-р-п-структуры с двумя переходами, обладающими усилительными свойствами (рис. 80).

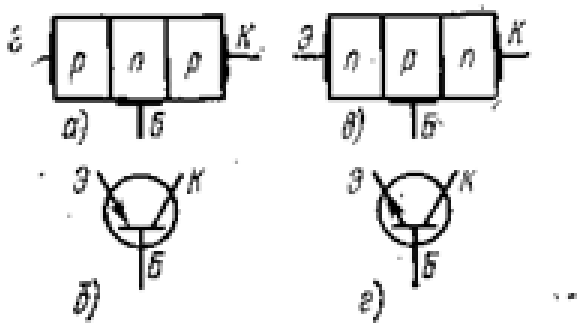


Рис. 1. Типы транзисторов:

А. структурная схема транзистора р-п-р-типа.

Б. условное графическое обозначение на схемах транзистора р-п-р-типа.

В. структурная схема транзистора п-р-п -типа.

Г. условное графическое обозначение на схемах транзистора п-р-п -типа.

Принцип действия транзисторов основан на взаимодействии, двух р-п-переходов (рис. 2).

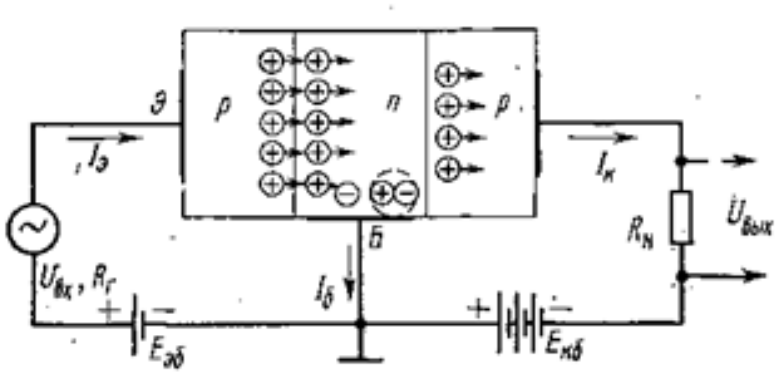


Рис. 2. Схема соединения источников питания и транзистора р-п-р-типа, включенного по схеме с общей базой

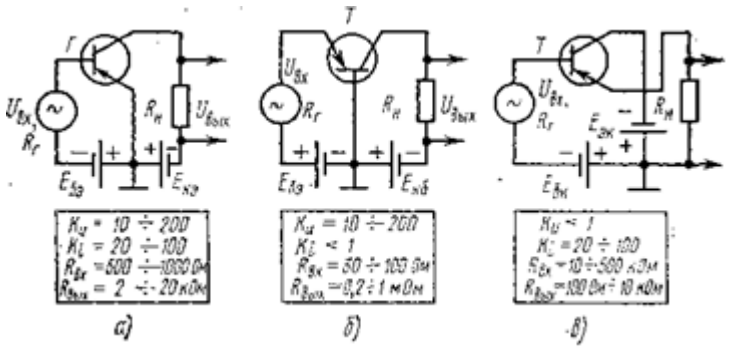


Рис. 3. Схема включения транзисторов р-п-р-типа с указанием основных параметров: а — с общим эмиттером, б — с общей базой, в — с общим коллектором

Возможны три основные схемы включения транзистора (рис. 3): с общим эмиттером (а), с общей базой (б), с общим коллектором (в). Схемы включения транзисторов отличаются своими свойствами, но, принцип усиления электрических колебаний остается неизменным. Под влиянием переменного входного напряжения Uвх изменяется Iэ. а следовательно, Iк. Так как нагрузочное сопротивление велико, выходной сигнал Uвых, тоже велик, т. е. транзистор является усилителем напряжения.
При включении транзисторов всегда следует выделять входную цепь, или цепь управления, и выходную цепь. Зависимость между током и напряжением во входной и выходной цепях триода определяется его вольтамперны-ми характеристиками.

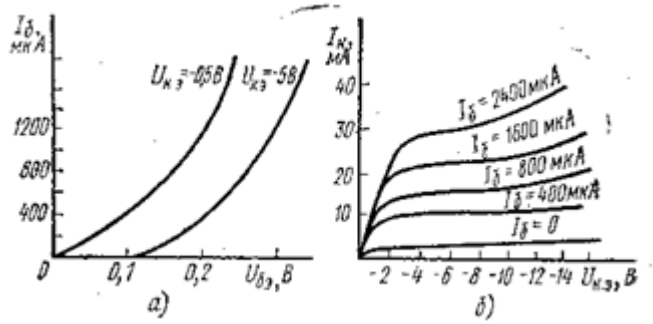


Рис. 4. Статические характеристики транзистора МП41 с общим эмиттером: а — входные, б — выходные

На рис. 4, а показаны входные характеристики транзистора МП41 для схемы с общим эмиттером (ОЭ), на рис. 4, б — выходные.
÷

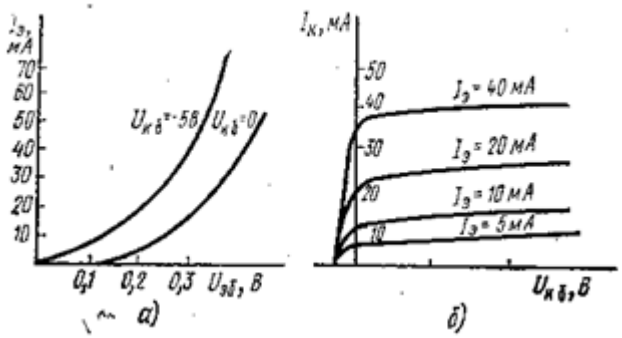


Рис. 5. Статические характеристики транзистора МП41 с общей базой: а — входные, б выходные

Семейства входных (рис. 5, а) и выходных (рис. 5, б) характеристик транзистора МП41 для схемы с общей базой (ОБ) позволяют установить зависимости между током и напряжением во входной и выходной цепях.

При рассмотрении схем включения транзисторов замечаем, что схема с ОЭ может дать 10÷200-кратное усиление сигнала по напряжению Ku==10÷200) и 20÷100-кратное усиление сигнала по току (Ki=20÷100). Благодаря таким усилительным свойствам схема с ОЭ имеет наибольшее применение. Режим же работы транзистора как усилителя определяется напряжениями на его электродах и токами в цепях, при которых он не искажает усиливаемого сигнала.

Наиболее существенный недостаток схемы с ОЭ — малое входное сопротивление— всего 500—1000 Ом,, что усложняет согласование усилительных каскадов, собранных по такой схеме. Что же касается выходного сопротивления каскада, то оно достаточно большое (Rвых=2÷20 кОм) и зависит от -сопротивления нагрузки и усилительных свойств транзистора. В данной работе предусмотрено исследование схемы с ОЭ.

Оборудование и аппаратура

1. Источник постоянного напряжения 1—3 В.
2. Источник постоянного напряжения 15 В.
3. Переменные резисторы 1—10 кОм — 3 шт.'
4. Миллиамперметр 959 — 2 шт.
5. Вольтметр 7—15 В — 2 шт.
6. Транзистор исследуемый — 1 шт.

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую цепь по рис. 5 и показать ее преподавателю. Движки переменных резисторов поставить в крайнее нижнее положение.

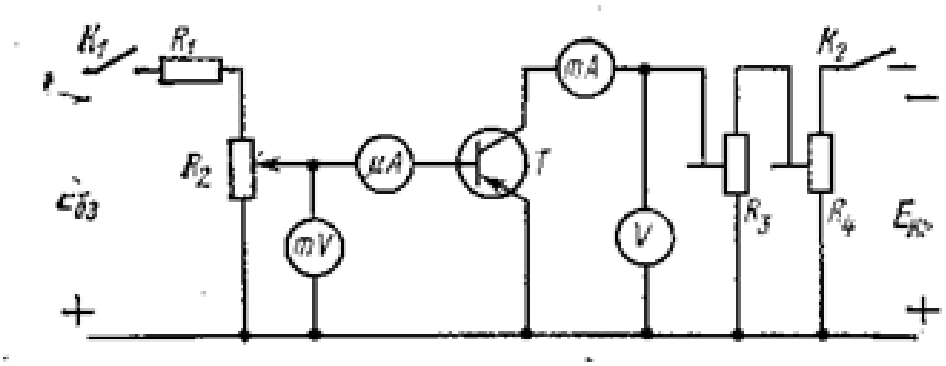


Рис. 5. Схема для исследования транзистора

2. Замкнуть контакты К1 и К2 и установить с помощью переменных резисторов R3 и R4 первое фиксированное напряжение на коллекторе $U_{к1}$= 0. В процессе работы поддерживать его строго постоянным.
3. С помощью резистора R2 установить различные значения напряжения на эмиттере (5—6 точек) от О до 0,2 В и при каждом значении напряжения на эмиттере записать показания всех приборов в приводимую ниже таблицу.*
4. Переменными резисторами R3 и R4 установить другое фиксированное напряжение на коллекторе $U_{к\,2}$= -5 В и, поддерживая его все время постоянным, повторить операции, указанные в п. 3.

Таблица

Характеристики	$U_э$, В	$I_э$, мА	$U_к$, В	$I_к$, мА
Входные				
Выходные				

5. По данным таблицы начертить кривые зависимости $I_э = f(U_э)$ при $U_{к1}$= 0 и $U_{к\,2}$= -5В, (входные характеристики).

6. С помощью .резистора R2 установить первое фиксированное значение тока эмиттера

Iэ = 3 мА (в процессе работы поддерживать его строго постоянным).

7. Установить потенциометрами Uз и U4 различные значения напряжения на коллекторе (5—6 точек) и занести в таблицу показания приборов при всех значениях напряжения.

8. Установить второе фиксированное значение тока эмиттера $I_{э2}$= 6 мА и, поддерживая его строго постоянным, выполнить операцию, указанную в п. 7.

9: По данным таблицы построить график зависимости $I_к = f(U_к)$ при, = 3 мА и /д = 6 мА (выходные характеристики).

10. Составить отчет.

Контрольные вопросы

1. Область применения транзисторов.
2. Что называется электронной и дырочной проводимостями?
3. Какие примеси называются донорными и какие — акцепторными?
4. Каковы устройство и принцип действия транзистора?
5. Чем обусловлен запирающий слой в р-п-переходе и как он изменится если приложить прямое и обратное напряжения?
6. Почему величина обратного тока коллектора практически не зависит от напряжения на коллекторе?
7. Что такое коэффициент передачи тока и как его можно определить?
8. В чем заключаются особенности трех схем включения транзистора?
9. Какая схема включения транзистора находит наибольшее применение в качестве усилительного каскада и почему?
10. Какая схема включения называется эмиттерным повторителем?
11. Что можно сказать о величинах входного и выходного сопротивлений?
12. Как зависят характеристики транзисторов от температуры?
13. Почему недопустим режим работы транзистора с отключенной базой в схеме с общим эмиттером?

Практическая работа № 15
Исследование стабилизированного полупроводникового выпрямителя по мостовой схеме

Цель работы: изучить принцип работы стабилизированного выпрямителя и возможные пульсации на входе и выходе его при различных токах нагрузки.

Основные теоретические положения

В выпрямителях переменного напряжения наибольшее применение находят германиевые и кремниевые полупроводниковые диоды, которые по эксплуатационной надежности и сроку службы значительно превосходят все остальные типы вентилей.

Схема однофазного мостового выпрямителя показана на рис. 89.

В течение положительных полупериодов ток I_1 проходит через вентили $Д_1$ и $Д_3$, а в течение отрицательных полупериодов ток I_2 проходит через вентили $Д_2$ и $Д_4$. Через нагрузочный резистор $R_н$ ток проходит в одном направлении.

Среднее значение выпрямленного напряжения с учетом внутренних сопротивлений

$$U_0 = 0,9U_2 \frac{R_н}{2Ri + R_н},$$

вентилей

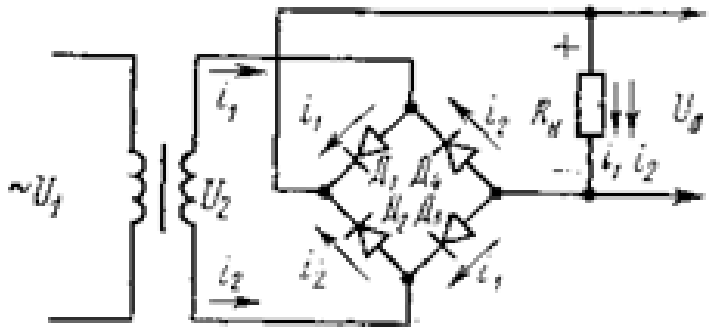


Рис. 89. Схема однофазного мостового выпрямителя

Расчетная мощность трансформатора
P=1,23Po.
Обратное напряжение в мостовой схеме

$$U_{\text{обр.макс}} = \sqrt{2}\, U_2 \approx \frac{\sqrt{2}}{0,9} U_0 = 1,57\, U_0$$

независимо от характера нагрузки выпрямителя.

Многие радиоустройства требуют большой стабильности напряжения и тока. Чтобы напряжение, питающее схему радиоустройства, мало зависело от изменения напряжения сети и сопротивления нагрузки, применяют стабилизаторы. Существует большое количество различных способов и схем стабилизации. В УНЧ используют стабилизаторы напряжения трех типов: диодные, диодно-транзисторные и транзисторные (рис. 90).

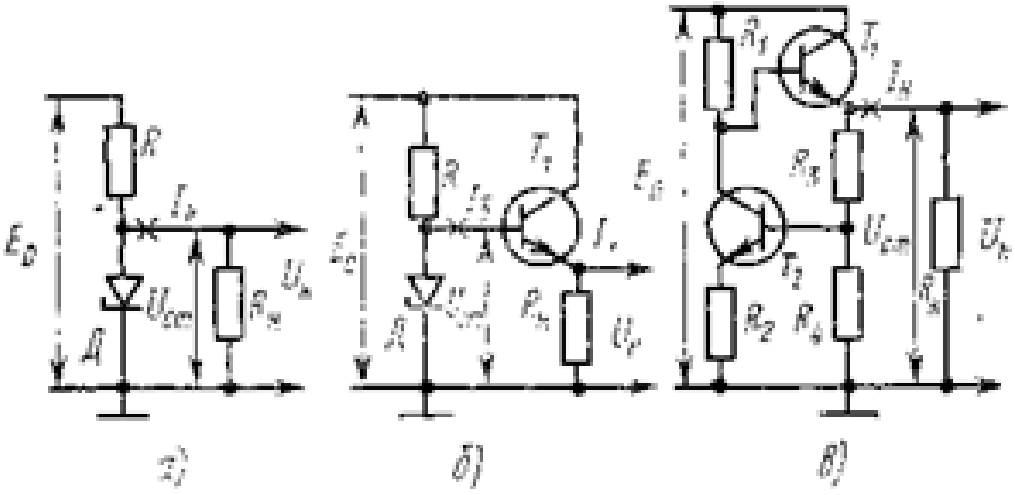


Рис. 90. Схемы стабилизаторов напряжения:
а — диодного, б — диодно-транзисторного, в — транзисторного

Диодный стабилизатор (рис. 90, а) содержит диод Д и балластный резистор Н. Нагрузка включается параллельно диоду, в качестве которого используются стабилитроны, работающие на обратной ветви вольтамперной характеристики. Некоторые сведения о диодах, используемых в стабилизаторах напряжения, приведены в табл. 1.

Величина балластного сопротивления может быть рассчитана **по фор**муле

$$R = \frac{E_0 - U_{ст}}{2I_н}.$$

Тип диода	$U_{ст}$, В	$I_{ст}$, мА	$I_{ст.мин}$, мА	$I_{ст.макс}$, мА	$P_{макс}$, Вт
Д808	7—8,5	5	3	33	0,28
Д810	9—10,5	5	3	33	0,28
Д814	7—8,5	5	3	36	0,34
Д816	22	150	10	230	5,000

Диодно-транзисторный стабилизатор (см. рис. 90, б) содержит диодный стабилизатор (R и Д) и транзистор T_1 с ОК. Нагрузка Rн включается в эмиттерную цепь T_1 Напряжение Uст с выхода диодного стабилизатора передается эмиттерным повторителем к нагрузке. При этом стабилизированное напряжение на нагрузке U_h оказывается меньше Uст на величину напряжения Uбэ транзистора. Величина стабилизированного тока Iн ограничивается максимально допустимым током коллектора и допустимой мощностью рассеяния на коллекторе. Для диодного стабилизатора нагрузочным током является базовый ток транзистора Iб, который в h_{21} раз меньше тока Iн. В этом случае величина балластного сопротивления может быть рассчитана по формулам

$$I_б = \frac{I_н}{h_{21э}};$$

$$R = \frac{E_0 - U_{ст}}{2I_б}.$$

Транзисторный стабилизатор напряжения с обратной связью (рис. 90, в) содержит два транзистора: T_1включенный по схеме ОК, и T_2 — по схеме 03.

Стабилизаторы такого типа используются в интегральных микросхемах, а также в высококачественной радиовещательной аппаратуре.

Оборудование и аппаратура

1. Трансформатор намотан на тороидальном магнитопроводе ОЛ20/32Х Х Ш. Первичная обмотка содержит 4400 витков провода ПЭВ-20,08 (отвод сделан от 2540-го витка), вторичная обмотка имеет 380 витков провода ПЭВ:20,18.
2. Переключатель напряжения сети — 1 шт.
3. Переменный резистор ППБ-50Г 2,2 кОм — 1 шт.
4. Конденсаторы БМ2 с рабочим напряжением 400 В — 2 шт.
5. Конденсатор К50 — 1 щт.
6. Диод Д814Б— 1 шт.
7. Диод Д220Б — 4 шт.
8. Транзистор П214А (П213, П4Э) — 1 шт.
9. Резистор 20 кОм, 1 Вт — 1 шт.
10. Переменный резистор СП— 2 А, 20 кОм—1 шт.
11. Резистор 3,5 кОм ' (подбирается) — 1 шт.
12. Вольтметр электромагнитной системы 250 В — 1 шт.
13. Миллиамперметр типа Э59—1 шт.
14. Вольтметр астатического типа АВН15 — 50 В—1 шт.

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую цепь по рис. 91 и показать ее преподавателю.
2. Переменный резистор Я1 полностью вывести, а На полностью ввести.

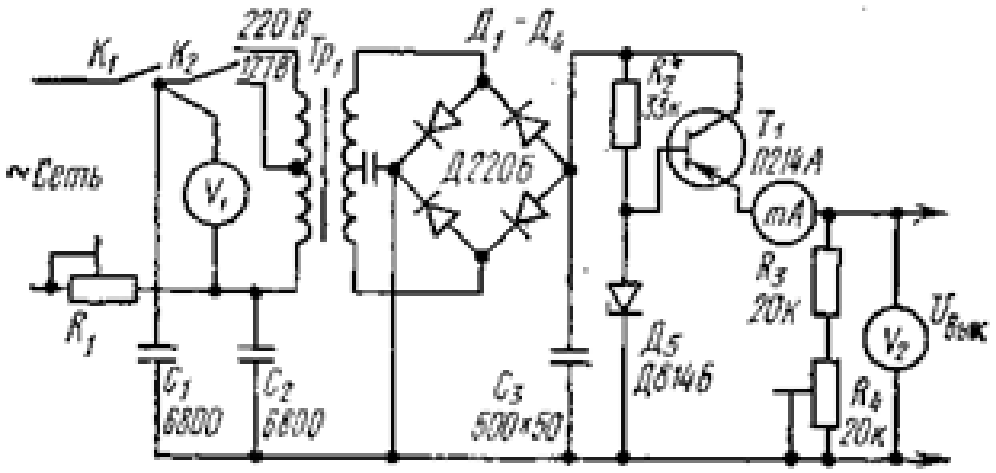


Рис. 91. Схема для исследования работы стабилизированного выпрямителя по мостовой схеме

3. Замкнуть контакт K_1 подав в цепь напряжение 127 В. Показания всех приборов внести в табл. 2, установив ток нагрузки с помощью резистора R_4

30 мА.

2.

$U_{вх}$ = 127 В		$U_{вх}$ = 127 − 10% = 114 В		$U_{вх}$ = 127 + 10% = 140 В	
$I_{нагр}$, мА	$U_{вых}$, В	$I_{нагр}$, мА	$U_{вых}$, В	$I_{нагр}$, мА	$U_{вых}$, В
30		30		30	
40		40		40	
50		50		50	

4. Изменить ток нагрузки на 40 мА с помощью резистора R4 и записать показание выходного вольтметра V_2 в табл. 2. Повторить измерение выходного напряжения для тока нагрузки 50 мА. Данные измерений внести в табл. 2.

5. Уменьшить входное напряжение с помощью резистора на 10%, доведя его до 114 В. Повторить измерения выходного напряжения до токов нагрузки 50, 40, 30 мА. Данные измерений внести в табл. 2.

6. Снять напряжение сети. Переключатель напряжения сети поставить в положение 220 В, резистор R_1 — В среднее положение. Подключить установку к сети с напряжением 220 В.

7. Замкнуть контакт K_1 и с помощью R_1 установить напряжение на входе 127+10% = 140 В. Повторить измерения выходного напряжения для токов нагрузки 30, 40, 50 мА. Данные измерений внести в табл. 2.'

Снять напряжение сети.

1. Изобразить зависимость выходного напряжения от тока нагрузки и входного напряжения (рис. 92).
2. Составить отчет.

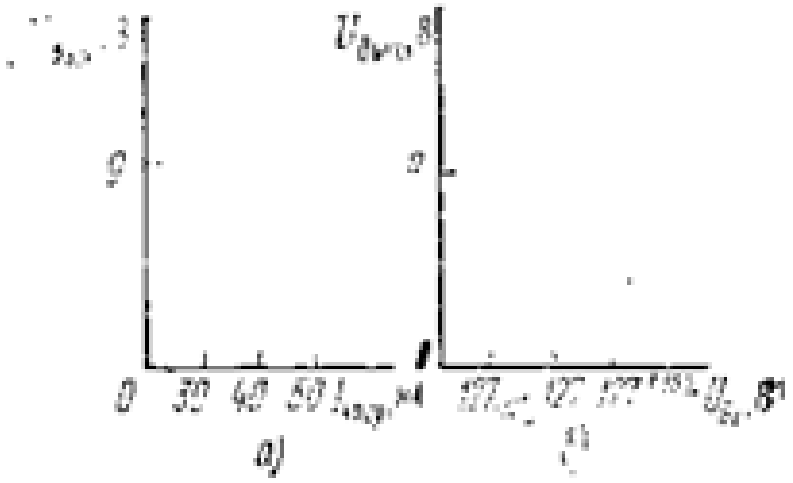


Рис. 92. Координатные оси для построения графиков зависимости выходного напряжения:

а — при изменении тока нагрузки; *б* — при изменении входного напряжения

Контрольные вопросы

1. Какие типы выпрямителей вы знаете?
2. Что такое полупроводниковый выпрямитель и в чем заключается принцип его работы?
3. Какие типы полупроводниковых выпрямителей вам известны?
4. В чем заключаются особенности выпрямителя, собранного по мостовой схеме?
5. Чем отличается по принципу действия кремниевый стабилитрон от полупроводникового выпрямителя?
6. В чем заключается особенность вольтамперной характеристики полупроводникового стабилитрона?
7. Какие схемы стабилизаторов напряжения вам известны?
8. В чем отличие диодно-транзисторного стабилизатора от диодного?
9. Что можно сказать о влиянии нагрузки на работу стабилизатора напряжения?
10. Какие полупроводниковые диоды применяются в выпрямителях и почему?

И. Как протекает ток в нагрузке в оба полупериода?

12. Что можно сказать о трансформаторе для мостовой схемы выпрямителя по сравнению с трансформатором для двухполупериодной схемы выпрямителя?

Практическая работа № 16

Исследование усилителей на транзисторах

Цель работы: исследование параметров усилителей сигналов переменного тока в зависимости от схемы включения биполярных транзисторов и начального смещения, задаваемого на базе, эмиттере и коллекторе транзисторов.

Основные теоретические положения

В лабораторной работе исследуются усилители сигналов на биполярных транзисторах, включенных по схеме с общим эмиттером ОЭ, с общей базой ОБ и общим коллектором ОК (рисунок, *а – в*).

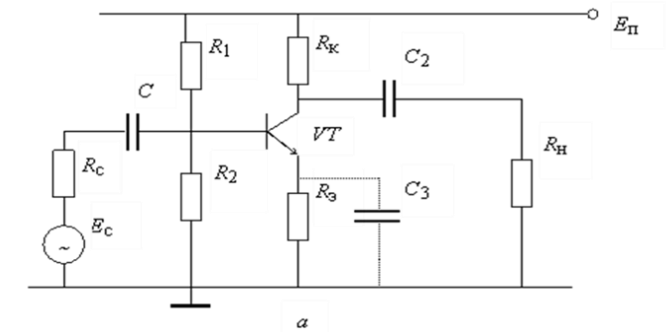
Расчет схем таких усилителей осуществляется в 2 этапа и включает расчет по постоянному и переменному токам.

Расчет по постоянному току. Расчет позволяет задать исходные смещения на базе, эмиттере и коллекторе транзисторов с помощью резисторов, благодаря чему транзистор работает как регулируемый генератор тока и обеспечивает усиление по току и напряжению.

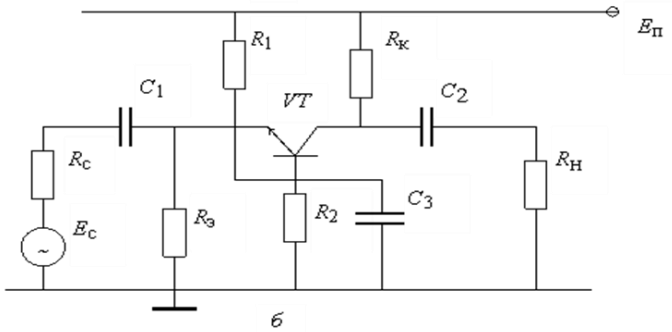
Рассмотрим пример расчета по постоянному току схемы с общим эмиттером.

Для реализации усилительных свойств эмиттерный *p-n*-переход биполярного транзистора должен быть смещен прямо, а коллекторный *p-n*-переход – обратно. Следовательно, при использовании транзистора *n-p-n*-типа потенциал базы $U_б$ должен быть выше потенциала эмиттера $U_э$ на величину смещения эмиттерного *p-n*-перехода $U_{бэ}$ (порядка 0,2…0,5 В), а потенциал коллектора $U_к$ – соответственно на величину смещения коллекторного *p-n*-перехода $U_{кэ}$ (порядка 0,3…0,7 от уровня $E_п$). Задание потенциала базы $U_б$ обеспечивается с помощью потенциометрического делителя напряжения на сопротивлениях R_1 и R_2: $U_б = E_п\ R_1 / (R_1 + R_2)$.

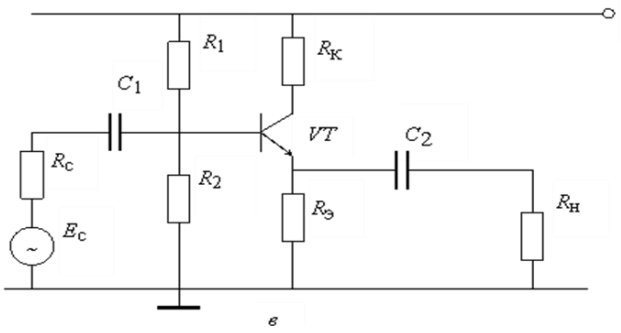
Для снижения шунтирующего действия сопротивлений R_1 и R_2 на источник сигнала $E_с$ необходимо, чтобы R_1 и R_2 были значительно меньше сопротивления источника сигнала $R_с$. Ток делителя $I_д = E_п / (R_1 + R_2)$ в



а



б



Функциональные электрические схемы усилителей:

а – с ОЭ; *б* – с ОБ; *в* – с ОК

3…5 раз должен превышать задаваемый ток базы $I_Б$ транзистора.

Потенциалы эмиттера $U_Э$ и коллектора будут зависеть от тока базы $I_Б$ и определяются соотношениями:

$$U_Э = U_Б - U_{БЭ} = R_Э I_Э;$$

$$U_К = U_Э + U_{КЭ} = E_П - R_К I_К,$$

где токи эмиттера $I_Э$ и коллектора $I_К$ равны соответственно $I_Э = (\beta + 1) I_Б$,

$I_К = \beta I_Б$; β – статический коэффициент усиления тока базы.

При значительных уровнях входного сигнала для эффективного использования динамического диапазона изменения выходного сигнала целесообразно задать напряжение смещения $U_{КЭ} = 0{,}5 E_П$.

Расчет по постоянному току усилителей на транзисторах, включенных по схемам с ОБ и ОК, осуществляется аналогичным образом.

Расчет по переменному току. На этом этапе определяются номиналы элементов схемы, влияющих на работу усилителей по переменному току, т. е. при усилении сигналов, а также рассчитываются параметры усилителя.

Основными параметрами усилителя являются коэффициенты усиления по напряжению K_U, по току K_I, мощности K_P, входное $R_{ВХ}$ и выходное $R_{ВЫХ}$ сопротивления. Соотношения для определения этих параметров при различных схемах включения транзисторов приведены в таблице, где $r_Б$ – динамическое сопротивление базы транзистора; $r_Э$ и $r_К$ – динамические сопротивления эмиттерного и коллекторного *p-n*-переходов; $r_Э = \varphi / I_Э =$
$= 26$ мВ$/ I_Э$; $r_К \to \infty$; α – динамический коэффициент передачи тока эмиттера; β – динамический коэффициент усиления тока базы; φ – фазовый сдвиг между входным и выходным сигналами.

Сравнивая различные схемы включения биполярных транзисторов в усилителе можно отметить, что наибольшим входным и наименьшим выходным сопротивлением обладает схема с ОК, наименьшее входное сопротивление обеспечивает схема с ОБ, а наибольшие коэффициенты усиления по напряжению, току и мощности можно получить, используя схему с ОЭ.

При расчете усилителей необходимо выполнить требование по согласованию источника сигнала с нагрузкой. Оно заключается в том, что для максимального отбора сигнала от источника на нагрузку сопротивление нагрузки должно быть значительно больше сопротивления источника сигнала.

Параметр усилителя	Схема включения транзистора		
	ОЭ	ОБ	ОК
K_U	$\beta [R_к \parallel R_н] / [r_б + (\beta + 1)(r_э + R_э)]$	$\alpha [R_к \parallel R_н] / [r_б (1 - \alpha) + r_э]$	$(\beta + 1) [R_э \parallel R_н] / [r_б + (\beta + 1)(r_э + R_э \parallel R_н)]$
K_I	$\beta R_к / (R_к + R_н)$	$\alpha R_к / (R_к + R_н)$	$(\beta + 1) R_э / (R_э + R_н)$
K_P	$K_U K_I$	$K_U K_I$	$K_U K_I$
$R_{вх}$	$r_б + (\beta + 1)(r_э + R_э)$	$r_б (1 - \alpha) + r_э$	$r_б + (\beta + 1)(r_э + R_э \parallel R_н)$
$R_{вх.п}$	$R_{вх} \parallel R_{б.д}$	$R_{вх} \parallel R_э$	$R_{вх} \parallel R_{б.д}$
$R_{вых}$	$R_к \parallel r_к \approx R_к$	$R_к \parallel r_к \approx R_к$	$r_э + (r_б + R_с) / (\beta + 1)$
φ	180°	0	0

Для источника сигнала $E_с$ нагрузкой является усилитель, а ток, протекающий через $E_с$, будет определяться как значением сопротивления $R_с$, так и полным входным сопротивлением усилителя $R_{вх.п}$. Его можно вычислить, зная сопротивление базового делителя $R_{б.д}$ и входное сопротивление $R_{вх}$:

$R_{вх.п} = R_{б.д} \parallel R_{вх}$; $\qquad R_{б.д} = R_1 \parallel R_2$.

Для усилителя, который сам является источником сигнала, нагрузкой будет $R_н$. Поэтому для достижения максимального усиления сигнала и передачи его на нагрузку сопротивление $R_н$ должно быть значительно больше выходного сопротивления усилителя.

Конденсаторы C_1 и C_2 обеспечивают развязку цепей источника сигнала и нагрузки по постоянному и переменному токам, т. е. они исключают влияние источника сигнала и нагрузки при их подключении на исходное смещение транзистора. Их номиналы рассчитываются в соответствии со следующими соотношениями:

для схемы с ОЭ

$C_1 \geq 1/[\omega_н (R_с + R_{вх.п})]$; $C_2 \geq 1/[\omega_н (R_{вых} + R_н)]$; $C_3 \geq 1/(\omega_н R_э)$;

для схемы с ОБ

$C_1 \geq 1/[\omega_н (R_э + R_{вх})]$; $C_2 \geq 1/[\omega_н (R_{вых} + R_н)]$; $C_3 \geq 1/(\omega_н R_{б.д})$;

для схемы с ОК

$C_1 \geq 1/[\omega_н (R_с + R_{вх.п})]$; $\qquad C_2 \geq 1/[\omega_н (R_{вых} + R_н)]$,

где $\omega_н$ – нижняя граница частотного диапазона работы усилителя.

Конденсатор C_3 в схеме с ОЭ позволяет задать необходимую глубину отрицательной обратной связи. Он снижает влияние сопротивления $R_э$ на коэффициент усиления по напряжению. Возможно подключение C_3 к части сопротивления $R_э$ ($R_э = R_{э1} + R_{э2}$). При этом коэффициент усиления K_U будет определяться частью сопротивления $R_э$, которая не шунтируется конденсатором C_3: $K_U = \beta [R_к \parallel R_н] / [r_б + (\beta + 1)(r_э + R_{э1})]$.

Порядок выполнения работы

1. Собрать на макетном поле усилитель переменного сигнала на биполярных транзисторах, включенных по схемам с ОЭ, ОБ и ОК.

2. Изменяя номиналы сопротивлений базового делителя R_1 и R_2 с помощью вольтметра замерить потенциалы на базе, эмиттере и коллекторе транзисторов. Выявить зависимость между напряжением смещения $U_{бэ}$ и $U_{кэ}$. Путем изменения номинала сопротивления $R_э$ установить его влияние на $U_{кэ}$.

3. Подключить генератор сигналов низкой частоты к входу усилителя, установить уровень входного сигнала $U_{вх}$ = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7 В. Замерить амплитуду сигнала на выходе усилителя. В режиме внешней синхронизации осциллографа сравнить фазу входного и выходного сигналов.

4. Подключить последовательно к входу усилителя сигналов эталонное сопротивление $R_э$ = 10 кОм и при уровне сигнала на выходе генератора сигналов $E_с$ = 0,1 В замерить амплитуду сигнала на выходе усилителя. Повторить измерения при сопротивлении $R_э$ = 100 кОм. Рассчитать входное сопротивление усилителя $R_{вх}$ по формуле

$R_{вх} = R_э U_{вых1} /(U_{вых1} - U_{вых2})$,

где $U_{вых1}$ и $U_{вых2}$ – выходные сигналы без и с подключением эталонного сопротивления.

5. Подключить генератор сигналов к входу усилителя и подать сигнал с амплитудой $U_{вх}$ = 0,1 В. Замерить уровень выходного сигнала. Подключить последовательно нагрузке усилителя $R_н$ эталонное сопротивление $R_н$ =

= 10 кОм. Замерить уровень сигнала на нагрузке. Вычислить выходное сопротивление усилителя по формуле

$R_{вых} = [U_2 R_э + R_н (U_2 - U_1)] / (U_1 - U_2)$,

где U_1 и U_2 – выходные напряжения соответственно без и с последовательно включенным сопротивлением $R_э$.

Содержание отчета

1. Функциональные схемы собранных усилителей с использованием биполярных транзисторов *p-n-p-* и *n-p-n*-типов с указанием номиналов всех элементов схемы.

2. Таблица потенциалов исходного смещения базы, эмиттера и коллектора транзисторов для всех усилителей.

3. Таблица выходных напряжений для уровней входного сигнала $E_с$ =

= 0,1; 0,2; 0,4; 0,5; 0,6 и 0,7 В и соответствующих им экспериментально полученных значений коэффициентов усиления сигналов по напряжению.

4. Временные диаграммы сигналов на базе, эмиттере и коллекторе транзисторов.

5. Расчет коэффициентов усиления по напряжению, току и мощности, входного и выходного сопротивлений усилителей для исследуемых схем включения транзисторов.

6. Расчет входных и выходных сопротивлений усилителей по результатам экспериментальных исследований.

7. Сравнительный анализ свойств усилителей на биполярных транзисторах, включенных по схемам с ОЭ, ОБ, ОК.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается сущность расчета усилителя по постоянному и переменному токам?

2. Какие элементы схемы влияют на исходное смещение транзистора?

3. Какие элементы схемы влияют на параметры усилителя по переменному току?

4. Зачем используются разделительные конденсаторы в усилителях, конденсатор в эмиттерной цепи схемы с ОЭ, конденсатор в цепи базы в схеме с ОБ?

5. Перечислите пути повышения входного сопротивления и снижения выходного сопротивления усилителей.

6. Перечислите пути повышения коэффициентов усиления по напряжению и току.

7. Как сказывается на параметрах усилителя увеличение (снижение) напряжения питания $E_{\text{П}}$?

8. Перечислите пути расширения амплитудного диапазона усиления сигнала.

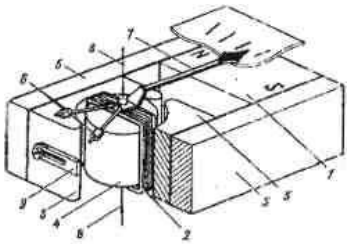
9. Перечислите пути расширения частотного диапазона усиления сигнала.

10. В чем различие между расчетами многокаскадных усилителей переменного и постоянного тока?

ПРИЛОЖЕНИЕ

Магнитоэлектрическая система

Работа механизмов основана на взаимодействии магнитного потока постоянного магнита и тока, проходящего по катушке (рамке). Возникающий при этом вращающий момент отклоняет подвижную часть механизма относительно неподвижной.



1 – сильный постоянный магнит; 2 – катушка (рамка) прямоугольной формы; 3 – полюсные наконечники; 4 – цилиндрический сердечник; 5 – магнитопровод; 6 – грузики; 7 – стрелка, 8 – растяжки

Рисунок 1 – Магнитоэлектрический механизм с внешним магнитом

Ток к рамке подводится через две спиральные пружины, которые одновременно служат для создания противодействующего момента. Момент, создаваемый пружиной, пропорционален углу закручивания, поэтому

$M_{пр} = k_2 \cdot \alpha$,

где k_2 – постоянный коэффициент;

α – угол поворота рамки (равный углу закручивания пружины).

Учитывая, что в момент отсчета, когда стрелка неподвижна, $M_{вр}=M_{пр}$ получаем

$k_1 \cdot I = k_2 \cdot \alpha$.

Из этого равенства находим

$$\alpha = \frac{k_1}{k_2} \cdot I = k \cdot I.$$

Таким образом, угол поворота рамки и стрелки-указателя пропорционален току, т.е. прибор может быть отградуирован как амперметр, и иметь равномерную шкалу.

На основании закона Ома имеем,

$$I = \frac{U}{R_n},$$

где U – напряжение на зажимах прибора;

R_n – электрическое сопротивление рамки прибора.

После подстановки получаем

$$\alpha = \frac{k}{R_n} \cdot U.$$

Поскольку отношение $\frac{k}{R_n}$ для данного прибора – величина постоянная, последнее выражение показывает, что прибор может быть отградуирован как вольтметр.

Успокоение в механизме магнитоиндукционное.

Достоинства магнитоэлектрического механизма:

- большая чувствительность;
- малое собственное потребление мощности;
- малое влияние внешних магнитных полей;
- имеет равномерную шкалу.

Недостатки:

- сложность конструкции;
- чувствительность к перегрузкам;
- пригодность работы только на постоянном токе.

Электродинамическая система

Работа механизмов основана на взаимодействии магнитных полей двух катушек с токами – неподвижной 1 и подвижной 2 (рисунок 2).

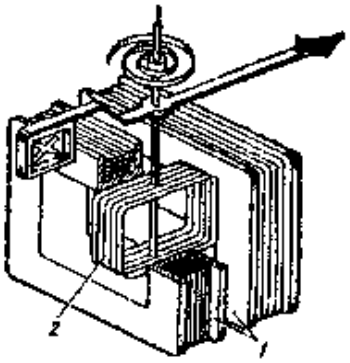


Рисунок 2 – Электродинамический измерительный механизм

Подвижная катушка, укрепленная на оси или растяжках, может поворачиваться внутри неподвижной. При протекании в обмотках катушек токов I_1 и I_2 возникают электромагнитные силы, стремящиеся так повернуть подвижную часть, чтобы магнитные потоки подвижной и неподвижной катушек совпали.

Успокоение – воздушное или магнитоиндукционное.

Достоинства электродинамических механизмов:

- одинаковые показания на постоянном и переменном токе;
- стабильность показаний во времени.

Недостатки:

- невысокая чувствительность;
- большое собственное потребление мощности;
- чувствительность к перегрузкам;
- влияние внешних магнитных полей;
- влияние температуры окружающей среды.

Ферродинамическая система

Механизмы ферродинамической системы отличаются от электродинамических механизмов тем, что неподвижная катушка имеет магнитопровод из магнитомягкого листового материала,

Существует две конструкции ферродинамических механизмов – одно- и двухкатушечные.

Успокоение - жидкостное и магнитоиндукционное.

Достоинства ферродинамических механизмов:

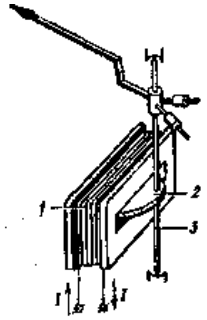
- малая восприимчивость к внешним магнитным полям;
- малое собственное потребление мощности;
- большой вращающий момент.

Недостатки:

- низкий частотный диапазон;
- низкая точность.

Электромагнитная система

Работа механизмов основана на взаимодействии магнитного поля, созданного неподвижной катушкой, по обмотке которой протекает измеряемый ток с ферромагнитным сердечником, эксцентрично укрепленным на оси (рисунок 3).



1 – плоская катушка; 2 – сердечник; 3 – опоры или растяжки

Рисунок 3 – Электромагнитный механизм с плоской катушкой

Вращающий момент пропорционален квадрату тока, так как магнитные поля катушки и сердечника создаются одним и тем же измеряемым током, протекающим по катушке:

$$M_{вр} = k_1 \cdot I^2;\ M_{пр} = k_2 \cdot \alpha;$$

$$k_1 \cdot I^2 = k_2 \cdot \alpha;$$

$$\alpha = \frac{k_1}{k_2} \cdot I^2 = k \cdot I^2 = \frac{k}{R_n^2} \cdot U^2$$

Последнее выражение показывает, что угол отклонения стрелки пропорционален квадрату тока или напряжения. Шкала прибора квадратичная, сжатая в начале, т.е. неравномерная.

Достоинства электромагнитных механизмов:

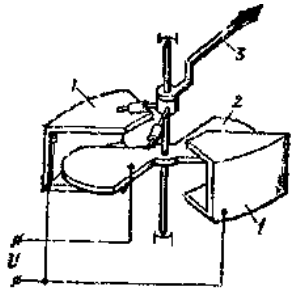
- пригодность для работы на постоянном и переменном токе;
- устойчивость к токовым перегрузкам;
- простота конструкции.

Недостатки:

- влияние внешних магнитных полей;
- неравномерность шкалы;
- большое собственное потребление мощности.

Электростатическая система

Перемещение подвижной части происходит под действием энергии электрического поля системы двух или нескольких электрически заряженных проводников (рисунок 4) и связано с изменением емкости системы.



1 – электроды; 2 – секторообразная пластина; 3 – указатель

Рисунок 4 – Электростатический измерительный механизм

Достоинства электростатических механизмов:

- не влияют частота и форма кривой приложенного напряжения;
- не влияют температура и внешние магнитные поля.

Недостатки:

- оказывают влияние внешние электрические поля;
- малая чувствительность.

Выпрямительная система

Для того чтобы магнитоэлектрические механизмы можно было использовать для измерения на переменном токе, нужно преобразовать переменный ток в постоянный.

В качестве преобразователей переменного тока в постоянный широкое распространение получили полупроводниковые выпрямители. Выпрямительный прибор представляет собой сочетание магнитоэлектрического измерительного механизма с выпрямителем на полупроводниковых диодах.

Схема измерительного механизма с однополупериодным выпрямителем представлена на рисунке 5.

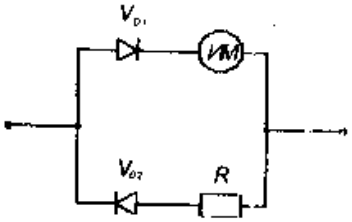
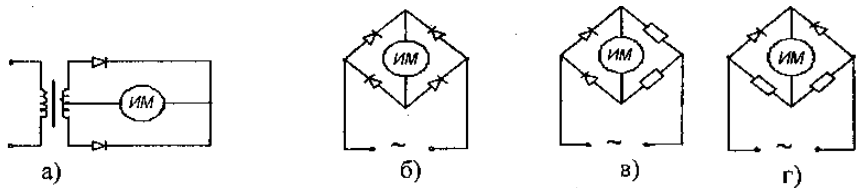


Рисунок 5 – Схема измерительного механизма

Схема измерительного механизма с двухполупериодным выпрямителем представлена на рисунке 5.



а) трансформаторная; б) мостовая; в, г) схемы мостовые с заменой диодов резисторами
Рисунок 5 – Схемы измерительных механизмов

Достоинства приборов:

- высокая чувствительность;
- малое собственное потребление мощности;
- широкий частотный диапазон.

Недостатки:

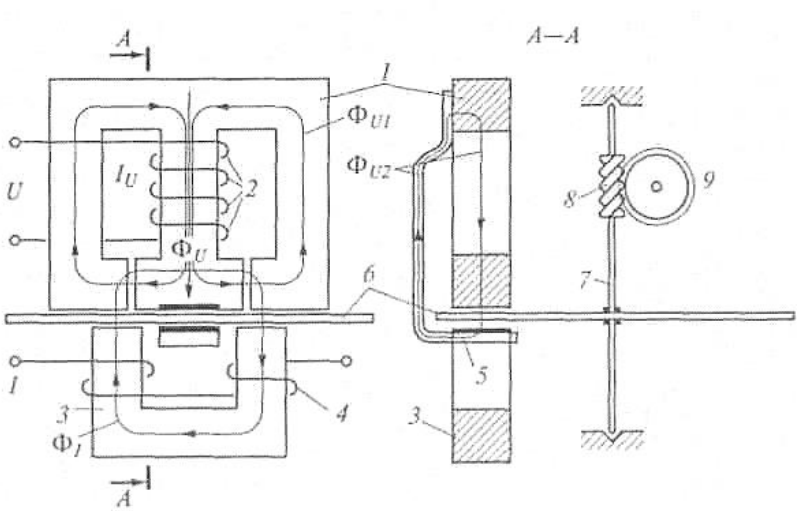
- невысокая точность;
- зависимость показаний от формы кривой измеряемой величины.

Индукционная система

Конструкция и принцип действия. Принцип действия индукционных приборов основан на взаимодействии двух или нескольких переменных магнитных потоков с токами, индуцированными в подвижном проводнике (например, диске). Типичным представителем

этой системы является классический *индукционный счетчик* – измеритель активной энергии.

Рассмотрим устройство и принцип действия индукционного однофазного счетчика активной энергии. На рисунке 6 показана упрощенная конструкция такого прибора. Основными элементами являются два магнитопровода со своими обмотками (напряжения и токовой), вращающийся диск и счетный механизм. Как и ваттметр, счетчик содержит обмотки тока и напряжения. Включается счетчик в цепь так же, как и ваттметр.



1 – магнитопровод обмотки напряжения; 2 – обмотка напряжения; 3 – магнитопровод обмотки тока; 4 – обмотка тока; 5 – противополюс; 6 – диск; 7 — ось; 8 – червячная передача; 9 – счетный механизм

Рисунок 6 – Схема поясняющая принцип действия счетчика

Номинальная постоянная счетчика. Число оборотов диска, приходящееся на единицу учитываемой счетчиком энергии, называют передаточным числом счетчика. Например, в паспорте сказано «2000 оборотов соответствуют 1 кВт • ч». Коэффициент, обратный передаточному числу, т.е. энергия, приходящаяся на один оборот диска, называется *номинальной постоянной счетчика* $C_{ном}$. Например:

$$C_{ном} = 3600\frac{1000}{2000} = 1800\frac{Вт \cdot с}{об.}$$

Зная $C_{ном}$ и число оборотов N, можно определить потреблению активную энергию:

$$W = C_{ном}N$$

Классы точности индукционных счетчиков (задаются относительной погрешностью) обычно невысоки: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 4,0.

4.1. Рекомендуемая литература

4.1.1. Основная литература:

1. Гальперин, М.В. Электротехника и электроника: Учебник/Гальперин М. В. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 480 с.
2. Немцов М.В. Электротехника и электроника: учебник для студ. учреждений сред. проф. Образования/М.В. Немцов, М.Л. Немцова 7-е изд. испр. – М.: Издательский центр «Академия»,2014 - 480 с.
3. Синдеев, Ю.Г. Электротехника с основами электроники [Текст] : учеб. пособие для нач. проф. образования / Ю. Г. Синдеев. - 15-е изд., стер. - Ростов н/Д : Феникс, 2013.– 407 с.

4.1.2. Дополнительная литература:

1. Пряшников В.А. «Электротехника в примерах и задачах»(+СД), С-Пб, «Корона»,2013.
2. Гальперин М.Ф. «Электротехника и электроника», М, Форум,2013.
3. Ярочкина Г.В.Электротехника : рабочая тетрадь: учеб. пособие для нач. проф. образования/Г. В. Ярочкина. - 9-е изд., стер.- М.: Издательский центр «Академия»,2013.- 96 с.