

Каспийский институт морского и речного транспорта
филиал Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Волжская государственная академия водного транспорта»
(ФГБОУ ВО «ВГАВТ»)

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. директора по учебной работе

М.В. Карташов

«01 » сентября 2016 г.

Методические указания по выполнению лабораторных работ

по дисциплине «Электроника и электротехника»

для курсантов 2-3 курса

специальности 26.02.06. «Эксплуатация судового электрооборудования
и средств автоматики»

РАССМОТРЕНО

СОСТАВИЛ

на заседании предметно-цикловой комиссии

электромеханических дисциплин

Глебова Т.В.
(подпись)

Глебова Т.В.
(Ф.И.О.)

Протокол № 1

от «29» августа 2016 года

Председатель ПЦК

Лифанов С.А.
(подпись)

Лифанов С.А.
(Ф.И.О.)

ОДОБРЕНО

контрольно-методической службой
Ст. методист О.Н. Вербицкая

Нагаевский
2016 г. Член союза В.А. Обединцев

Состав заданий для лабораторной работы спланирован с расчетом, чтобы за отведенное время они могли быть выполнены качественно большинством курсантов.

Лабораторная работа как вид учебного занятия проводиться в специально оборудованных учебных лабораториях. Продолжительность - не менее двух академических часов. Необходимыми структурными элементами лабораторной работы, помимо самостоятельной деятельности курсантов, являются инструктаж, проводимый преподавателем, а также организация обсуждения итогов выполнения лабораторной работы.

После окончания работы каждый курсант в тетради для лабораторных работ составляет отчет по следующей схеме:

- дата, номер работы и ее наименование;
- цель работы;
- перечень оборудования;
- схема электрической цепи;
- таблица результатов измерений и вычислений;
- расчетные формулы, обработка результатов измерений и определение относительной погрешности.

Количество часов, отводимых на лабораторные работы, фиксируется в тематических планах примерных и рабочих учебных программ.

Содержание

1. Лабораторная работа № 1	
Исследование работы полупроводникового диода	4
2. Лабораторная работа № 2	
Исследование входных и выходных характеристик биполярного Транзистора	12
3. Лабораторная работа № 3	
Исследование неуправляемого выпрямителя	15
4. Лабораторная работа № 4	
Исследование стабилизатора напряжения	23
5. Лабораторная работа № 5	
Исследование операционного усилителя	27
6. Лабораторная работа № 6	
Исследование работы LC-генератора гармонических колебаний	32
7. Лабораторная работа № 7	
Исследование работы мультивибратора	39
8. Лабораторная работа № 8	
Исследование логических элементов	45
9. Лабораторная работа № 9	
Исследование режимов работы трансформатора	51
10. Лабораторная работа № 10	
Исследование работы трехфазного двигателя с короткозамкнутым Ротором	55
11. Лабораторная работа № 11	
Исследование работы машины постоянного тока с параллельным возбуждением	59

Лабораторная работа № 1

Исследование работы полупроводникового диода

Цель: практическое ознакомление с основными свойствами выпрямительных диодов и стабилитронов по вольтамперным характеристикам.

Материальное обеспечение:

Лабораторный стенд

Источник переменного тока 24В – 2

Мультиметр – 2

Осциллограф - 1

Лабораторный блок № 1

Соединительные провода

Вводный контроль:

1. В чем заключается основное свойство выпрямительного диода?
2. По каким параметрам выбираются диоды в схемах?
3. Назовите основные параметры выпрямительного диода.
4. Чем отличаются селеновые и кремниевые выпрямительные диоды?
5. В чем заключается основное свойство стабилитрона?
6. На каком явлении основана работа стабилитрона?
7. Как включается стабилитрон в схемах?
8. Какой основной параметр стабилитрона?

Краткая теория

Полупроводниковый диод содержит один р-п-переход и имеет два вывода от р и п-областей. Наиболее распространены и обширны две группы диодов – выпрямительные и импульсные, называемые в некоторых справочниках универсальными.

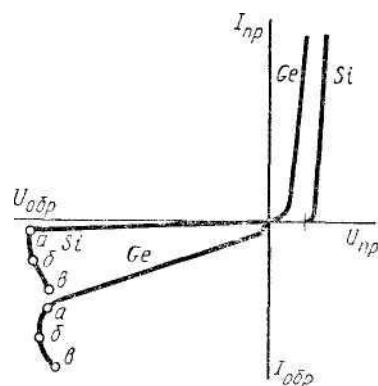
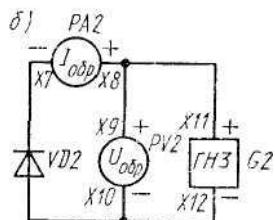
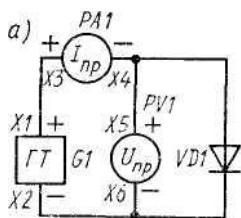
Выпрямительные диоды, в которых используется основное свойство р-п-перехода – его односторонняя проводимость, применяют в основном для выпрямления переменного тока в диапазоне частот от 50Гц до 100Гц.

Импульсные диоды применяют в импульсных режимах работы.

Работа полупроводникового диода в электрической схеме определяется его вольтамперной характеристикой (ВАХ).

Прямую ветвь ВАХ снимают, включив испытуемый диод в схему а).

Прямой ток через диод задается генератором тока ГТ, характерной особенностью которого является слабая зависимость выходного тока от сопротивления нагрузки. Плавно увеличивая от нуля выходной ток генератора ГТ, измеряют прямое напряжение $U_{\text{пр}}$ диода для ряда значений прямого тока $I_{\text{пр}}$.



Обратную ветвь ВАХ снимают, включив испытуемый диод в схему, показанную на рис б). Плавно увеличивая от нуля выходное напряжение ГН3, измеряют обратный ток $I_{обр}$ диода для ряда значений обратного напряжения $U_{обр}$.

Анализ типовых ВАХ германиевого и кремниевого диодов позволяет сделать следующие выводы:

прямое падение напряжения на германиевом диоде почти в два раза меньше, чем на кремниевом, при одинаковых значениях прямого тока.

германиевый диод начинает проводить ток при ничтожно малом прямом напряжении, а кремниевый только при $U_{пр}=0,4 - 0,6$ В.

обратный ток кремниевого диода значительно меньше обратного тока германиевого при одинаковых обратных напряжениях.

Эти выводы позволяют разграничить назначение германиевых и кремниевых диодов. Германиевые диоды применяют для обработки сигналов малой амплитуды(до 0.3 В). Кремниевые диоды при подаче на них сигналов такой амплитуды одинаково плохо проводят ток как в прямом, так и в обратном направлениях. Кремниевые диоды распространены шире, чем германиевые, и применяются в тех случаях, когда обратный ток недопустим. Кроме того, они сохраняют работоспособность до температуры окружающей среды 125 – 150 градусов, тогда как германиевые могут работать только до 70 градусов.

Основными параметрами выпрямительных диодов являются:

постоянное прямое напряжение $U_{пр}$ при определенном для каждого диода постоянном прямом токе или среднее прямое напряжение $U_{пр.ср}$ в схеме однополупериодного выпрямителя при определенном среднем прямом токе $I_{пр.ср}$ и максимально допустимом обратном напряжении;

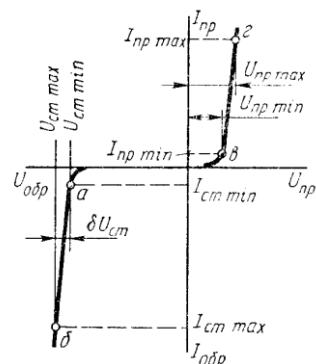
постоянный обратный ток $I_{обр}$ при определенном постоянном обратном напряжении или средний обратный ток $I_{обр.ср}$ в схеме однополупериодного выпрямителя при максимально допустимом обратном напряжении и определенном среднем прямом токе;

максимально допустимое постоянное обратное напряжение $U_{обр. max.}$;

максимально допустимый средний прямой ток обычно определяемый как средний за период прямой ток в схеме однополупериодного выпрямителя.

Превышение $U_{\text{обр. max}}$ переводит диод в режим пробоя.

Стабилитроны и стабисторы – это полупроводниковые диоды, на которых напряжение сохраняется с определенной точностью при изменении протекающего через них тока в заданном диапазоне. Это приборы предназначены для стабилизации напряжения. Участки ВАХ, соответствующие электрическим режимам стабилитронов и стабисторов в режиме стабилизации, называют рабочими. Рабочий участок стабилитрона расположен на обратной ветви ВАХ, т.е. прибор работает в режиме пробоя. Рабочий участок стабистора расположен на прямой ветви ВАХ.



Основными параметрами стабилитронов являются:

номинальное напряжение стабилизации $U_{\text{ст.ном.}}$ – среднее напряжение стабилизации стабилитрона при 298 К и определенном токе стабилизации $I_{\text{ст.}}$;

разброс напряжений стабилизации $\Delta U_{\text{ст.}}$ – интервал напряжений, в пределах которого находится напряжение стабилизации прибора данного типа;

температурный коэффициент напряжения стабилизации показывающий, на сколько процентов изменяется напряжение стабилизации $U_{\text{ст.}}$ при изменении температуры окружающей среды на 1 К;

дифференциальное сопротивление $r_{\text{ст.}}$, определяющее стабилизирующие свойства прибора и показывающее, как напряжение стабилизации зависит от тока;

минимально и максимально допустимые токи стабилизации.

Задание:1

Исследование полупроводникового диода.

- а) Снять прямую ветвь ВАХ диода $I_{\text{пр}} = f(U_{\text{пр}})$.
- б) Снять обратную ветвь ВАХ диода $I_{\text{обр}} = f(U_{\text{обр}})$.

Задание:2

Исследование полупроводникового стабилитрона.

- а) Снять прямую ветвь ВАХ стабилитрона $I_{\text{пр}} = f(U_{\text{пр}})$.
- б) Снять обратную ветвь ВАХ (рабочую) стабилитрона $I_{\text{обр}} = f(U_{\text{обр}})$.

Порядок выполнения работы:

При выполнении лабораторной работы необходимо помнить, что:

1. Подача питания производится только после проверки схемы преподавателем или лаборантом.
2. Запрещается прикасаться голыми руками к неизолированным частям оборудования и включать под напряжение провода, у которых один конец остается свободным.
3. Все пересоединения в схеме производят только в обесточенном состоянии.
4. Запрещается оставлять без надзора установку, находящуюся под напряжением.
5. Запрещается использовать оборудование и приборы с других рабочих мест без разрешения преподавателя или лаборанта.
6. Все соединения должны иметь надежный - контакт.
7. Обо всех неисправностях или повреждениях немедленно докладывать преподавателю или лаборанту.

Снятие прямой ветви ВАХ выпрямительного диода. Схема А1.

Включить стенд в сеть, поставив сетевой тумблер в положение ВКЛ и нажав кнопку СЕТЬ на блоке питания.

На одном из источников питания V1 или V2 с помощью ручек ГРУБО и ПЛАВНО выставить напряжение 5 В, измерив его мультиметром на пределе измерения 20 В.

Выключить сетевой тумблер.

Ручку потенциометра RI повернуть против часовой стрелки до упора.

Подать питание на исследуемую схему : “+”- XI, “-“-X2 .

Подключить измерительные приборы с указанными пределами измерения согласно мнемосхемы ,соблюдая указанную полярность.

После проверки схемы преподавателем включить сетевой тумблер.

Поворачивая ручку потенциометра RI по часовой стрелке ,изменять прямое напряжение диода в пределах ,указанных в таблице 1,фиксируя значения тока через каждые 0,1 В. Результаты измерения занести в таблицу 1.

Выключить сетевой тумблер.

Снятие обратной ветви ВАХ диода. Схема А2.

Таблица 1

$U_{\text{пр}}$, В		0, 1	0, 2	0, 3	0, 4	0, 5
$I_{\text{пр}}$, мА						

На обоих источниках питания V1 и V2 выставить максимальные напряжения 15 В, повернув ручки ГРУБО и ПЛАВНО по часовой стрелке до упора. Соединить источники последовательно, установив таким образом напряжение блока питания 30 В.

Подать напряжение питания на исследуемую схему: "+" источника V2 - на клемму X1, "-" источника V1 – на клемму X2.

Ручку потенциометра R2 повернуть против часовой стрелки до упора.

Подключить измерительные приборы с указанными пределами измерений согласно мнемосхемы, соблюдая указанную полярность. Предварительно к мультиметру, работающему в режиме измерения тока, подключить токовый шунт на указанном пределе измерения тока.

.После проверки схемы преподавателем включить стенд в сеть.

Поворачивая ручку потенциометра R2 по часовой стрелке, изменять обратное напряжение на диоде в пределах, указанных в таблице 2. Значения тока фиксировать через каждые 5 В.

Результаты измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2.

$U_{\text{обр.}}$, В.	0	5	10	15	20	25	30
$I_{\text{обр.}}$, мА							

Выключить сетевой тумблер.

По данным таблиц 1 и 2. построить ВАХ диода.

По ВАХ или таблицам определить сопротивление диода в прямом включении $R_{\text{пр}}$ и в обратном включении $R_{\text{обр.}}$.

Снятие прямой ветви ВАХ стабилитрона. Схема А3.

Включить стенд, поставив сетевой тумблер в положение ВКЛ и нажав кнопку СЕТЬ на блоке питания.

На одном из источников питания с помощью ручек ГРУБО и ПЛАВНО выставить напряжение 5 В, измерив его мультиметром на пределе измерения 20 В.

Выключить сетевой тумблер.

Ручку потенциометра R5 повернуть против часовой стрелки до упора.

Подать питание на исследуемую схему: "+" – X1, "-" – X2.

Подключить измерительные приборы, с указанными пределами измерений согласно мнемосхемы, соблюдая полярность.

После проверки схемы преподавателем сетевой тумблер поставить в положение ВКЛ.

Поворачивая ручку потенциометра R5 по часовой стрелке, изменять прямое напряжение на стабилитроне в пределах, указанных в таблице 3. Значения тока фиксировать через каждые 0,1 В. Результаты измерений занести в таблицу 3.

Таблица 3.

U _{пр.} , В.	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
I _{пр.} , мА								

Выключить сетевой тумблер.

Снятие обратной ветви ВАХ стабилитрона. Схема А4.

Выставить на одном из источников питания напряжение 15 В, повернув ручки ГРУБО и ПЛАВНО по часовой стрелке до упора.

Подать питание на исследуемую схему: "+" – X1, "-" – X2 предварительно повернув ручку потенциометра R7 против часовой стрелки до упора.

Подключить измерительные приборы с указанными пределами измерений согласно мнемосхемы, соблюдая полярность.

После проверки схемы преподавателем включить сетевой тумблер.

Поворачивая ручку потенциометра R7 по часовой стрелке, изменять обратное напряжение на стабилитроне в пределах, указанных с таблице 4. Увеличить число фиксируемых точек характеристики, начиная с 4 В. Для каждого значения напряжения измерить ток. Результаты измерений занести в таблицу 4.

Таблица 4.

U _{обр.} , В.	0	1	2	3	4	4,5	5	5,3	5,6
I _{обр.} , мА.									

После окончания измерений отключить стенд, нажав кнопку СЕТЬ и выключив сетевой тумблер.

По данным таблиц 3. и 4. построить ВАХ стабилитрона.

По ВАХ или таблице определить напряжение стабилизации U_{ст.}.

Содержание отчета.

1. Наименование лабораторной работы.
2. Цель работы.
3. Перечень приборов и оборудования.
4. Задание.
5. Исследуемые схемы (A1, A2, A3, A4).
6. Результаты исследований.
7. Таблицы.
8. Вольтамперные характеристики выпрямительного диода.
9. Расчеты:
 - a) прямое сопротивление диода $R_{пр}=U_{пр}/I_{пр}$ при $U_{пр}=0,4$ В, $U_{пр}=0,1$ В.
 - б) обратное сопротивление диода $R_{обр}=U_{обр}/I_{обр}$ при $U_{обр}=20$ В.
 - в) значение напряжения стабилизации $U_{ст}$ стабилитрона.
10. Выводы по проделанной работе и полученным результатам.
11. Ответы на вопросы заключительного контроля

Заключительный контроль:

1. Объясните выпрямительные свойства диода.
2. Приведите основные параметры выпрямительного диода.
3. Как температура влияет на диод?
4. Чем определяется рабочая область диода?

Рекомендуемая литература:

1. Данилов И.А. Общая электротехника. – М.: ЮРАЙТ, 2010. – 673 с.
2. Бондарь И.М. Электротехника и электроника. 2-е издание – Ростов н/Д: Издательский центр «МарТ»; Феникс, 2010. – 340 с.
3. Гальперин М.В. Электротехника и электроника. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010. – 480 с.
4. Немцов В.М., Светлакова И.И. Электротехника. 4-е издание – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 571 с.
5. Синдеев Ю.Г. Электротехника с основами электроники. Учебное пособие. 12-е издание. – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 407 с.
6. Малыц Э.Л., Мустафаев Ю.Н. Электротехника и электрические машины. – СПб: КОРОНА.Век, 2009. – 304 с.

Интернет-ресурсы

1. <http://sh-fizika.ru/2176-virtualnaya-laboratornaya-rabota.-izuchenie-raboty-transformatora.html> - виртуальная лаборатория.
2. <http://model.exponenta.ru/electro/js/start.html> - интернет коллоквиум.

Лабораторная работа № 2

Исследование работы биполярного транзистора

Цель работы

Ознакомиться с работой, основными характеристиками и применением биполярного транзистора.

Программа работы

Исследовать биполярный транзистор.

Снять статические характеристики.

Сформулировать выводы о свойствах биполярного транзистора.

Приборы и оборудование

В лабораторной работе используются следующие модули:

модуль мультиметров;

модуль функционального генератора;

модуль питания;

модуль измерительный;

модуль миллиамперметров;

модуль транзисторов.

Порядок выполнения работы

Собрать схему для биполярного транзистора (рис. 1).

Между гнездами X2 и X6 включить миллиамперметр на пределе измерения 100 мА и соединить перемычкой гнезда X9 и X11. Между гнездами X1 и X4 включить второй миллиамперметр на пределе измерения 10 мА. Соединить перемычкой гнезда X3 и X7. Между гнездами X2 – X5 и X4 – X16 включить мультиметры в режиме измерения постоянного напряжения. Тумблер SA2 установить в нижнее положение.

Снять статическую характеристику прямой передачи по току $I_K = f(I_B)$ при U_K , равном заданному значению E_K и $R_K = 0$. Для этого дополнительно поставить перемычку между гнездами X1 – X3. Включить модуль питания, включить тумблер «питание» на модуле «Транзисторы». Экспериментальные результаты записать в таблицу 1. При снятии характеристики следить за постоянством напряжения U_K .

$U_K =$

Таблица 1

I_B , мА									
I_K , мА									

Снять характеристику прямой передачи по току при наличии нагрузки R_K . Убрать перемычку между гнездами X1 – X3. С помощью переключателя SA1 установить заданное значение R_2 . С помощью потенциометра RP1 установите ток базы равный 0, а с помощью потенциометра RP2 установите заданное значение E_K . В дальнейшем ручку регулировки RP2 не трогать. В области вблизи насыщения точки снимать чаще. Экспериментальные результаты записать в таблицу 2. Включить тумблер «Питание». Построить экспериментальные характеристики.

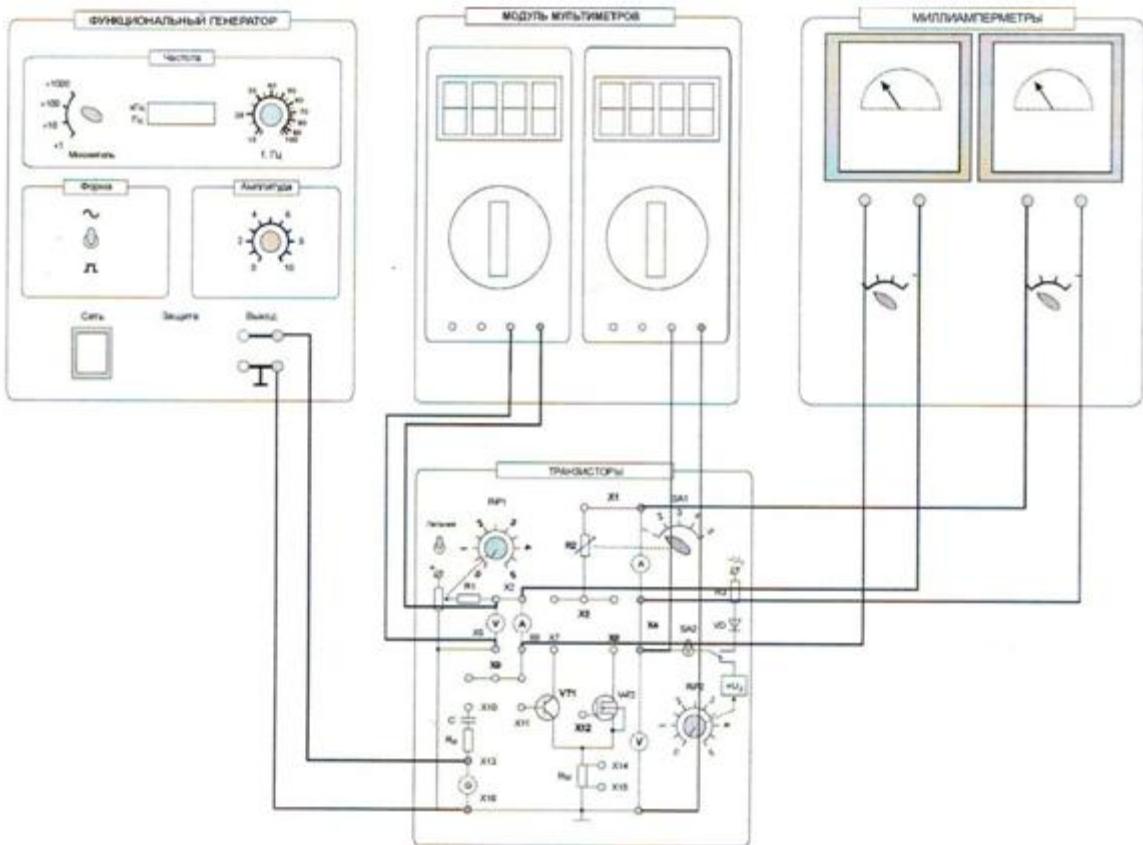


Рисунок 1

$U_{k\text{e}} =$

Таблица 2

I_{b} , мА								
I_{k} , мА								

По построенной характеристике определить области активного усиления, отсечки и насыщения. Определить максимальный ток $I_{b \text{ max}}$, при котором еще обеспечивается линейное усиление. Отразите все это в выводе данной работы.

Снять выходные статические характеристики транзистора $I_k = f(U_{k\text{e}})$ при $I_b = \text{const}$. Для этого дополнительно поставить перемычку между гнездами X1 – X3.

Включить питание модуля. Изменяя ток базы от 0 снять семейство выходных характеристик и зарисовать на одном рисунке характеристики для трех значений тока базы $I_{b1} = 0$; $I_{b2} = 0,5 I_{b \text{ max}}$; $I_{b3} = I_{b \text{ max}}$. Для этого потенциометром RP1 устанавливать ток базы $I_{b1} = 0$; $I_{b2} = 0,5 I_{b \text{ max}}$; $I_{b3} = I_{b \text{ max}}$. Изменяя напряжение $U_{k\text{e}}$ потенциометром RP2 в цепи коллектора напряжение от нулевого значения измерять ток коллектора I_k транзистора. Произвести измерения тока коллектора при нескольких значениях напряжения $U_{k\text{e}}$. Результаты записать в таблицу 3.

I61 =

Таблица 3

Iк, мА									
Uк, В									

I62 =

Iк, мА									
Uк, В									

I63 =

Iк, мА									
Uк, В									

Перед каждым измерением необходимо подрегулировать ток базы транзистора.

После проведения опыта разобрать схему.

Ответить на контрольные вопросы

Контрольные вопросы

1. Каков принцип действия транзистора?
2. Какие существуют схемы включения транзисторов?
3. Как выглядят выходные и входные статические характеристики в схеме с ОЭ?
4. Что такое статическая характеристика прямой передачи по току? Как ее построить? Как она видоизменяется при наличии нагрузки? Как ее снять?
5. Как снять статические выходные характеристики?
6. Как построить линию нагрузки?
7. Нарисуйте схему усилительного каскада с ОЭ
8. Какого назначение элементов усилителя?
9. Как определить коэффициент усиления каскада по току и напряжению (графически и экспериментально)?
10. Что такое область активного усиления, насыщения, отсечки?
11. Что такое ключевой режим, каковы преимущества ключевого режима.

Рекомендуемая литература:

1. Данилов И.А. Общая электротехника. – М.: ЮРАЙТ, 2010. – 673 с.
2. Бондарь И.М. Электротехника и электроника. 2-е издание – Ростов н/Д: Издательский центр МарТ»; Феникс, 2010. – 340 с.
3. Гальперин М.В. Электротехника и электроника. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010. – 480 с.
4. Немцов В.М., Светлакова И.И. Электротехника. 4-е издание – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 571 с.
5. Синдеев Ю.Г. Электротехника с основами электроники. Учебное пособие. 12-е издание. – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 407 с.
6. Мальц Э.Л., Мустафаев Ю.Н. Электротехника и электрические машины. – СПб: КОРОНА.Век, 2009. – 304 с.

Интернет-ресурсы

1. <http://sh-fizika.ru/2176-virtualnaya-laboratornaya-rabota.-izuchenie-raboty-transformatora.html> - виртуальная лаборатория.
2. <http://model.exponenta.ru/electro/js/start.html> - интернет коллоквиум.

Лабораторная работа № 3

Исследование неуправляемого выпрямителя

Цель: практическое ознакомление со схемами выпрямителей и фильтров, сравнительная оценка исследуемых схем.

Материальное обеспечение:

Лабораторный стенд

Источник переменного тока 24В – 1

Мультиметр – 2

Осциллограф - 1

Лабораторный блок

Соединительные провода

Вводный контроль:

1. Указать назначение выпрямителей.
2. Указать назначение сглаживающих фильтров.
3. Дать определение коэффициентов пульсации и сглаживания.
4. Как включаются емкостной и индуктивный фильтры относительно нагрузки и почему?

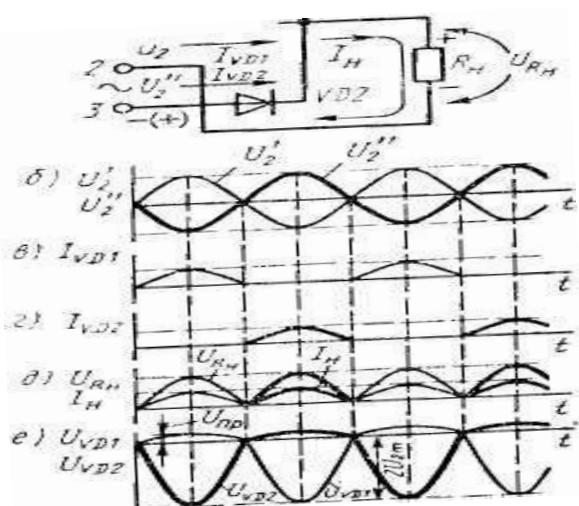
Краткая теория

Выпрямителями называют устройства, служащие для преобразования переменных напряжений и токов в постоянные, используемые для питания радиоэлектронной аппаратуры. Переменное напряжение U_1 сети поступает на первичную обмотку трансформатора Т, со вторичной обмотки которого напряжение U_2 подается на выпрямитель В. Выпрямленное пульсирующее напряжение сглаживается фильтром Ф, превращаясь в постоянное напряжение U_{RH} .

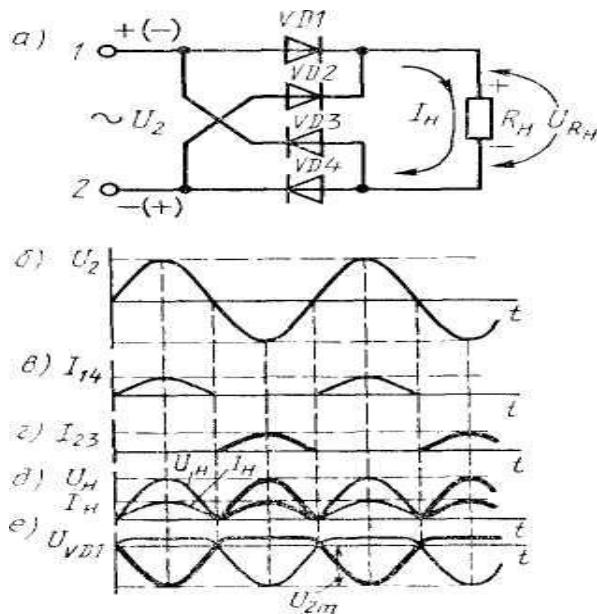
Вторичная обмотка трансформатора выполнена так, чтобы в точках 1 и 3 были одинаковые, но противофазные относительно точки 2 напряжения.

Таким образом, диоды поочередно каждый в течение своего полупериода

проводят ток в общую нагрузку. Частота пульсаций выходного напряжения двухполупериодной схемы равна удвоенной частоте сети, так как за период напряжения сети ток в нагрузке и напряжение на ней дважды достигают максимума. Двухполупериодную схему применяют в сильноточных низковольтных выпрямителях. Это объясняется тем, что в цепи тока нагрузки в любой момент выпрямительного процесса находится только один диод.



Мостовая схема выпрямления дает точно такой же результат, как двухполупериодная, но имеет более простой трансформатор с одной вторичной обмоткой, рассчитанной на напряжение U_2 .



Пульсации выпрямленного напряжения оценивают коэффициентом пульсаций, являющимся отношением амплитуды первой гармоники U_1 к среднему значению напряжения на нагрузке. Коэффициент пульсаций двухполупериодной схемы выпрямления без сглаживающего фильтра составляет 0,67. Сглаживающий фильтр уменьшает пульсации. Это его свойство оценивается коэффициентом сглаживания, который является отношением коэффициентов пульсаций на входе и выходе сглаживающего фильтра:

Простейшим сглаживающим фильтром является емкостный, состоящий из конденсатора, подключенного параллельно нагрузке R_H . Заряжаясь во время, когда напряжение на входе фильтра близко к максимальному, конденсатор отдает запасенную энергию в нагрузку при уменьшении входного напряжения.

Коэффициент сглаживания емкостного фильтра тем выше, чем больше емкость конденсатора. Правда, при этом укорачиваются импульсы тока подзарядки конденсатора, а следовательно, растет и амплитуда, что усложняет работу выпрямительных диодов

Намного эффективнее сглаживающий фильтр, состоящий из двух звеньев.

Внешняя, или нагрузочная, характеристика источника питания выражает зависимость выходного напряжения от тока нагрузки и показывает, в какой степени уменьшается выходное напряжение источника при увеличении нагрузки

Задание:

1. Исследование схем выпрямителей.
- 1.1. Снять и построить внешнюю характеристику $U_o = f(I_o)$ однополупериодного выпрямителя; рассчитать коэффициенты пульсаций q при разных значениях нагрузки; зарисовать осциллограммы напряжений на вторичной

обмотке трансформатора и на выходе выпрямителя для одного из значений нагрузки; проследить а влиянием величины нагрузки на пульсации выпрямленного напряжения.

1.2. Произвести аналогичные вышеуказанным построения, расчеты, наблюдения, снять осциллограмму выпрямленного напряжения двухполупериодного выпрямителя, собранного по схеме с выводом средней точки.

1.3. Произвести перечисленные в п.п. 1.1. построения, расчеты, наблюдения, снять осциллограмму выпрямленного напряжения двухполупериодного выпрямителя, собранного по мостовой схеме.

2. Исследование различных схем сглаживающих фильтров на примере одного из выпрямителей.

Снять и построить внешние характеристики $U_0 = f(I_0)$ собранного по заданной схеме выпрямителя при подключении к его нагрузке всех типов сглаживающих фильтров: L-фильтр, С-фильтр, Г-образный и П-образный LC-фильтры, Г-образный RC фильтры; рассчитать коэффициенты пульсаций q и сглаживания S для всех типов фильтров при разных нагрузках; зарисовать осциллограммы выпрямленных напряжений для одного из значений нагрузки.

Порядок выполнения работы:

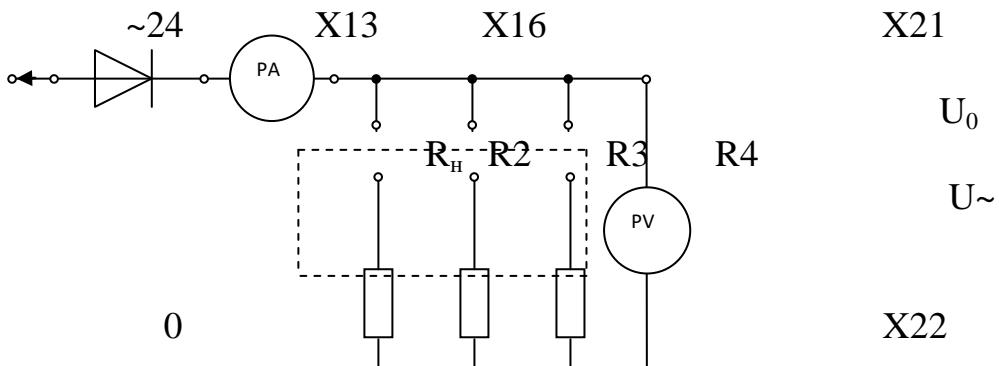
При выполнении лабораторной работы необходимо помнить, что:

1. Подача питания производится только после проверки схемы преподавателем или лаборантом.
2. Запрещается прикасаться голыми руками к неизолированным частям оборудования и включать под напряжение провода, у которых один конец остается свободным.
3. Все пересоединения в схеме производят только в обесточенном состоянии.
4. Запрещается оставлять без надзора установку, находящуюся под напряжением.
5. Запрещается использовать оборудование и приборы с других рабочих мест без разрешения преподавателя или лаборанта.
6. Все соединения должны иметь надежный - контакт.
7. Обо всех неисправностях или повреждениях немедленно докладывать преподавателю или лаборанту.

Порядок выполнения задания №1.

Исследование однополупериодного выпрямителя.

Собрать схему однополупериодного выпрямителя с нагрузкой Р2 (без подсоединения к клеммам вторичной обмотки трансформатора) и измерительными приборами согласно



После проверки схемы преподавателем соединить ее с клеммами вторичной обмотки трансформатора. Сетевой тумблер поставить в положение ВКЛ, подав на схему переменное напряжение 24В. Нажать кнопки СЕТЬ, ОСЦИЛЛОГРАФ.

Измерить постоянную составляющую выпрямленного тока с помощью мультиметра, выставленного на измерение постоянного тока.

Измерить сначала постоянную составляющую выпрямленного напряжения U_0 , а затем – действующее значение переменной составляющей с помощью второго мультиметра, выставленного на измерение, соответственно, сначала – постоянного, затем – переменного напряжений и подключенного к клеммам X21 и X22.

Аналогичные измерения провести при подсоединении нагрузочных сопротивлений R_3 и R_4 . При этом сначала поставить перемычку для подсоединения последующего сопротивления, а затем убрать перемычку для подсоединения предыдущего сопротивления нагрузки. Результаты измерений занести в таблицу.

Таблица

R_h	I_o , мА	U_0 , В	U_\sim , В	q
R_2				
R_3				
R_4				

По результатам измерений построить нагрузочную характеристику $U_0 = f(I_0)$ и рассчитать коэффициент пульсаций q однополупериодного выпрямителя при разных значениях нагрузки. Сделать вывод о влиянии нагрузки на величину пульсаций. Оставить перемычку на нагрузочном сопротивлении R_3 .

Примечание: нагрузочные характеристики всех схем выпрямителей строить в одних координатах.

Подключить осциллограф к выходу выпрямителя: «У» – X21, «└» – X22. Кнопку осциллографа « \sim - \sim » не нажимать, оставив ее в положении « \sim » (при нажатии кнопки изображение на экране сместится вверх на величину постоянной составляющей выпрямленного напряжения). Зарисовать осциллограмму выпрямленного напряжения, добившись с помощью ручек РАЗВЕРТКА, СТАБ, ВОЛЬТ/ДЕЛ, ВРЕМЯ/ДЕЛ устойчивого и удобного для наблюдения изображения на экране осциллографа.

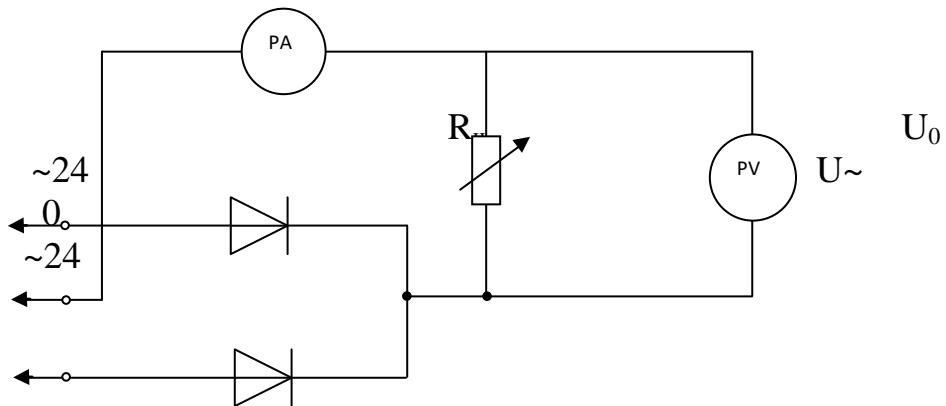
Подключая нагрузочные сопротивления R_2 и R_4 , наблюдать по осциллографу влияние нагрузки на величину пульсаций. Сделать вывод о соотношении нагрузочных сопротивлений.

Подключить осциллограф к клеммам вторичной обмотки трансформатора и зарисовать осцилограмму выпрямляемого напряжения при том же уровне усиления осциллографа и при нагрузочном сопротивлении R_3 .

Примечание: все последующие осцилограммы в работе снимать при неизменном уровне усиления осциллографа.

Исследование двухполупериодного выпрямителя с выводом средней точки.

Собрать схему двухполупериодного выпрямителя с выводом средней точки с нагрузкой R_2 (без подсоединения к клеммам вторичной обмотки трансформатора) и измерительными приборами согласно



После проверки схемы преподавателем соединить ее с клеммами вторичной обмотки трансформатора. Сетевой тумблер поставить в положение ВКЛ, подав на схему переменное напряжение 48 В с выводом средней точки. Нажать кнопки СЕТЬ, ОСЦИЛЛОГРАФ.

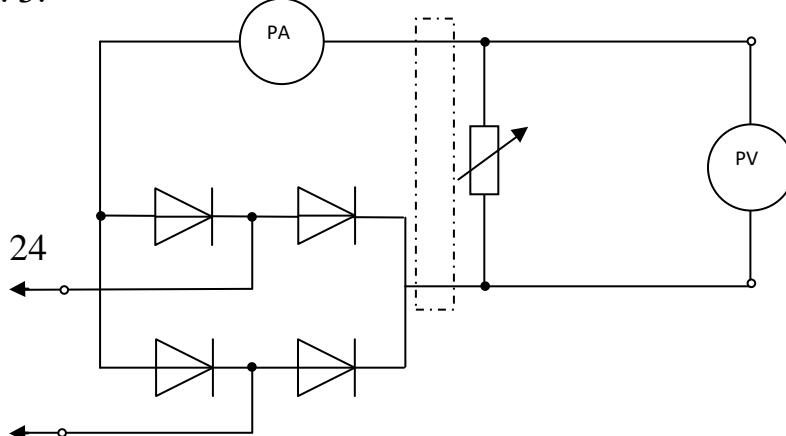
Произвести измерения, расчеты, сделать выводы и зарисовать осцилограмму выпрямленного напряжения. Результаты измерений занести в таблицу

Таблица.

R_h	$I_0, \text{ мА.}$	$U_0, \text{ В.}$	$U_\sim, \text{ В.}$	q
R_2				
R_3				
R_4				

Исследование двухполупериодного выпрямителя, собранного по мостовой схеме.

Собрать схему мостового выпрямителя с нагрузкой R_2 (без подсоединения к клеммам вторичной обмотки трансформатора) и измерительными приборами согласно рис. 3.



После проверки схемы преподавателем соединить ее с клеммами вторичной обмотки трансформатора. Сетевой тумблер поставить в положение ВКЛ, подав на схему переменное напряжение 24 В. Нажать кнопки СЕТЬ и ОСЦИЛЛОГРАФ.

Произвести измерения, расчеты, сделать выводы и зарисовать осциллограмму выпрямленного напряжения аналогично. Результаты измерений занести в таблицу.

Таблица.

R_h	I_0 , мА.	U_0 , В.	U_{\sim} , В.	q
R2				
R3				
R4				

Отключить стенд, нажав кнопки ОСЦИЛЛОГРАФ, СЕТЬ и выключив сетевой тумблер.

Порядок выполнения задания № 2.

Исследование различных схем слаживающих фильтров.

Собрать схему указанного преподавателем выпрямителя (рис. 8.1., 8.2., 8.3.) с нагрузкой R2, дополнительно подсоединив к нагрузке один из возможных типов фильтров, изображенных на рис. 8.4. – 8.9.

После проверки схемы преподавателем соединить ее с клеммами вторичной обмотки трансформатора. Сетевой тумблер поставить в положение ВКЛ, подав на схему переменное питание. Нажать кнопки СЕТЬ и ОСЦИЛЛОГРАФ.

Измерить постоянную составляющую выпрямленного тока с помощью мультиметра, выставленного на измерение постоянного тока (подключить к нему шунт с пределом измерения тока, указанным на фальшпанели).

Измерить сначала постоянную составляющую выпрямленного напряжения U_o , а затем – действующее значение переменной составляющей с помощью второго мультиметра, выставленного на измерение, соответственно, сначала – постоянного, затем – переменного напряжений и подключенного к клеммам X21 и X22.

Аналогичные измерения провести при подсоединении фильтра к нагрузочным сопротивлениям R3 и R4. При этом сначала поставить перемычку для подсоединения последующего сопротивления, а затем убрать перемычку для подсоединения предыдущего сопротивления нагрузки. Результаты измерений занести в таблицу.

Таблица.

R_h	I_o , мА	U_o , В	U_{\sim} , В	q_1	S
R2					
R3					
R4					

По результатам измерений построить нагрузочную характеристику $U_o = f(I_o)$ и рассчитать коэффициенты пульсаций q_1 и слаживания S при разных нагрузках

.Сделать вывод о влиянии нагрузки на работу фильтра. Оставить перемычку на нагрузочном сопротивлении R3.

Примечание: нагрузочные характеристики выпрямителя со всеми типами фильтров строить в одних координатах.

Вместо мультиметра к выходу выпрямителя подключить осциллограф: «У»-Х21, « \perp » - Х22. Кнопка осциллографа « $\sim - \sim$ »- в положении « \sim » (при нажатии кнопки изображение на экране сместится вверх на величину постоянной составляющей выпрямленного напряжения). Зарисовать осцилограмму выпрямленного напряжения, добившись с помощью ручек РАЗВЕРТКА, СТАБ, ВОЛЬТ/ДЕЛ, ВРЕМЯ/ДЕЛ устойчивого и удобного для наблюдения изображения на экране осциллографа (можно оставить усиление осциллографа, установленное ранее при исследовании выпрямителей).

Подключая нагрузочные сопротивления R2 и R4, наблюдать по осциллографу влияние нагрузки на работу фильтра.

Выключить сетевой тумблер.

Произвести измерения, расчеты, сделать выводы и зарисовать осцилограммы выпрямленного напряжения при подключении остальных типов фильтров к нагрузке собранного выпрямителя. Результаты измерений для каждого типа фильтра занести, соответственно, в таблицы.

Выключить стенд, нажав кнопки ОСЦИЛЛОГРАФ, СЕТЬ и выключив сетевой тумблер.

Содержание отчета.

1. Наименование лабораторной работы.
2. Цель работы.
3. Перечень приборов и оборудования.
4. Задание.
5. Схемы исследуемых выпрямителей и фильтров.
6. Результаты исследований.
7. Таблица.
8. Осцилограмма напряжения вторичной обмотки трансформатора и осцилограммы выпрямленных напряжений исследуемых выпрямителей без фильтров и с применением заданных типов фильтров.
9. Нагрузочные характеристики $U_0 = f(I_0)$ выпрямителей и фильтров на основе заданного выпрямителя.
10. Расчеты:
 - a. коэффициент пульсаций выпрямителей q и фильтров q_1 : $q(q_1) = \sqrt{2} * U_{\sim} / U_0$
 - b. коэффициент сглаживания фильтров $S = q/q_1$, где q – коэффициент пульсаций на входе фильтра, т.е. того выпрямителя, на основе которого исследуется фильтр; q_1 – коэффициент пульсаций фильтра.
11. Выводы по проделанной работе и полученным результатам.
12. Ответы на вопросы заключительного контроля.

Заключительный контроль:

1. Объясните вид осцилограммы выпрямленного напряжения однополупериодного выпрямителя.
2. Проведите сравнительную оценку схем двухполупериодных выпрямителей (с выводом средней точки и мостовой).
3. Как изменяется коэффициент сглаживания при увеличении числа звеньев фильтра?
4. Сделать вывод о влиянии нагрузки на величину пульсаций и сглаживающие свойства фильтров.

Рекомендуемая литература:

1. Данилов И.А. Общая электротехника. – М.: ЮРАЙТ, 2010. – 673 с.
2. Бондарь И.М. Электротехника и электроника. 2-е издание – Ростов н/Д: Издательский центр МарТ»; Феникс, 2010. – 340 с.
3. Гальперин М.В. Электротехника и электроника. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010. – 480 с.
4. Немцов В.М., Светлакова И.И. Электротехника. 4-е издание – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 571 с.
5. Синдеев Ю.Г. Электротехника с основами электроники. Учебное пособие. 12-е издание. – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 407 с.
6. Мальц Э.Л., Мустафаев Ю.Н. Электротехника и электрические машины. – СПб: КОРОНА.Век, 2009. – 304 с.

Интернет-ресурсы

1. <http://sh-fizika.ru/2176-virtualnaya-laboratornaya-rabota.-izuchenie-raboty-transformatora.html> - виртуальная лаборатория.
2. <http://model.exponenta.ru/electro/js/start.html> - интернет коллоквиум.

Лабораторная работа № 4

Исследование стабилизатора напряжения

Цель работы: изучение схем полупроводниковых стабилизаторов и исследование их характеристик.

1 Описание лабораторной установки

Лабораторная установка выполнена в виде стенда ЭС 1А/2. На лицевой панели стенда расположены:

- 1) гнезда 1-26 для измерения напряжений и просмотра осцилограмм в характерных точках исследуемых схем;
- 2) вольтметр для измерения входного напряжения;
- 3) миллиамперметр для измерения входного тока;
- 4) миллиамперметр I_{cm} для измерения тока стабилизации в параметрических стабилизаторах;
- 5) миллиамперметр I_h для измерения тока нагрузки;
- 6) вольтметр для измерения напряжения нагрузки.

Электрическая схема содержит однокаскадный параметрический стабилизатор, мостовой параметрический стабилизатор, стабилизатор с последовательным регулирующим элементом, компенсационный стабилизатор с параллельным регулирующим элементом.

2 Краткие теоретические положения

Стабилизатором напряжения называется устройство, автоматически поддерживающее напряжение с необходимой точностью в заданном диапазоне изменения дестабилизирующего фактора. Дестабилизирующими факторами могут быть изменение напряжения сети, сопротивления потребителя, окружающей температуры. Стабилизация может осуществляться двумя методами: параметрическим и компенсационным. Параметрический метод стабилизации основан на изменении параметров нелинейных элементов под действием дестабилизирующего фактора. В качестве нелинейных элементов применяют стабилитроны, термисторы, дроссели. При компенсационном методе стабилизации в измерительном элементе происходит сравнение стабилизируемой величины с эталонной и вырабатывается сигнал рассогласования, который управляет регулирующим элементом. Компенсационный метод обеспечивает стабилизацию при суммарном воздействии дестабилизирующих факторов.

Основной параметр стабилизатора коэффициент стабилизации равен отношению относительного изменения дестабилизирующего фактора к относительному изменению стабилизируемой величины.

$$K_u = \frac{\Delta U_{bx}}{U_{bx}} \div \frac{\Delta U_{vых}}{U_{вых}}, \quad (1)$$

где $U_{вх}, U_{вых}$ – дестабилизирующий фактор и его изменение.

В параметрических стабилизаторах используют кремниевые стабилитроны (рисунок 1, а). Коэффициент стабилизации параметрического стабилизатора

$$K_U = \left(\frac{R_B}{r_{дин}} \right) \cdot \lambda, \quad (2)$$

где $\lambda = U_{вых}/U_{вх}$ – коэффициент передачи,

$r_{дин}$ - динамическое сопротивление стабилитрона.

Для улучшения стабилизации следует увеличивать балластное сопротивление. Однако балластное сопротивление влияет на КПД стабилизатора и коэффициент передачи λ . Коэффициент стабилизации параметрических стабилизаторов колеблется в пределах 20... 30. Стабилизатор напряжения на кремниевом стабилитроне обладает фильтрующими свойствами. Он эквивалентен RC – фильтру с коэффициентом сглаживания S

$$S = \frac{q_{вх}}{q_{вых}}, \quad (3)$$

где q – коэффициент пульсаций, равен

$$q = \frac{U_{mi}}{U_0}, \quad (4)$$

где U_{mi} – амплитуда первой гармоники напряжения,

U_0 – среднее значение напряжения.

Простейший транзисторный компенсационный стабилизатор напряжения без усилителя ОС изображен на рисунке 1,б. Стабилизатор содержит источник эталонного напряжения на стабилитроне VD и резисторе KB . Регулирующий транзистор VT выполняет функцию усилительного элемента. Измерительным элементом являются переход эмиттер-база, r_h и VD . Разность между напряжением $U_{вых}$ и эталонным напряжением $U_{0п}$ прикладывается к переходу эмиттер-база и изменяет сопротивление транзистора. В нормальном режиме работы стабилитрона при неизменном входном напряжении и меняющемся токе нагрузки эта сумма $I_B + I_{CT}$ остается примерно постоянной. При увеличении тока нагрузки увеличивается ток базы, а ток стабилитрона уменьшается. Если ток стабилитрона становится меньше минимального, то стабилизация нарушается. Коэффициент стабилизации простейшего стабилизатора не превышает 20...40. Для увеличения коэффициента стабилизации в цепи ОС применяют усилитель (рисунок 1,в) – напряжение на резисторе $R2$ сравнивается с эталонным на диоде VD . Сигнал рассогласования усиливается каскадом на транзисторе $VT2$ и поступает для управления

регулирующим транзистором VT1. В таком стабилизаторе можно регулировать выходное напряжение делителем R1, R2.

В зависимости от способа включения регулирующего элемента относительно сопротивления нагрузки стабилизаторы напряжения подразделяются на стабилизаторы с последовательным и параллельным регулирующим элементом. По режиму работы регулирующего элемента бывают стабилизаторы с непрерывным регулированием и импульсные. В импульсных стабилизаторах регулирующий транзистор работает в ключевом режиме, обеспечивая регулирование выходного напряжения по ШИМ. Импульсные стабилизаторы имеют высокий КПД и повышенные пульсации на выходе.

Основными параметрами стабилизаторов являются коэффициент стабилизации, коэффициент сглаживания пульсаций, внутреннее сопротивление стабилизатора.

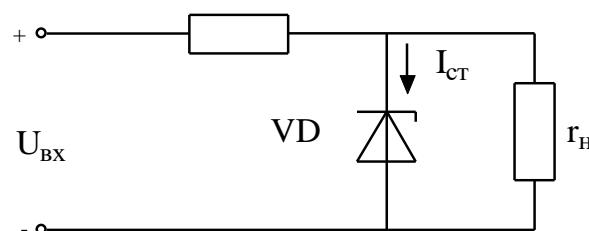


Рисунок 1 – Схема параметрического стабилизатора

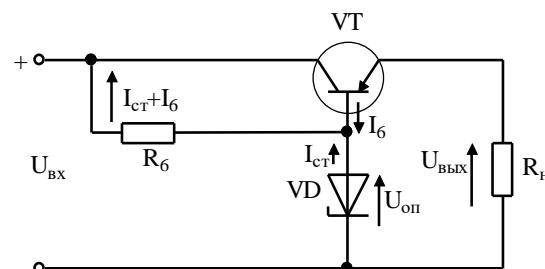


Рисунок 2 – Схема стабилизатора без усилителя ОС

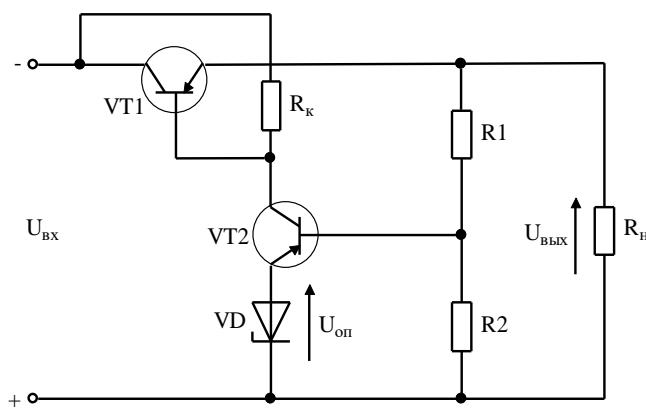


Рисунок 3 – Схема стабилизатора с усилителем ОС

3 Порядок выполнения работы

3.1 Исследование параметрических стабилизаторов;

3.1.1 Снять внешнюю характеристику параметрического и мостового стабилизаторов (внешняя характеристика $U_H = f(I_H)$).

3.1.2 Определить степень влияния изменения входного напряжения на величину выходного напряжения.

3.1.3 Определить степень влияния изменения гасящего сопротивления R_g на величину выходного напряжения.

3.1.4 Определить степень влияния изменения сопротивления делителя R_d на величину выходного напряжения.

Для определения степени влияния той или иной величины на величину выходного напряжения необходимо занести в таблицу значения выходного напряжения при трех значениях влияющей величины: минимальном, среднем и максимальном.

3.1.5 Определить коэффициент стабилизации стабилизаторов.

3.2 Исследование компенсационных стабилизаторов:

3.2.1 Снять внешнюю характеристику.

3.2.2 Определить степень влияния входного напряжения на выходное напряжение.

3.2.3 Определить степень влияния сопротивлений сравнивающего делителя U_{ct1} и U_{ct2} на величину выходного напряжения.

3.2.4 Определить степень влияния балластного сопротивления R_b на величину выходного напряжения в схеме с параллельным регулирующим элементом.

3.2.5 Определить коэффициент стабилизации стабилизаторов.

4 Контрольные вопросы

1. Порядок выполнения работы.

2. Коэффициент стабилизации, коэффициент сглаживания.

3. Принцип действия компенсационных стабилизаторов.

4. Зарисовать схемы стабилизаторов.

Рекомендуемая литература:

1. Данилов И.А. Общая электротехника. – М.: ЮРАЙТ, 2010. – 673 с.

2. Бондарь И.М. Электротехника и электроника. 2-е издание – Ростов н/Д: Издательский центр МарТ»; Феникс, 2010. – 340 с.

3. Гальперин М.В. Электротехника и электроника. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010. – 480 с.

4. Немцов В.М., Светлакова И.И. Электротехника. 4-е издание – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 571 с.

5. Синдеев Ю.Г. Электротехника с основами электроники. Учебное пособие. 12-е издание. – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 407 с.

6. Мальц Э.Л., Мустафаев Ю.Н. Электротехника и электрические машины. – СПб: КОРОНА.Век, 2009. – 304 с.

Интернет-ресурсы

1. <http://sh-fizika.ru/2176-virtualnaya-laboratornaya-rabota.-izuchenie-raboty-transformatora.html> - виртуальная лаборатория.

2. <http://model.exponenta.ru/electro/js/start.html> - интернет коллоквиум.

Лабораторная работа № 5

Исследование операционного усилителя

Цель работы: изучение операционных усилителей (ОУ) исследование схем с ОУ.

1 Описание лабораторной установки

Лабораторная установка выполнена в виде стенда ЭС - 23, который содержит каркас с прикрепленной передней панелью. Передняя панель содержит измерительные приборы, органы управления, контрольные гнезда и фальшпанель с нанесенным на ней изображением части исследуемой схемы. На фальшпанели устанавливаются сменные панели изображением схем исследуемых устройств. В состав стендада входят источники регулируемого и нерегулируемого напряжения, устройства коммутации индикации.

2 Краткие теоретические сведения

Наиболее распространенной интегральной микросхемой является операционный усилитель, в котором сосредоточены основные достоинства усилительных схем. ОУ имеет большой коэффициент усиления по напряжению, большое входное сопротивление, малое выходное сопротивление. ОУ является усилителем постоянного тока, т.е. усиливает широкий спектр частот вплоть до постоянной составляющей. При этом дрейф нуля очень мал. ОУ имеет дифференциальный вход

$$U_{\text{вых}} = K_U(U_{\text{ВХ2}} - U_{\text{ВХ1}}).$$

Условное обозначение ОУ приведено на рисунке 1. Из всех интегральных усилителей ОУ обладают наибольшей универсальностью и наибольшими функциональными возможностями.

Структурно ОУ состоит из трех каскадов. Первый каскад ОУ выполняется по схеме симметричного дифференциального каскада, в которой максимально компенсируется дрейф нуля. В качестве второго каскада используется дифференциальный каскад с несимметричным выходом. Третий каскад выполняется по схеме эмиттерного повторителя, что обеспечивает малое выходное сопротивление. На рисунке 2 приведена передаточная характеристика ОУ.

При отсутствии входных сигналов напряжение на выходе ОУ равно нулю.

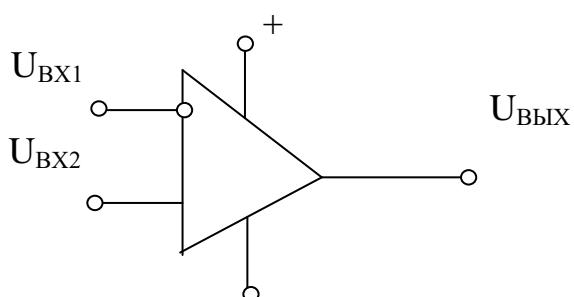


Рисунок 1 – Условное обозначение операционного усилителя

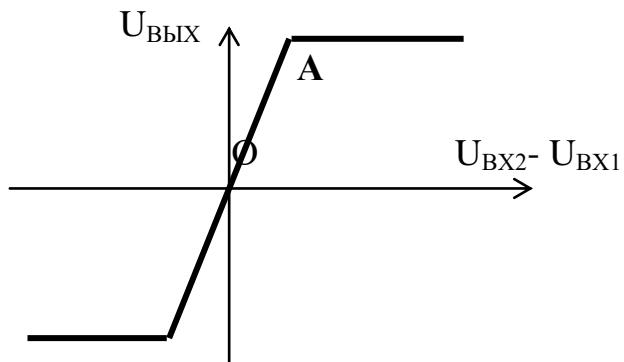


Рисунок 2 – Передаточная характеристика операционного усилителя

Несмотря на лучшие усиительные свойства, ОУ непосредственно в качестве усилителя не применяется. Это связано с двумя причинами:

- линейный участок ОА ограничен весьма малыми напряжениями по входу. При увеличении входного напряжения за эти границы выходное напряжение не изменяется;
- коэффициент усиления ОУ сильно изменяется от экземпляра к экземпляру и сильно зависит от режима работы(температуры). Для улучшения параметров усилительных устройств применяют ОУ с ОС.

На рисунке 3 приведена схема неинвертирующего усилителя на базе ОУ.

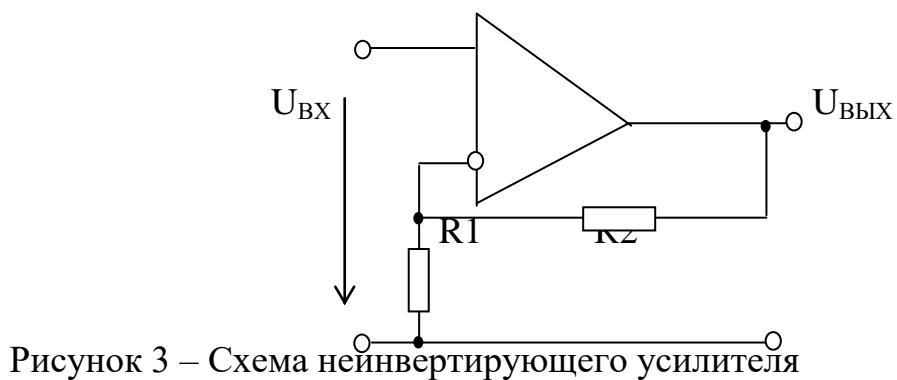


Рисунок 3 – Схема неинвертирующего усилителя

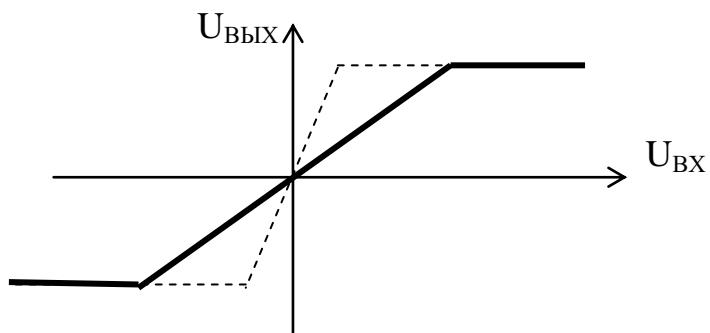


Рисунок 4 – Передаточная характеристика неинвертирующего усилителя

Коэффициент усиления неинвертирующего усилителя:

$$K_U = (R_1 + R_2) / R_1$$

Сопротивления R_1 и R_2 не могут быть выбраны произвольно. Минимальное сопротивление резисторов ограничено нагрузочной способностью микросхемы. На практике сопротивления находятся в пределах $10^3 - 10^6$ Ом.

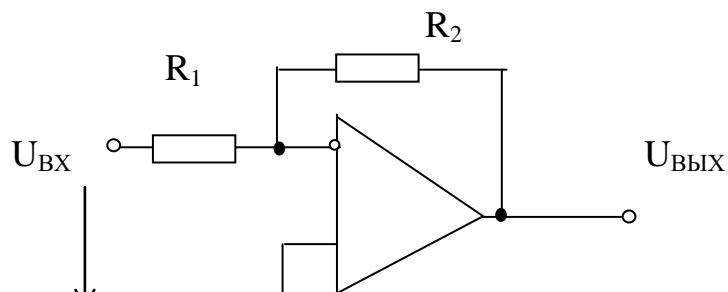


Рисунок 5 – Схема инвертирующего усилителя

Операционный усилитель при подаче сигнала на инвертирующий вход изменяет полярность сигнала на противоположную. При передаче синусоидального сигнала осуществляется сдвиг фазы усиливаемого сигнала на 180° .

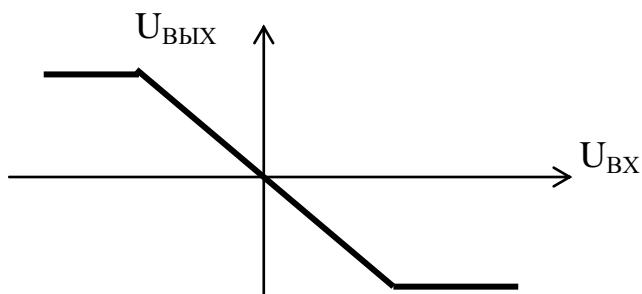


Рисунок 6 – Передаточная характеристика инвертирующего усилителя

Коэффициент усиления инвертирующего усилителя:

$$K_U = -R_2 / R_1.$$

Знак минус указывает, что полярности входного и выходного напряжений противоположны.

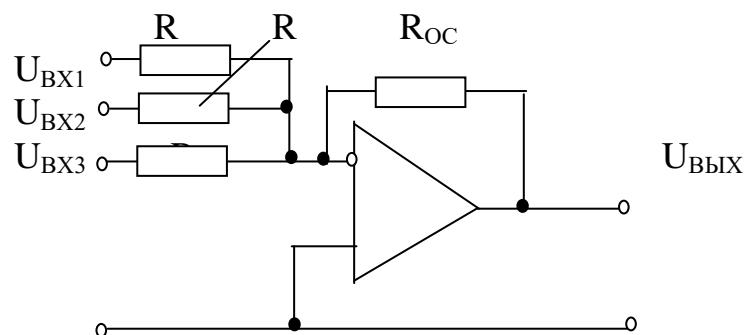


Рисунок 7 – Сумматор на операционном усилителе

Выходное напряжение суммирующего усилителя:

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} * \frac{U_{\text{BX1}} + U_{\text{BX2}} + U_{\text{BX3}}}{n},$$

где n – число входов сумматора.

3 Рабочее задание

3.1 Исследовать компаратор. Выставить $U_1 = U_2$ для постоянных входных напряжений. При неизменном U_1 изменять U_2 в сторону уменьшения и увеличения, наблюдать и записать изменения $U_{\text{вых}}$.

3.2 Для неинвертирующего усилителя снять передаточную характеристику $U_{\text{вых}} = f(U_2)$ при различных коэффициентах усиления.

3.3 Для инвертирующего усилителя снять передаточную характеристику $U_{\text{вых}} = f(U_1)$.

3.4 Для суммирующего усилителя измерить $U_{\text{вых}}$ при $U_1 = +2,3$ В и $U_2 = 0$; $+2,3$; $2,5$ В при включенном R_3 , а затем при включенном R_4 .

3.5 Для мультивибратора в соответствии с вариантами (по указанию преподавателя) определить период T и частоту f выходного напряжения при $C = 0,25$ мкФ, $R_1 = 47$ кОм, $R_3 = 3$ кОм.

Таблица 1 – Исходные данные

Вариант	1	2	3	4
R_1 , кОм	120	30	10	3

$$T = 2C * R_1 * \lg \left(1 + \frac{2R_3}{R_2} \right)$$

Зарисовать осциллограммы $U_{\text{вых}}$, измерить период и частоту, используя метки времени осциллографа.

4 Контрольные вопросы

- 1 Порядок выполнения работы.
- 2 Что такое ОУ?
- 3 Нарисовать схемы усилителей, компаратора, мультивибратора.
- 4 Выбрать элементы инвертирующего усилителя для $K = 1$ и $K = 30$; для неинвертирующего усилителя для $K = 10$ и $K = 100$.
- 5 Переворачивает ли ОУ фазу усиливаемого сигнала, почему?
- 6 Формула расчета частоты колебаний мультивибратора.

- 7 Принцип действия компаратора.
- 8 По какой схеме выполнены каскады ОУ?

Рекомендуемая литература:

1. Данилов И.А. Общая электротехника. – М.: ЮРАЙТ, 2010. – 673 с.
2. Бондарь И.М. Электротехника и электроника. 2-е издание – Ростов н/Д: Издательский центр МарТ»; Феникс, 2010. – 340 с.
3. Гальперин М.В. Электротехника и электроника. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010. – 480 с.
4. Немцов В.М., Светлакова И.И. Электротехника. 4-е издание – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 571 с.
5. Синдеев Ю.Г. Электротехника с основами электроники. Учебное пособие. 12-е издание. – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 407 с.
6. Мальц Э.Л., Мустафаев Ю.Н. Электротехника и электрические машины. – СПб: КОРОНА.Век, 2009. – 304 с.

Интернет-ресурсы

1. <http://sh-fizika.ru/2176-virtualnaya-laboratornaya-rabota.-izuchenie-raboty-transformatora.html> - виртуальная лаборатория.
2. <http://model.exponenta.ru/electro/js/start.html> - интернет коллоквиум.

Лабораторная работа № 6

Исследование работы LC-генератора гармонических колебаний

Цель работы: изучение принципа работы LC- генератора гармонических колебаний и определение его характеристик для мягкого и жесткого режимов

Теория.

Автогенератором называют устройство, являющееся источником колебаний. Любой автогенератор представляет собой нелинейный усилитель с обратной связью, преобразующий энергию источника питания в энергию колебаний определенной формы.

Независимо от вида и назначения LC-автогенератор должен содержать активный нелинейный элемент, линейную частотно-избирательную цепь (вместе они образуют нелинейный избирательный усилитель); а также цепь обратной связи и источник питания. На рис.1 приведена структурная схема автогенератора, а на рис.2 - упрощенная принципиальная схема транзисторного LC - автогенератора с контуром в цепи стока полевого транзистора.

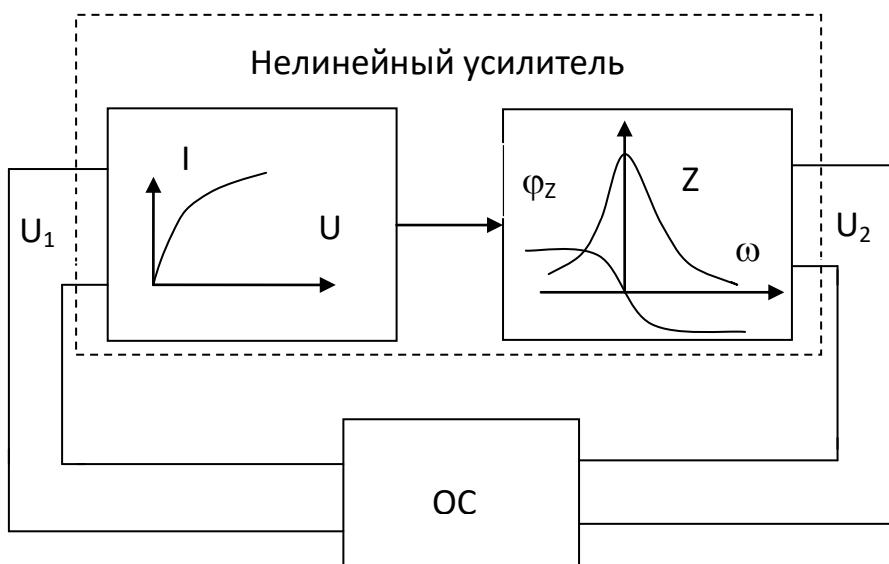


Рис.1

В этой схеме (рис.2) роль активного нелинейного элемента играет транзистор VT, роль избирательного четырехполюсника - колебательный контур L_K и C_K , а роль цепи обратной связи - катушка L_3 , связанная с L_K через общее магнитное поле (M).

Задачей нелинейного активного элемента является усиление поступающих на него колебаний до уровня, обеспечивающего самовозбуждение схемы, и перевод (автоматический) генератора из режима самовозбуждения в стационарный режим.

Задачей линейной частотно-избирательной цепи является обеспечение плавной зависимости от частоты угла фазового сдвига между поступающим на эту цепь током нелинейного активного элемента и выделяющимся на ней напряжением.

Задачей цепи обратной связи является подача части энергии колебаний с выхода избирательного усилителя на его вход для самовозбуждения схемы и ее работы в стационарном режиме.

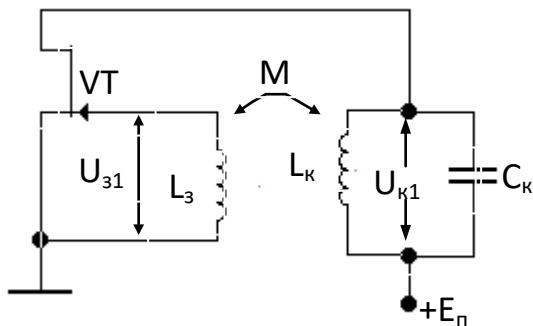


Рис.2

Существует два режима работы автогенератора:

- режим самовозбуждения, который возникает после включения автогенератора и характерен малой амплитудой вырабатываемых колебаний и тем, что она во времени растет;

- стационарный режим, который возникает спустя некоторое время после запуска автогенератора и характерен большой и постоянной во времени амплитудой генерируемых колебаний.

Условие стационарности режима автогенератора аналитически может быть записано в виде.

$$K(\omega, U_1) \cdot \beta(\omega) = 1, \quad (1)$$

$$\varphi_k(\omega_g) + \varphi_\beta(\omega_g) = 2\pi n, \quad (2)$$

где

$$K(\omega, U_1) = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{\dot{U}_{k1}}{\dot{U}_{31}} = K(\omega, U_1) e^{j\varphi_k(\omega)} \quad (3)$$

- коэффициент передачи нелинейного избирательного усилителя

$$\dot{\beta}(\omega) = \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} = \frac{\dot{U}_{31}}{\dot{U}_{k1}} = \beta(\omega) e^{j\varphi_\beta(\omega)} \quad (4)$$

- коэффициент передачи цепи обратной связи,

ω_g - частоте генерации,

$\dot{U}_2 = \dot{U}_{k1}$ - комплексная амплитуда первой гармоники напряжения на стоке транзистора,

$\dot{U}_1 = \dot{U}_{31}$ - комплексная амплитуда первой гармоники напряжения на затворе транзистора,

Физический смысл соотношения (2) состоит в том, что обратная связь на частоте генерации должна быть положительной. Для генерации гармонических колебаний условие (2) должно выполняться только на одной частоте ω_g . Поэтому при исследовании генераторов гармонических колебаний частоту генерации определяют обычно решением уравнения (2).

Физический смысл соотношения (1) состоит в равенстве энергии колебаний, вырабатываемых усилителем, и энергии потерь, рассеиваемой в пассивной части

схемы. Из решения (1) принципиально можно найти зависимость стационарной амплитуды колебаний от величины обратной связи. Однако обычно вместо аналитического решения избирают менее точный, но более удобный графический метод колебательных характеристик. Рассмотрим его сущность.

Колебательной характеристикой называют зависимость амплитуды первой гармоники тока нелинейного элемента I_{K1} от амплитуды входного гармонического напряжения U_{31} , снимаемого при разорванной цепи обратной связи. Вместо зависимости $I_{K1} = f(U_{31})$ можно исследовать имеющую ту же форму, но отличающуюся масштабом, зависимость $U_{K1} = f(U_{31})$, где U_{K1} - амплитуда первой гармоники напряжения на стоке транзистора. Зависимости $I_{K1} = f(U_{31})$, $U_{K1} = f(U_{31})$ нелинейны, а их вид зависит от положения рабочей точки активного нелинейного

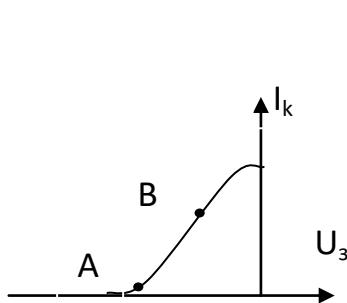


Рис.3

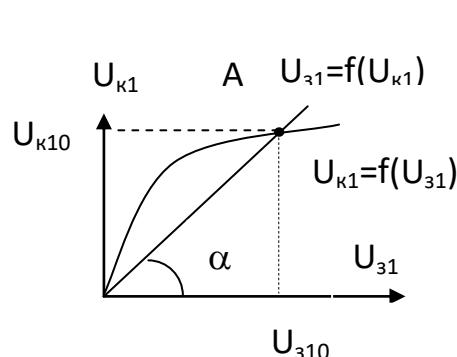


Рис.4

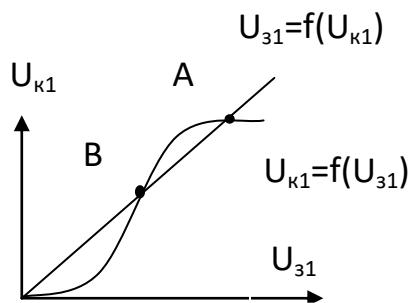


Рис.5

элемента. Если рабочая точка изначально смешена на линейном участке вольтамперной кривой (точка В на рис.3), то колебательная характеристика имеет вид, изображенный на рис.4. Режим работы автогенератора при такой колебательной характеристике называют мягким. Если же рабочая точка расположена на нижнем изгибе вольтамперной кривой с малой крутизной и при очень малом токе стока (точка А на рис.3), то колебательная характеристика имеет вид, изображенный на рис.5. Режим работы автогенератора при такой колебательной характеристике называют жестким.

Характеристикой обратной связи называют зависимость амплитуды напряжения обратной связи U_{31} от амплитуды первой гармоники тока нелинейного элемента I_{K1} или амплитуды первой гармоники напряжения на стоке U_{K1} . В данной лабораторной работе колебательная характеристика снимается и строится в координатах $U_{K1} = f_1(U_{31})$, так как экспериментально получить такую зависимость проще и удобнее. Соответственно, характеристика обратной связи понимается как зависимость $U_{31} = \square_1(U_{K1})$. Поскольку $U_{31} = \beta(\omega)U_{K1}$, графиком характеристики обратной связи является прямая, проходящая через начало координат, под углом $\alpha = \arctg\left(\frac{1}{\beta}\right)$ к оси абсцисс.

Стационарная амплитуда колебаний на входе усилителя U_{310} определяется путем проектирования точки пересечения колебательной характеристики и прямой обратной связи на ось U_3 (рис.4). Причем в жестком режиме точкой стационарного режима является точка А, в которой крутизна характеристики обратной связи

больше, чем крутизна колебательной характеристики. Аналогично можно найти стационарную амплитуду колебаний напряжения на стоке транзистора U_{K10} , только точку стационарного режима нужно проектировать на ось ординат.

Для определения зависимости стационарной амплитуды колебаний на выходе генератора U_{K10} от коэффициента обратной связи β на график колебательной характеристики $U_{K1} = f(U_{31})$ нужно нанести семейство прямых обратной связи $U_{31} = \square_1(U_{K1}) = \beta \square U_{K1}$ для различных величин β (рис.6), спроектировать каждую точку стационарного режима на ось ординат, после чего по полученным данным построить график $U_{K1} = \square(\beta)$. Вид этой кривой, приведенный на рис.7, характерен для мягкого режима работы генератора. Колебания возникают при некоторой величине обратной связи β_{kp} , для которой прямая обратной связи является касательной к начальному участку колебательной характеристики. По мере роста β , амплитуда U_{K10} меняется монотонно, причем зависимость $U_{K1} = \square(\beta)$ однозначна.

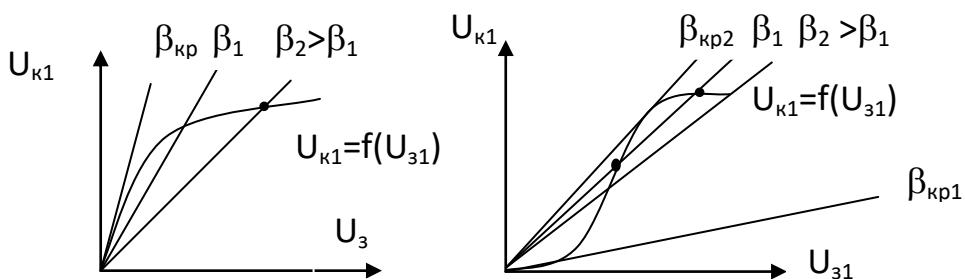


Рис. 6

При жестком режиме работы генератора правило построения графика $U_{K1} = \square(\beta)$ то же, но вид его иной (рис.8): колебания в генераторе возникают

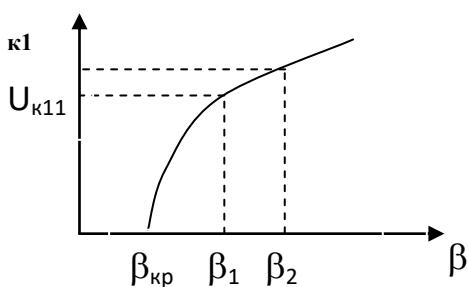


Рис. 7

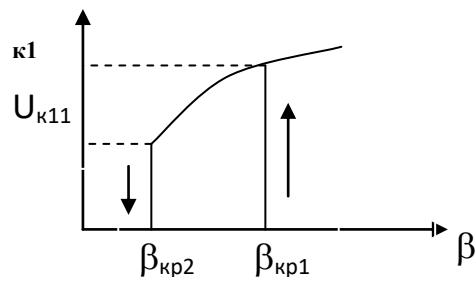


Рис. 8

при довольно большой связи β_{kp1} , для которой прямая обратной связи является касательной к начальному участку колебательной характеристики, причем амплитуда колебания U_{K11} сразу (скачком) устанавливается достаточно большой; при уменьшении связи от β_{kp1} колебания не срываются вплоть до связи β_{kp2} , для которой прямая обратной связи является касательной к выпуклому участку колебательной характеристики; при $\beta < \beta_{kp2}$ амплитуда колебаний скачком уменьшается от U_{K12} до 0.

Описание макета лабораторной работы.

Макет лабораторной работы питается от лабораторной сети постоянного напряжения 12 В.

На лицевой панели макета приведена упрощенная схема исследуемого устройства. Там же расположены измерительный прибор, регулировочные органы и контактные гнезда для подключения внешних устройств.

Стрелочный измеритель тока "mA" предназначен для измерения тока стока полевого транзистора и имеет предел измерения 5 mA.

Тумблер S1-"Избир. Ус-Генератор" позволяет перевести схему в один из двух режимов: избирательного усилителя или автогенератора.

Регулировочная ручка "Регулировка ОС" позволяет плавно изменять величину обратной связи в режиме автогенератора. Ручка имеет 11 оцифрованных положений (от 0 до 10). Положению 1 отвечает нулевой коэффициент обратной связи, положению 9 – максимальный коэффициент обратной связи. Точное значение коэффициента обратной связи, соответствующее отдельным оцифрованным значениям, можно определить, если в режиме избирательного усиления сравнить амплитудные или действующие значения напряжений $U_{зи}$ и $U_{вых}$.

Регулировочная ручка "Регулировка $U_{зи}=$ " позволяет плавно изменять напряжение смещения $U_{зи}=$ полевого транзистора, что необходимо для снятия его стоко-затворной характеристики.

На контактные гнезда "Увнешн. ген." в режиме избирательного усиления для снятия колебательных характеристик подается гармоническое напряжение с генератора GRG-450.

К нижеперечисленным контактным гнездам подключаются следующие приборы:

- "Увых" – один из входов осциллографа GOS-630FS для контроля формы выходного напряжения в режимах избирательного усиления и автогенератора и измерения амплитуды напряжения,

- " $U_{зи}\approx$ " - другой вход осциллографа GOS-630FS для контроля амплитуды колебаний, подаваемых на вход избирательного усилителя,

- " $U_{зи}=$ " – вольтметр В7-58/2 в режиме измерения постоянного напряжения или осциллограф с открытым входом..

Лабораторные задания

1. Снять стоко-затворную характеристику $I_c=f(U_{зи}=)$ полевого транзистора.

Переключатель S1 поставить в положение "Избир. Ус.". Напряжение внешнего генератора на соответствующий вход макета не подавать. Подключить вольтметр постоянного напряжения В7-58/2 с пределом измерения 20В или осциллограф с открытым входом к гнездам " $U_{зи}=$ ". Вращая ручку "Регулировка $U_{зи}=$ " из крайнего левого положения в крайнее правое фиксировать и записать в таблицу значения напряжения $U_{зи}=$, соответствующие значениям тока стока полевого транзистора 0 mA, 0.2 mA, 0.5 mA, 1 mA и т. д. до максимального значения тока.

Построить график стоко-затворной характеристики и выбрать по нему напряжения смещения для мягкого и жесткого режимов работы генератора. Напряжение смещения для жесткого режима работы должно быть таким, чтобы стрелка миллиамперметра немного отклонилась от нулевой отметки (см. рис. 3).

2. Снять колебательные характеристики $U_{вых}=f(U_{зи})$ для мягкого и жесткого режимов работы схемы.

2.1. Переключатель S1 оставить в прежнем положении. К гнездам "Увнешн. ген." Подключить генератор GRG-450 или Г6-27. Установить на выходе генератора гармоническую форму колебаний с амплитудой 0.2В. Форму напряжения, его частоту и амплитуду контролировать с помощью осциллографа GOS-630FS, первый вход которого подключить к гнездам "Узи". Второй вход осциллографа подключить к гнездам "Увых". Меняя частоту колебаний генератора в диапазоне 100-200 кГц, определить резонансную частоту колебательного контура L_kC_k по максимуму амплитуды выходных колебаний. В дальнейшем при снятии колебательных характеристик подавать на схему колебания именно этой частоты.

2.2. Отключив на время внешний генератор от макета, установить смещение $U_{зи}=$, соответствующее мягкому режиму работы схемы. Далее вновь подключить внешний генератор к макету и меняя амплитуду его выходного напряжения от 0.05В, фиксировать и заносить в таблицу значения амплитуды входного напряжения $U_{вх}$ и выходного $U_{вых}$ до прекращения роста $U_{вых}$. Для измерения амплитуд входного и выходного напряжения избирательного усилителя использовать соответственно входы 1 и 2 осциллографа.

2.3. Повторить действия пункта 2.2. для жесткого режима работы.

2.4. Построить графики колебательных характеристик в одной системе координат.

3. Снять характеристику обратной связи $\beta=f(N)$.

Установить с помощью внешнего генератора амплитуду выходного напряжения избирательного усилителя равной 1В. Контролируется напряжение вторым каналом осциллографа. Вращая ручку "Регулировка ОС" из крайнего левого положения вправо, замерить с помощью первого канала осциллографа амплитуды напряжения $U_{зи}$, соответствующие оцифрованным положениям ручки. Рассчитать значения коэффициента обратной связи $\beta=U_{зи}/U_{вых}$ для этих положений. Построить график $\beta=f(N)$, где N – число (от 1 до 9), характеризующее соответствующее положение ручки.

3. Снять зависимости стационарной амплитуды колебаний генератора от величины обратной связи $U_{вых}=f(\beta)$ для мягкого и жесткого режима работы.

3.1. Отключить внешний генератор от соответствующих контактных гнезд макета. Ручку регулировки обратной связи поставить в крайнее левое положение.

3.2. Ручкой регулировки "Регулировка $U_{зи}=$ " установить напряжение смещения, соответствующее мягкому режиму работы генератора. Контролируется напряжение $U_{зи}$ на соответствующих гнездах макета вольтметром постоянного напряжения или осциллографом с открытым входом. Переключатель S1 перевести в положение "Ген." Медленно вращая ручку "Регулировка ОС" вправо, зафиксировать положение ручки, при котором возникнут колебания в генераторе. Далее, продолжая вращать ручку вправо, записать амплитуду выходных колебаний автогенератора для оцифрованных положений ручки "Регулировка ОС".

Снять зависимость $U_{вых}=f(\beta)$ уменьшая обратную связь от максимальной до минимальной.

3.3. Ручку регулировки обратной связи поставить в крайнее левое положение. Повторить действия пункта 3.2. для жесткого режима работы.

3.4. Построить отдельно графики зависимостей стационарной амплитуды колебаний от величины обратной связи для мягкого и жесткого режимов.

Требования к оформлению отчета.

Отчет должен содержать:

1. Таблицы и графики по результатам экспериментальных исследований.
2. Выводы по всем пунктам лабораторных заданий.

Контрольные вопросы.

1. Для чего нужен транзистор в схеме автогенератора?
2. Для чего нужен колебательный контур в схеме автогенератора?
3. Для чего нужен трансформатор в схеме автогенератора?
4. Сформулировать условие стационарности колебаний.
5. Запасать условия баланса фаз и баланса амплитуд и пояснить их физический смысл.
6. Записать условие самовозбуждения автогенератора.
7. Что такое колебательная характеристика?
8. Охарактеризовать мягкий режим работы автогенератора.
9. Охарактеризовать жесткий режим работы автогенератора.
10. Показать причины, приводящиеся к возникновению гистерезиса в кривой зависимости $U_{K10} = f(U_{31})$ при жестком режиме работы.

Рекомендуемая литература:

1. Данилов И.А. Общая электротехника. – М.: ЮРАЙТ, 2010. – 673 с.
2. Бондарь И.М. Электротехника и электроника. 2-е издание – Ростов н/Д: Издательский центр МарТ»; Феникс, 2010. – 340 с.
3. Гальперин М.В. Электротехника и электроника. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010. – 480 с.
4. Немцов В.М., Светлакова И.И. Электротехника. 4-е издание – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 571 с.
5. Синдеев Ю.Г. Электротехника с основами электроники. Учебное пособие. 12-е издание. – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 407 с.
6. Малыш Э.Л., Мустафаев Ю.Н. Электротехника и электрические машины. – СПб: КОРОНА.Век, 2009. – 304 с.

Интернет-ресурсы

1. <http://sh-fizika.ru/2176-virtualnaya-laboratornaya-rabota.-izuchenie-raboty-transformatora.html> - виртуальная лаборатория.
2. <http://model.exponenta.ru/electro/js/start.html> - интернет коллоквиум.

Лабораторная работа № 7

Исследование работы мультивибратора

Цель работы – изучение принципа действия мультивибратора, работающего в автоколебательном режиме, наблюдение его работы в режимах синхронизации и деления частоты (рисунок 1).

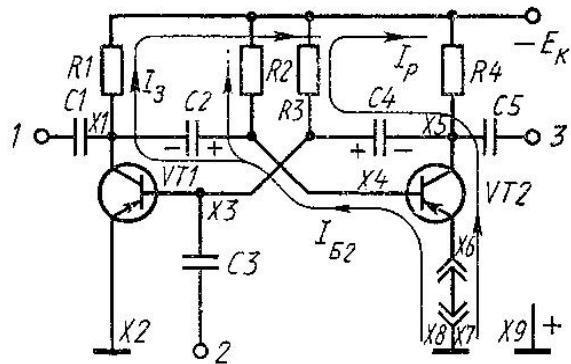


Рисунок 1 – Схема мультивибратора

Пояснения. Мультивибратор представляет собой импульсный автогенератор и предназначен для генерации периодической импульсной последовательности. Форма выходных импульсов мультивибратора близка к прямоугольной, а скважность находится в пределах от 2 до 20. Для таких генераторов характерно чередование интервалов времени, когда напряжение на выводах транзисторов изменяется медленно или не изменяется вовсе, с моментами лавинообразного и быстрого его изменения – перепадами, которые на экране осциллографа наблюдаются как разрывы.

Рассмотрим работу мультивибратора в автоколебательном режиме (рис. 2,*a* – *г*). Электрическое состояние схемы, соответствующее моменту *a*, через определенный промежуток времени повторяется, что свидетельствует об автоколебательном характере процессов в мультивибраторе.

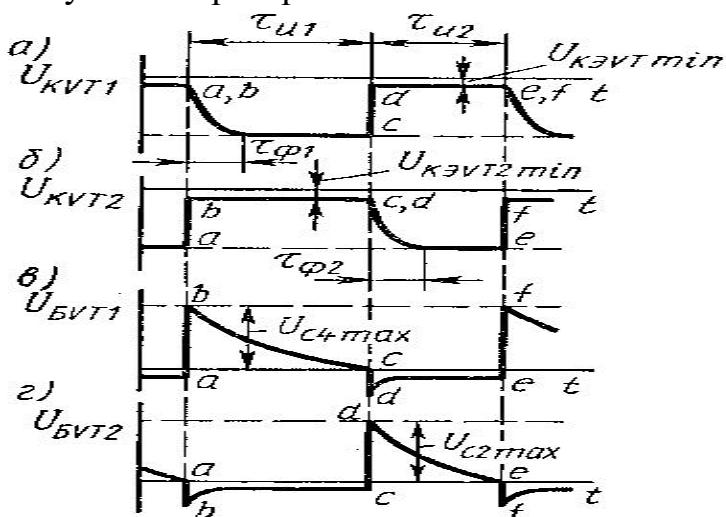


Рисунок 2 – Эпюры напряжений в мультивибраторе по схеме на рисунке 1

В момент *a* транзистор *VT1* открыт (см. рис. 1) насыщен и напряжение U_{KVT1} на его коллекторе мало. При этом конденсатор *C2* разряжен почти до нуля, а конденсатор *C4* заряжен почти до напряжения E_{k} источника, причем его электрод, подключенный к базе транзистора *VT1*, заряжен положительно.

Транзистор *VT2* закрыт, напряжение на его коллекторе близко к напряжению источника E_{k} . Напряжение на базе *VT2* приближается к нулю.

Сразу же вслед за моментом *a* напряжение на базе транзистора *VT2* становится отрицательным, так как завершается разряд конденсатора *C2* через насыщенный транзистор *VT1*, источник питания E_{k} и резистор *R2*. Появляется ток базы транзистора *VT2*, он начинает открываться. Напряжение на его коллекторе уменьшается из-за падения напряжения на резисторе *R4*, вследствие чего начинает закрываться транзистор *VT1*, так как напряжение на его базе также уменьшается. При этом напряжение на коллекторе транзистора *VT1* увеличивается, что приводит к увеличению напряжения на базе транзистора *VT2* и увеличению его базового тока I_{B2} , проходящего по цепи: $+E_{\text{k}}$ (корпус), эмиттер – база транзистора *VT2*, параллельно включенные резисторы *R1* и *R2*. В результате транзистор *VT2* переходит в насыщение и напряжение на его коллекторе уменьшается до $U_{\text{K}\text{Э}\text{V}\text{T2min}}$. К базе транзистора *VT1* через насыщенный транзистор *VT2* подключается заряженный почти до напряжения источника E_{k} конденсатор *C4*, и транзистор *VT1* закрывается.

Процесс переключения мультивибратора в новое временно устойчивое состояние происходит лавинообразно и завершается в момент *b* (см. рис. 2, *a–e*).

В интервале времени *bc* в схеме происходят следующие процессы:

напряжение на коллекторе транзистора *VT1* сначала увеличивается по экспоненте, так как ток заряда I_z конденсатора *C2* создает падение напряжения на резисторе *R1*, уменьшающееся по мере заряда, а затем по окончании заряда коллекторное напряжение транзистора *VT1* становится близким к напряжению источника E_{k} ;

напряжение $U_{\text{K}\text{Э}\text{V}\text{T2min}}$ на коллекторе транзистора *VT2* мало;

напряжение на базе транзистора *VT1* положительное и уменьшается по экспоненте в соответствии с разрядом конденсатора *C4* током I_p по цепи: $+C4, R3, -E_{\text{k}}, +E_{\text{k}}$ (корпус), насыщенный *VT2*, $-C4$;

напряжение на базе транзистора *VT2* сначала увеличивается (точка *b* на рис. 2,*e*), а затем уменьшается по экспоненте до уровня, определяемого током, проходящим через резистор *R2*. Выброс и экспоненциальный спад напряжения объясняются тем, что ток заряда конденсатора *C2* через переход эмиттер – база транзистора *VT2* сразу же вслед за моментом *a* близок к току коллектора транзистора *VT1* в режиме насыщения, а затем по мере заряда конденсатора *C2* этот ток уменьшается по экспоненте, при этом одновременно уменьшается напряжение на эмиттерном переходе транзистора *VT2*;

по окончании заряда конденсатора *C2* ток базы транзистора *VT2* определяется сопротивлением резистора *R2*; этот ток должен быть достаточным для удержания транзистора *VT2* в насыщении.

В момент c (см. рис. 2, δ) конденсатор $C4$ разряжается до нуля и начинается процесс опрокидывания схемы в первое временно устойчивое состояние. При этом появляются токи базы и коллектора транзистора $VT1$, уменьшается напряжение на его коллекторе, он открывается и переходит в насыщение, а конденсатор $C4$ заряжается через эмиттерный переход транзистора $VT1$. Временно устойчивое состояние длится до момента e (см. рис. 2, ε), пока конденсатор $C2$ не разрядится до нуля. Таким образом, электрическое состояние мультивибратора в момент e такое же, как в момент a , т.е. в схеме происходит автоколебательный процесс. Длительности импульсов мультивибратора

$$\tau_{E1} \approx 0,7R3C4; \quad \tau_{E2} \approx 0,7R2C2,$$

а частота и период их следования

$$f = 1/[0,7(R3C4 + R2C2)], \quad (1)$$

$$T = 0,7(R3C4 + R2C2). \quad (2)$$

Если номинальные значения времязадающих элементов схемы попарно одинаковы, т.е. $R2 = R3 = R$ и $C2 = C4 = C$, мультивибратор становится симметричным и генерирует импульсы со скважностью 2. Временные параметры выходного сигнала симметричного мультивибратора определяют по формулам

$$\tau_{H1} \approx 0,7RC; \quad T \approx 1,4RC; \quad f = 1/(1,4RC).$$

Длительность фронтов отрицательных перепадов на коллекторах транзисторов определяют по формулам

$$\tau_{\phi1} \approx 2,3R1C2; \quad \tau_{\phi2} \approx 2,3R4C4;$$

Мультивибратор хорошо синхронизируется импульсами внешнего генератора, частота которых несколько выше частоты свободных колебаний (рисунок 3, a,δ).

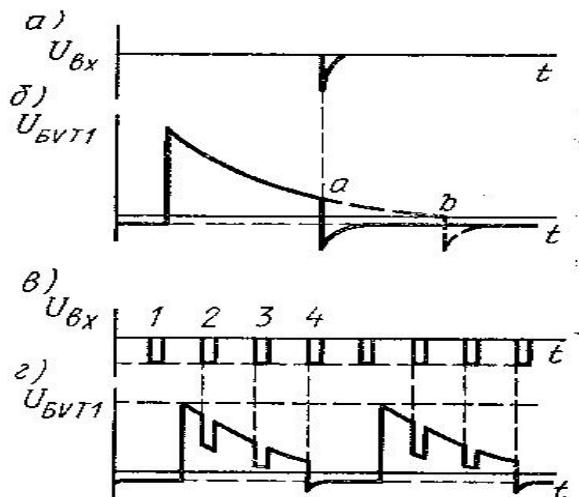


Рисунок 3 – Синхронизация мультивибратора (a,δ) и работа в режиме деления частоты (b,ε)

В автоколебательном режиме транзистор открывается в момент b . Синхроимпульс открывает транзистор несколько раньше – в момент a . При этом

схема принудительно переходит во второе временно устойчивое состояние, при котором транзистор $VT1$ открыт и насыщен, а транзистор $VT2$ закрыт. Продолжительность этого состояния определяется постоянной цепи разряда конденсатора $C2$ через резистор $R2$. Затем схема возвращается в первое временно устойчивое состояние. При очередном импульсе синхронизации процесс повторяется. Таким образом, стабильность частоты колебаний мультивибратора определяется стабильностью частоты синхроимпульсов.

Мультивибратор способен работать в режиме деления частоты (рис. 3, в, г). На базу транзистора $VT1$ подается импульсная последовательность $U_{\text{вх}}$, частота которой в несколько раз выше частоты свободных колебаний. Амплитуду импульсов подбирают так, чтобы принудительное опрокидывание схемы происходило под действием второго, третьего, четвертого импульса и т.д. Соответственно частота выходного сигнала будет ниже частоты входной импульсной последовательности $U_{\text{вх}}$ в два, три, четыре раза и т.д.

Мультивибратор работает устойчиво при коэффициенте деления менее 10.

Порядок выполнения работы

- Вычертить таблицы 1 и 2 для записи результатов измерений, расчетов и режимов по постоянному току.

Таблица 1 – Результаты расчетов и измерений

Емкость конденсаторов $C2 = C4$		1000 пФ		0,01 мкФ		0,1 мкФ	
Сопротивление резисторов $R2=R3$, кОм		51	33	51	33	51	33
Период следования импульсов T , мс	измеренный						
	расчетный						
Частота следования импульсов f , кГц	измеренная						
	расчетная						

Таблица 2 – Режимы работы схемы мультивибратора по постоянному току

Гнездо	X1	X2	X4	X5	« $-E_k$ »
Напряжение, В					

- Зарисовать электрическую схему исследуемого мультивибратора (см. рисунок 1).

- Измерить временные параметры выходного сигнала мультивибратора для приведенных в таблице 2 номиналов элементов схемы и занести результаты

измерений в эту таблицу. Рассчитать эти же параметры схемы, пользуясь формулами (1) и (2), занести результаты расчетов в таблицу 1 и сравнить их с измеренными.

4. Измерить постоянные составляющие напряжений на выводах транзисторов мультивибратора в автоколебательном режиме и занести результаты в таблицу 2.

5. Наблюдать и зарисовать осциллограммы напряжений в гнездах $X1$, $X3$, $X4$, $X5$ и 3.

6. Наблюдать работу мультивибратора в режимах синхронизации и деления частоты. Зарисовать осциллограммы напряжений, действующих на базах транзисторов, в едином масштабе времени. Убедиться, что изменение времязадающих элементов цепей в определенных пределах не нарушает синхронизацию

Методические указания

1. При выполнении работы используют: $R1=R4 = 2 \text{ кОм}$; $R2 = 33, 51$ и 100 кОм (переменный); $R3 = 51$ и 33 кОм ; $C1=C2= 0,022 \text{ мкФ}$; $C2 =C4 = 1000 \text{ пФ}$, $0,01$ и $0,1 \text{ мкФ}$; $C5 = 0,033 \text{ мкФ}$; $VT1$ и $VT2$ – транзисторы КТ361А, перемычку.

2. Для измерения временных параметров колебаний мультивибратора вход осциллографа подключают к гнезду 3, а вывод « \perp » – к гнезду $X9$.

3. Для наблюдения осциллограмм используют открытый вход осциллографа.

4. Для синхронизации мультивибратора используют элементы $R2 = R3 = 51 \text{ кОм}$, $C2 = C4 = 0,01 \text{ мкФ}$. Частоту синхроимпульсов устанавливают равной 2 кГц ., при этом выход генератора импульсов подключают к гнезду 2, а зажим « \perp » – к гнезду $X2$.

5. Для наблюдения эффективности синхронизации устанавливают резистор $R2 = 100 \text{ кОм}$ (переменный). Сняв импульс синхронизации, регулируют сопротивление переменного резистора $R2$ до получения импульсной последовательности со скважностью 2. Затем вводят синхронизацию и убеждаются, что при небольшом повороте движка резистора $R2$ синхронизация сохраняется. Уменьшая до нуля амплитуду синхроимпульсов, убеждаются, что мультивибратор возвращается в автоколебательный режим.

6. Для наблюдения режима деления частоты увеличивают частоту синхроимпульсов и сравнивают полученную осциллограмму с временной диаграммой, показанной на рисунке 3,г. Наблюдают деление частоты на 2,3,4 и т.д.

Содержание отчета

1. Наименование отчета.
2. Схема исследуемого мультивибратора.
3. Формулы, использованные в работе, и значения расчетных и экспериментально определенных параметров.
4. Таблицы со снятыми характеристиками.
5. Осциллограммы напряжений на базах и коллекторах транзисторов.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение мультивибратора?
2. Какие элементы схемы мультивибратора определяют временные параметры его выходного сигнала?
3. Как регулируют частоту и скважность импульсной последовательности на выходе мультивибратора?
4. Какова максимальная скважность выходного сигнала мультивибратора?
5. Поясните процессы синхронизации и деления частоты.

Рекомендуемая литература:

1. Данилов И.А. Общая электротехника. – М.: ЮРАЙТ, 2010. – 673 с.
2. Бондарь И.М. Электротехника и электроника. 2-е издание – Ростов н/Д: Издательский центр МарТ»; Феникс, 2010. – 340 с.
3. Гальперин М.В. Электротехника и электроника. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010. – 480 с.
4. Немцов В.М., Светлакова И.И. Электротехника. 4-е издание – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 571 с.
5. Синдеев Ю.Г. Электротехника с основами электроники. Учебное пособие. 12-е издание. – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 407 с.
6. Мальц Э.Л., Мустафаев Ю.Н. Электротехника и электрические машины. – СПб: КОРОНА.Век, 2009. – 304 с.

Интернет-ресурсы

1. <http://sh-fizika.ru/2176-virtualnaya-laboratornaya-rabota.-izuchenie-raboty-transformatora.html> - виртуальная лаборатория.
2. <http://model.exponenta.ru/electro/js/start.html> - интернет коллоквиум.

Лабораторная работа № 8

Исследование логических элементов

Цель: изучение принципа действия логических схем И, ИЛИ, НЕ, И-НЕ, ИЛИ-НЕ и экспериментальное подтверждение их таблиц истинности. Изучение логических микросхем серии К155.

Материальное обеспечение:

Источник питания постоянного тока 0 — 15В — 1.

Мультиметр — 1

Микросхемы: К155ЛАЗ, К155ЛЛ1, К155ЛИ1, К155ЛЕ1

Светодиоды АЛ307БМ

Комбинированный прибор Щ4313

Соединительные провода

Вводный контроль:

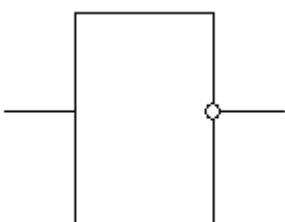
1. Какие основные функции алгебры логики Вы знаете?
2. Для чего применяются логические элементы?
3. В чем особенности микросхем серии К155?

Краткая теория

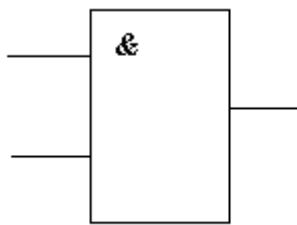
В вычислительной технике для выполнения большинства операций используется двоичная система счисления, имеющая всего две значащие цифры 0 и 1, которые могут быть представлены разными уровнями потенциала. Например, 0 можно представить как отсутствие потенциала (нулевой потенциал на выходе или входе схемы было настолько низкий потенциал, что им можно пренебречь), а 1 – как потенциал высокого уровня. Такая форма представления сигналов информации, называемая также цифровой, позволяет наиболее экономно и быстро их обрабатывать.

Для построения схем цифровой техники используют алгебру логики, основными операциями которой являются:

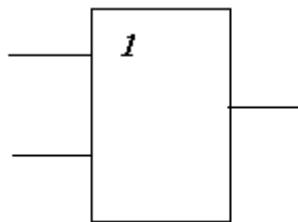
логическое отрицание (инверсия) $Y = \overline{X}$ (НЕ)



логическое умножение (конъюнкция) $Y = X_1 \cdot X_2$ (И)

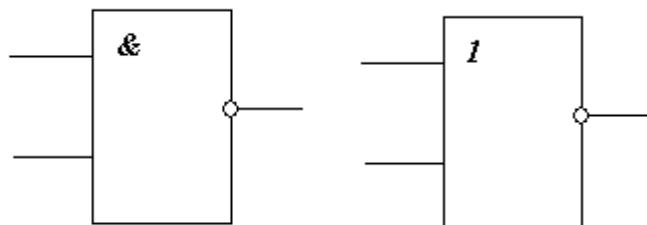


логическое сложение (дизъюнкция) $Y = X_1 + X_2$ (ИЛИ)



Основной формой задания логической функции является таблица истинности, в которой перечислены все возможные комбинации значений аргументов и для каждой комбинации указано значение функции. Таблица истинности однозначно определяет алгоритм работы цифровой схемы. Создание логической схемы обычно начинают с составления таблицы истинности.

Любую логическую функцию можно записать, используя обозначения трех элементарных функций И, ИЛИ, НЕ. Эти функции составляют функционально полный базис. Существуют и другие базисы, состоящие из одной, двух или трех функций. Наиболее часто используемые из них функции И-НЕ и ИЛИ-НЕ (штрих Шеффера и стрелка Пирса).



Задание:

1. Измерение уровней логических сигналов для микросхем серии К155.
2. Изучение свойств логических элементов.
3. Изучение комбинационных логических схем.

Порядок выполнения работы:

Порядок выполнения задания №1.

Ознакомиться с лабораторным блоком №5.

Подключить к гнездам X19, X20 постоянное напряжение 5 В.

Измерить с помощью цифрового прибора на пределе измерения 20 В напряжение на выходе переключателя SA1, затем SA2, соответствующие логической единице и логическому нулю.

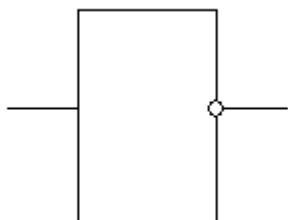
Результаты занести в таблицу 1.

Таблица 1.

Состояние переключателя	Замкнутое (вкл.)	Разомкнутое (выкл.)
Уровень напряжения (В)		
Логический сигнал		
Состояние светодиода		

Порядок выполнения задания №2.

Изучение микросхемы DD1:



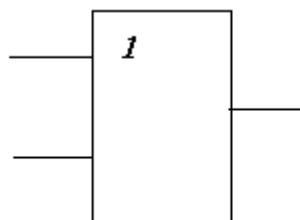
Выход переключателя SA1, то есть гнездо X1 соединить со входом X5 микросхемы DD1.

Состояние входа элемента (X5) и выхода (X8) фиксировать светодиодами.
Результаты наблюдений занести в таблицу 7.2.

Таблица 7.2.

X5	X8
0	
1	

Изучение микросхемы DD2:



Выводы переключателей SA1, SA2 подключить к входам X6, X7 микросхемы.

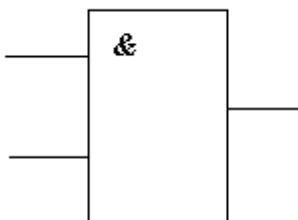
Изменяя состояние входов элемента фиксировать с помощью светодиодов состояние выхода X9.

Результаты наблюдений занести в таблицу 3.

Таблица 3.

X6	X7	X9
0	0	
1	0	
0	1	
1	1	

Изучение схемы DD3:



Выводы переключателей SA1, SA2 подключить к входам X10, X11 микросхемы.

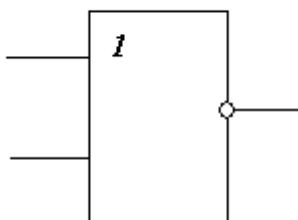
Изменяя состояние входов элемента фиксировать с помощью светодиодов состояние выхода X12.

Результаты наблюдений занести в таблицу 4.

Таблица 4.

X10	X11	X12
0	0	
1	0	
0	1	
1	1	

Изучение микросхемы DD4:



Выводы переключателей SA1, SA2 подключить к входам X13, X14 микросхемы.

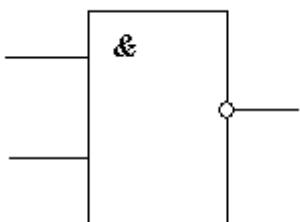
Изменяя состояние входов элемента фиксировать с помощью светодиодов состояние выхода X15.

Результаты наблюдений занести в таблицу 5.

Таблица 5.

X13	X14	X15
0	0	
1	0	
0	1	
1	1	

Изучение микросхемы DD5:



Выводы переключателей SA1, SA2 подключить к входам X16, X17 микросхемы.

Изменяя состояние входов элемента фиксировать с помощью светодиодов состояние выхода X18.

Результаты наблюдений занести в таблицу 6.

Таблица 6.

X16	X17	X18
0	0	
1	0	
0	1	
1	1	

Порядок выполнения задания №3.

Составить, затем собрать схему соединения двух логических элементов (произвольную). Заполнить таблицу истинности схемы.

Составить и собрать схему соединения четырех (трех) любых логических элементов и заполнить таблицу истинности.

Содержание отчета:

1. Наименование лабораторной работы.
2. Цель работы.

3. Перечень приборов и оборудования.
4. Задание.
5. Схемы.
6. Результаты исследований.
7. Таблицы.
8. Ответы на вопросы заключительного контроля.

Заключительный контроль:

1. Какие логические функции выполняют элементы микросхем К155ЛА3, - ЛЛ1,-ЛИ1, ЛЕ1?
2. К какому технологическому типу относятся микросхемы типа К155?
3. Проследить прохождение кода “01” по каждой из этих схем.
4. Составить логическую схему по данному выражению: $F=x+y + x \cdot y$
5. Заполнить таблицу истинности для выражения, предложенного преподавателем.

Рекомендуемая литература:

1. Данилов И.А. Общая электротехника. – М.: ЮРАЙТ, 2010. – 673 с.
2. Бондарь И.М. Электротехника и электроника. 2-е издание – Ростов н/Д: Издательский центр МарТ»; Феникс, 2010. – 340 с.
3. Гальперин М.В. Электротехника и электроника. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010. – 480 с.
4. Немцов В.М., Светлакова И.И. Электротехника. 4-е издание – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 571 с.
5. Синдеев Ю.Г. Электротехника с основами электроники. Учебное пособие. 12-е издание. – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 407 с.
6. Малыш Э.Л., Мустафаев Ю.Н. Электротехника и электрические машины. – СПб: КОРОНА.Век, 2009. – 304 с.

Интернет-ресурсы

1. <http://sh-fizika.ru/2176-virtualnaya-laboratornaya-rabota.-izuchenie-raboty-transformatora.html> - виртуальная лаборатория.
2. <http://model.exponenta.ru/electro/js/start.html> - интернет коллоквиум.

Лабораторная работа № 9

Исследование режимов работы трансформатора

Цель: ознакомиться с устройством, назначением и основными характеристиками однофазного двухобмоточного трансформатора; определить коэффициент трансформации и снять характеристики холостого хода и внешнюю характеристику.

Материальное обеспечение:

1. Амперметр переменного тока на 1А - 1 шт.
2. Амперметр переменного тока на 5А - 1 шт.
3. Вольтметр переменного тока на 150 В - 1 шт.
4. Вольтметр переменного тока на 15 В - 1 шт.
5. Ваттметр однофазный на 127 В, 5А - 1 шт.
6. Лабораторный стенд ЛЭС -5 - 1 шт.

Вводный контроль:

1. Какой трансформатор называется понижающим?
2. Как устроен однофазный трансформатор?
3. На каком законе основан принцип работы трансформатора?
4. Что такое коэффициент трансформации?

Краткая теория

Однофазный трансформатор имеет магнитопровод, набранный из листовой трансформаторной стали, на котором размещены две обмотки, (рис.1а) с числом витков W_1 и W_2 . В зависимости от номинальных напряжений у трансформаторов принято различать обмотки высшего и низшего напряжения. Однофазный трансформатор служит для преобразования однофазного переменного тока одного напряжения в другое той же частоты.

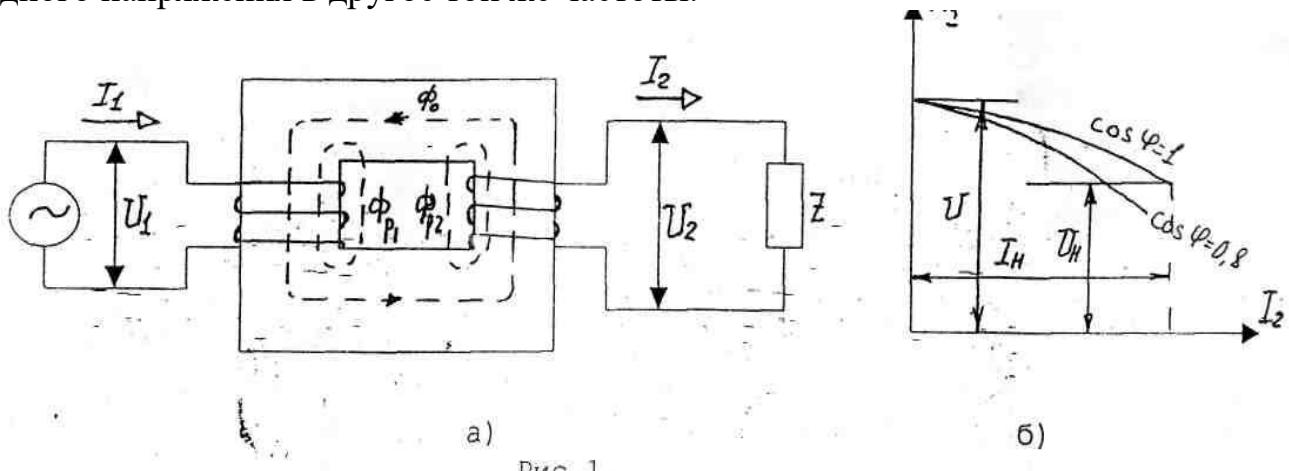


Рис.1.

На рис.1, показаны главный магнитный поток Φ_0 и магнитные потоки рассеяния Φ_{p1} и Φ_{p2} . Коэффициент трансформации по напряжению К показывает, во сколько раз число витков первичной обмотки W_1 больше числа витков вторичной обмотки W_2 (во сколько раз э.д.с. первичной обмотки больше э.д.с. вторичной обмотки).

$$K = W_1 / W_2 = E_1 / E_2 \approx U_1 / U_2$$

Коэффициент трансформации считается отношение высшего напряжения к низшему, измеренные при холостом ходе трансформатора.

При холостом ходе трансформатор потребляет из сети мощность, которая идет на потери в стали (потери на перемагничивание магнитопровода и на вихревые токи в нем).

Зависимости тока холостого хода, потребляемой трансформатором мощности, и коэффициента мощности от напряжения, подводимого к первичной обмотке, называются характеристиками холостого хода. Опыт холостого хода позволяет определить состояние стали трансформатора. Если потери мощности при холостом ходе окажутся значительно больше нормальных, в таком трансформаторе неисправен магнитопровод.

С увеличением нагрузки напряжение на зажимах вторичной обмотки понижается. Зависимость напряжения U_2 от тока нагрузки I_2 при неизменном первичном напряжении U_1 и частоте f называют внешней характеристикой трансформатора (рис.1б). Наклон внешней характеристики зависит от коэффициента мощности: чем ниже коэффициент мощности при индуктивной нагрузке, тем больше падает напряжение с ростом нагрузки.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с устройством и принципом действия однофазного трансформатора.
2. Составить схему (см.рис.2) и включить приборы для измерения, тока, напряжения и мощности, без подключения нагрузки.
3. Измерить ток холостого хода, снять характеристику холостого хода и результаты измерений записать в табл.1, рассчитать коэффициент трансформации K и определить $\cos \phi$ по формуле

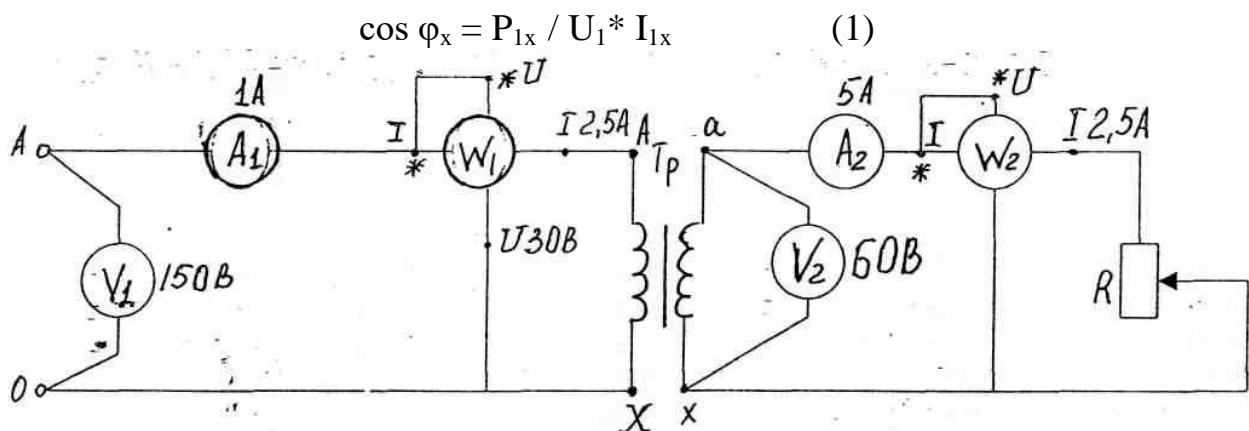


Таблица 1

U₁, В	U₂, В	I_{1x}, А	P_{1x}, Вт	K	cos φ_x

$$\cos \varphi_x = P_{1x} / U_1 * I_{1x}$$

4. Снять внешнюю характеристику трансформатора и результаты записать в табл.2.

Таблица 2

№ опыта	U₁, В	I₁, А	P₁, Вт	U₂, В	I₂, А	P₂, Вт
1						
2						
3						
4						

5. Составить отчет.

Содержание отчета

1. Наименование отчета.
2. Параметры электроизмерительных приборов, аппаратов оборудования.
3. Схема включения приборов для определения коэффициента трансформации, измерения тока холостого хода, снятие внешней характеристики.
4. Табл.1 с результатами измерений.
5. Табл. 2 с результатами измерений и график внешней характеристики трансформатора.
6. Выводы по работе о пригодности трансформатора к эксплуатации.

Заключительный контроль:

1. Что такое коэффициент трансформации и как его определить?
2. Как определить число витков первичной и вторичной обмоток трансформатора?
3. Почему при росте нагрузки понижается напряжение на вторичной обмотке трансформатора?
4. Как величина напряжения влияет на силу тока холостого хода трансформатора?
5. Что такое коэффициент полезного действия трансформатора и от чего он зависит?
6. Каковы потери мощности трансформатора при холостом ходе и при нагрузке.

Рекомендуемая литература:

1. Данилов И.А. Общая электротехника. – М.: ЮРАЙТ, 2010. – 673 с.
2. Бондарь И.М. Электротехника и электроника. 2-е издание – Ростов н/Д: Издательский центр МарТ»; Феникс, 2010. – 340 с.
3. Гальперин М.В. Электротехника и электроника. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010. – 480 с.
4. Немцов В.М., Светлакова И.И. Электротехника. 4-е издание – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 571 с.
5. Синдеев Ю.Г. Электротехника с основами электроники. Учебное пособие. 12-е издание. – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 407 с.
6. Мальц Э.Л., Мустафаев Ю.Н. Электротехника и электрические машины. – СПб: КОРОНА.Век, 2009. – 304 с.

Интернет-ресурсы

1. <http://sh-fizika.ru/2176-virtualnaya-laboratornaya-rabota.-izuchenie-raboty-transformatora.html> - виртуальная лаборатория.
2. <http://model.exponenta.ru/electro/js/start.html> - интернет коллоквиум.

Лабораторная работа № 10

Исследование работы трехфазного электродвигателя с короткозамкнутым ротором

Цель работы

Исследование рабочих свойств асинхронного двигателя

Программа работы

1. Изучить схему для исследования асинхронного электродвигателя постоянного с короткозамкнутым ротором (в дальнейшем изложении АД)
2. Снять механическую и электромеханическую характеристики двигателя
3. Построить зависимость $\eta, \cos\varphi = f(M)$
4. Построить энергетические диаграммы двигателя для нескольких режимов работы
5. Провести обработку экспериментальных данных, составить отчет и сделать заключение по работе

Приборы и оборудование

В лабораторной работе используются следующие модули:

- модуль питания стенда (МПС);
- модуль питания (МП);
- силовой модуль (СМ);
- модуль тиристорного преобразователя (ТП);
- модуль измерителя мощности (МИМ);
- модуль ввода/вывода (МВВ);
- модуль измерительный (МИ).

Порядок выполнения работы

1. Перед проведением лабораторной работы необходимо привести модули в исходное состояние:
 - переключатель «Сеть» тиристорного преобразователя перевести в нижнее положение, переключатель SA3 – в положение «Руч», SA4 – в положение «НМ», SA6 «Разрешение» - в нижнее положение;
 - переключатель SA1 модуля МДС2 установить в положение « ∞ ».
2. Исследуемый асинхронный двигатель входит в состав электромашинного агрегата, включающего в себя собственно исследуемый двигатель M1, нагружочный генератор – машину постоянного тока – M2, импульсный датчик частоты вращения – M3.

Для проведения работы на персональном компьютере должно быть загружено ПО Labdrive и выбрана соответствующая работа. Описание программного обеспечения Labdrive и LabShow приведено в приложениях Д, Е.

Схема для исследования асинхронного электродвигателя представлена на рисунке 1.

Асинхронный двигатель, исследуемый в данной работе, подключается к выходам

$3x380\text{ V}$ модуля питания через измеритель мощности и датчики тока и напряжения.

Выходы датчиков тока и напряжения, а также выход ПЧН подключаются к входам A1, A2, A3 модуля ввода/вывода.

Выход датчика тока якоря тиристорного преобразователя соединяется с входом A4 модуля ввода/вывода.

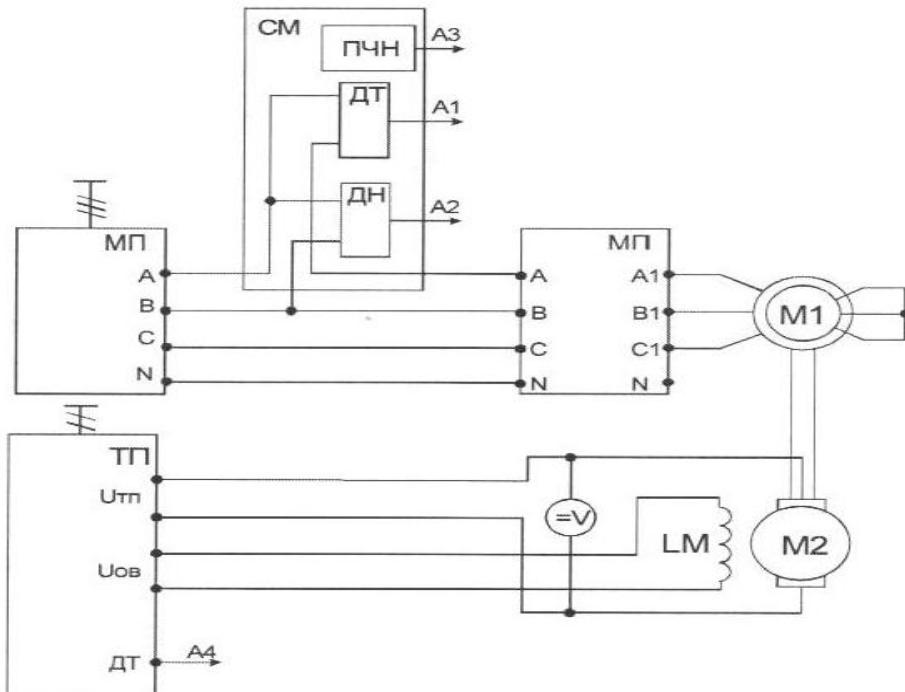


Рисунок 1 – Схема для исследования асинхронного электродвигателя

В качестве нагружочной машины выступает двигатель постоянного тока, подключенный к тиристорному преобразователю (ТП). Перед началом работы ТП должен быть переведен в режим регулирования момента (Приложение Б).

Механическая и электромеханическая характеристики двигателя

Механическая характеристика представляет собой зависимость частоты вращения двигателя от полезного момента на валу двигателя $\omega = f(M_B)$.

Электромеханическая характеристика двигателя представляет собой зависимость частоты вращения от тока статора $\omega = f(I_C)$.

Опыт проводится в следующей последовательности:

- включить автоматические выключатели QF1, QF2 – подается напряжение на асинхронный двигатель;
- подать питание на ТП включением кнопки «Сеть»;
- подать разрешение на работу ТП (SA6) и выбрать направление вращения ДПТ (переключатель SA5);
- задавая момент нагрузки, следить за частотой вращения. Если она увеличивается, поменять направление момента нагрузки;
- снять несколько точек двигательного режима, поменять направление момента (переключатель SA5 ТП), снять несколько точек генераторного режима. При проведении опыта следить за током якоря ДПТ. Он не должен превышать 1,5 A.

Данные опыта занести в таблицу 1.

Таблица 1 – Данные опыта

<i>n, об/мин</i>					
<i>U_Ф, В</i>					
<i>I_C, А</i>					
<i>P_C, Вт</i>					
<i>ω, 1/с</i>					
<i>S, В·А</i>					
<i>cos(φ)</i>					
<i>ΔP_{ЭЛ}, Вт</i>					
<i>ΔP_{МЕХ}, Вт</i>					
<i>P_B, Вт</i>					
<i>M_B, Н·м</i>					
<i>η</i>					

После проведения опыта необходимо привести модули в исходное состояние.

Расчетные данные.

Частота вращения двигателя, 1/с:

$$\omega = \frac{2\pi}{60} \cdot n.$$

Полная мощность, потребляемая из сети, В·А:

$$S = 3 \cdot U_{\Phi} \cdot I_C.$$

Cosφ электродвигателя:

$$\cos \varphi = \frac{P_C}{S},$$

где *P_C* – активная мощность, потребляемая из сети, Вт.

Электрические потери в цепи статора, Вт:

$$\Delta P_{\text{ЭЛ}} = 3 \cdot I_C^2 \cdot r_C,$$

где *r_C* – сопротивление фазы обмотки статора (Приложение В).

Полезная мощность на валу двигателя, Вт:

$$P_B = P_C - \Delta P_{\text{ЭЛ}} - \Delta P_{\text{МЕХАД}},$$

где *ΔP_{МЕХАД}* – механические потери двигателя (Приложение В), Вт.

Момент на валу двигателя, Н·м:

$$M_B = \frac{P_B}{\omega}.$$

Коэффициент полезного действия в двигательном режиме электродвигателя: $\eta = \frac{P_B}{P_C}$.

Коэффициент полезного действия в генераторном режиме: $\eta = \frac{P_C}{P_B}$.

По данным опытов построить механическую, электромеханическую характеристику, а также зависимости η , $\cos\varphi = f(M_B)$.

Энергетические диаграммы

В лабораторной работе необходимо построить диаграммы для двигательного, генераторного режимов, а также для режима холостого и идеального холостого хода. Результаты расчета для конкретной точки привести в таблице 2.

Таблица 2 – Результирующая таблица

$\omega, \text{1/c}$	$M_B, \text{Н}\cdot\text{м}$	$P_C, \text{Вт}$	$\Delta P_{ЭЛ}, \text{Вт}$	$\Delta P_{МЕХ}, \text{Вт}$	$P_B, \text{Вт}$

Содержание отчёта

1. Цель работы
2. Программа работы
3. Приборы и оборудование
4. Ход работы
5. Выводы
6. Контрольные вопросы

Контрольные вопросы

1. Как изменить направление вращения асинхронного двигателя?
2. Как изменится момент асинхронного двигателя при понижении напряжения питающей сети?
3. Может ли асинхронный двигатель создавать момент при синхронной частоте вращения?
4. Как изменяется ток статора двигателя при повышении напряжения и неизменной нагрузке на валу двигателя?
5. Объяснить физический смысл зависимости $\cos\varphi_1 = f(P_2)$.
6. Где на механической характеристике двигателя точка перехода в генераторный режим, точку реального и идеального холостого хода?

Рекомендуемая литература:

1. Данилов И.А. Общая электротехника. – М.: ЮРАЙТ, 2010. – 673 с.
2. Бондарь И.М. Электротехника и электроника. 2-е издание – Ростов н/Д: Издательский центр МарТ»; Феникс, 2010. – 340 с.
3. Гальперин М.В. Электротехника и электроника. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010. – 480 с.
4. Немцов В.М., Светлакова И.И. Электротехника. 4-е издание – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 571 с.
5. Синдеев Ю.Г. Электротехника с основами электроники. Учебное пособие. 12-е издание. – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 407 с.
6. Мальц Э.Л., Мустафаев Ю.Н. Электротехника и электрические машины. – СПб: КОРОНА.Век, 2009. – 304 с.

Интернет-ресурсы

1. <http://sh-fizika.ru/2176-virtualnaya-laboratornaya-rabota.-izuchenie-raboty-transformatora.html> - виртуальная лаборатория.
2. <http://model.exponenta.ru/electro/js/start.html> - интернет коллоквиум.

Лабораторная работа № 11

Исследование работы машины постоянного тока с параллельным возбуждением

Цель работы:

Изучить принцип действия и устройство двигателя постоянного тока, ознакомиться со схемой его включения в сеть и регулированием частоты вращения. Проанализировать основные характеристики двигателя с параллельным возбуждением.

Пояснения к работе

Двигатель постоянного тока, как и любой электродвигатель, преобразует электрическую энергию, потребляемую из сети (источника электропитания), в механическую энергию вращения на валу электродвигателя. Двигатель постоянного тока с электромагнитным возбуждением так же, как и генератор, состоит из электромагнитов постоянного тока и якоря, снабженного коллектором со щетками.

Напряжение, подводимое к якорю двигателя уравновешивается противоЭДС и падением напряжения в якоре $U = E_{Я} + I_{Я} R_{Я}$.

Поэтому ток в якоре $I_{Я} = (U - E_{Я}) / R_{Я}$.

ПротивоЭДС пропорциональна скорости вращения якоря n и магнитному потоку Φ :

$$E = c_E n \Phi,$$

где c_E - конструктивная постоянная.

Сопротивление якоря относительно мало, но и ток якоря невелик из-за того, что в номинальном режиме противоЭДС составляет примерно 95% от напряжения, приложенного к якорю.

Пуск электродвигателей постоянного тока параллельного возбуждения производится путем подключения их обмоток к сети при минимальном сопротивлении в цепи параллельной обмотки возбуждения, которому соответствует максимальная сила тока возбуждения I_B . При этом в двигателе создается максимальный пусковой момент.

Частоту вращения якоря двигателя n при неизменном моменте на валу можно изменить путем изменений в электрической схеме включения двигателя. Это следует из следующего выражения для двигателя постоянного тока:

Из этого соотношения видно, что регулировать частоту вращения двигателя n можно изменением величины напряжения U источника электропитания, изменением величины сопротивления в цепи якоря $R_{Я}$, изменением величины магнитного потока Φ .

Для изменения величины магнитного потока нужно изменять ток возбуждения. Это достигается введением регулировочного реостата R_P в цепь обмотки возбуждения. При увеличении величины регулировочного реостата уменьшается ток возбуждения и, следовательно, уменьшается магнитный поток. Как видно из приведенного соотношения, при этом увеличивается частота вращения якоря. При значительном уменьшении магнитного потока частота вращения может превысить допустимую величину и двигатель пойдет вразнос. Поэтому у двигателей с параллельным возбуждением нельзя допускать обрыв цепи обмотки возбуждения во

время работы двигателя. В данной работе регулировочные характеристики снимают в режиме холостого хода двигателя.

Для остановки двигателя снимают нагрузку, если это возможно по технологическому процессу. Затем в цепи параллельной обмотки возбуждения выводят реостат R_P (уменьшают сопротивление), что приводит к увеличению тока возбуждения, возрастанию магнитного потока и снижению частоты вращения. Затем вводят пусковой реостат, и, наконец, отключают двигатель от сети.

Чтобы изменить направление вращения электродвигателя постоянного тока, нужно либо изменить направление тока в обмотке якоря, оставляя неизменным направление тока в параллельной обмотке возбуждения, либо изменить направление тока в обмотке возбуждения, не меняя направление тока в обмотке якоря. Обычно из-за того, что при размыкании цепи возбуждения возникает большая ЭДС самоиндукции, изменяют направление тока в обмотке якоря.

При работе электродвигателя при изменении нагрузки на его валу изменяются скорость вращения якоря, врачающий момент, ток якоря, коэффициент полезного действия и другие величины. О рабочих свойствах двигателя судят по его механической характеристике и рабочим характеристикам.

Механической характеристикой двигателя называют зависимость частоты вращения от момента на валу двигателя $n = f(M)$ при $U = \text{const}$. Механическая характеристика при $R_P = 0$, $U = U_{\text{ном}}$ и $\Phi = \Phi_{\text{ном}}$ называется естественной, в противном случае - искусственной. Механическая характеристика двигателя с параллельным возбуждением - жесткая. Это значит, что при изменении нагрузки до номинальной скорость вращения якоря уменьшается мало, пропорционально падению напряжения в цепи якоря.

Рабочие характеристики представляют зависимости скорости вращения и, врачающего момента на валу M , потребляемой мощности P_1 , потребляемого двигателем тока I , коэффициента полезного действия η от полезной мощности (n , M , P_1 , η) = $f(P_2)$ при постоянном напряжении $U = \text{const}$ и постоянном токе возбуждения $I_B = I_{BH} = \text{const}$.

Если пренебречь реакцией якоря, то магнитный поток двигателя с параллельным возбуждением при неизменном напряжении питания – постоянная величина $\Phi = \text{const}$. Поэтому изменение скорости вращения двигателя обязано только падению напряжения в якоре $I_{\text{я}}R_{\text{я}}$. Поскольку при изменении нагрузки в пределах от холостого хода до номинальной падение напряжения $I_{\text{я}}R_{\text{я}}$ увеличивается не значительно по сравнению с приложенным напряжением, то и скорость вращения двигателя с параллельным возбуждением n уменьшается незначительно. Номинальное изменение скорости вращения двигателя параллельного возбуждения определяется формулой $\Delta n_H = (n_0 - n_H) / n_H$

где n_0 – скорость вращения при холостом ходе, n_H – номинальная скорость вращения.

Коэффициент полезного действия двигателя быстро растет при увеличении нагрузки до $P_2 = 0,5P_H$ и достигает наибольшего значения при нагрузке, когда сумма потерь холостого хода в стали и в цепи возбуждения (постоянные потери) равна потерям в цепи якоря, связанными с выделением тепла (переменные потери). Такое равенство может наступить, например, при $P_2 = 0,75P_H$.

В лабораторной работе при снятии характеристик двигатель нагружают генератором постоянного тока с независимым возбуждением.

2. Порядок выполнения работы

3.1. Ознакомиться с лабораторной установкой (компьютер, модуль ввода, модуль питания, модуль двигателя постоянного тока, модуль генератора постоянного тока, модуль мультиметров или вольтметров) и паспортными данными испытуемого двигателя. Записать паспортные данные двигателя в табл. 1.

Таблица 1

Тип	Номинальные значения					
	Мощность	Напряжение	Ток	Частота вращения	К.П.Д.	Вращающий момент
	кВт	В	А	об/мин	%	Нм

3.2. Перевести мультиметр в режим измерения сопротивления, включить модуль питания (выключатель $QF1$) и измерить сопротивления обмотки якоря R_A и обмотки возбуждения R_Q двигателя. Результаты измерений занести в табл. 2.

Таблица 2

R_A , Ом	
R_Q , Ом	

3.3. В соответствии со схемой по рис. 1 нарисовать принципиальную электрическую схему экспериментальной установки.

3.4. Включить компьютер и открыть окно «Лабораторная работа № 2-3. Испытание двигателя постоянного тока». Установить режим измерений «Постоянный».

3.5. Собрать исследуемую установку (рис. 1). Переключатель $SA2$ модуля двигателя постоянного тока установить в позицию «0» (регулировочный реостат выведен $R_p = 0$). Переключатель $SA3$ модуля двигателя постоянного тока установить в позицию «1», используя сопротивление добавочное сопротивление R_d в качестве пускового. После пуска двигателя перевести переключатель $SA3$ в позицию «0».

3.6. После проверки преподавателем собранной цепи провести пробный пуск двигателя на холостом ходу, а также убедиться в возможности регулирования частоты вращения якоря двигателя изменением величины магнитного потока путем регулирования величины тока возбуждения. Для этого включить модуль питания (выключатель $QF1$) и подать питание на двигатель постоянного тока (выключатель $SA1$ модуля двигателя постоянного тока). После пуска двигателя перевести

переключатель SA_3 модуля двигателя постоянного тока в позицию «0». Обратить внимание на направление вращения якоря. Измерить фототахометром частоту вращения якоря двигателя. Изменить величину регулировочного реостата R_p

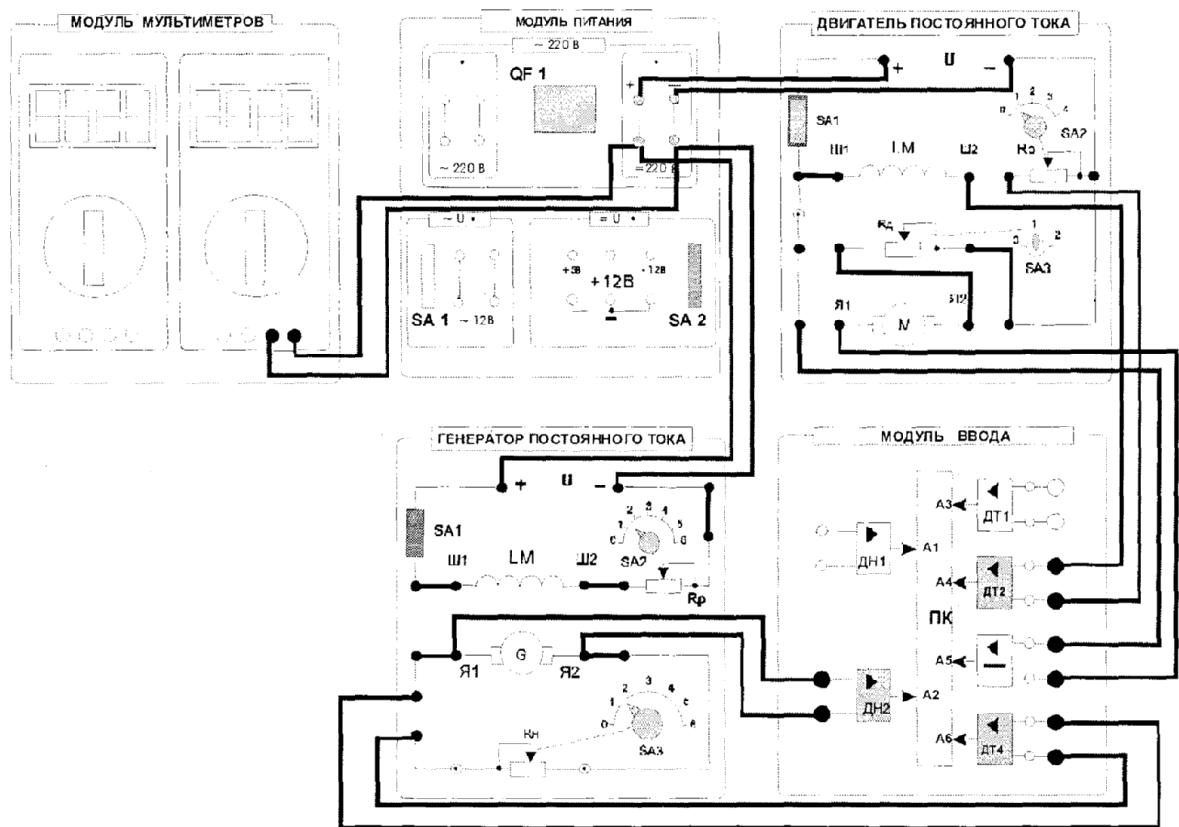


Рис. 1

переключателем SA_2 модуля двигателя постоянного тока и снова измерить фототахометром частоту вращения якоря двигателя. Выключить питание двигателя (выключатель SA_1) и установить переключатель SA_3 в позицию «1». Для реверсирования двигателя изменить направление тока в обмотке якоря (изменить подключение выводов обмотки якоря). Включить питание двигателя и обратить внимание на направление вращения якоря. Выключить питание двигателя (выключатель SA_1 модуля двигателя постоянного тока) и установить переключатель SA_3 в позицию «1». Для риверсирования двигателя изменить направление тока в обмотке возбуждения (изменить подключение выводов обмотки возбуждения) и включив питание двигателя обратить внимание на направление вращения якоря. Выключить питание двигателя (выключатель SA_1) и установить переключатель SA_3 в позицию «1».

3.7 Снять регулировочную характеристику при холостом ходе двигателя ($M = 0$).

Для этого пустить в ход двигатель. Установить переключателем SA_2 наибольший ток возбуждения I_B и измерить частоту вращения Π (первый отсчет). Затем постепенно уменьшать ток возбуждения с помощью переключателя SA_2 модуля двигателя постоянного тока, не допуская значительного повышения скорости относительно исходной. Результаты измерений записать в табл. 3. Выключить электропитание. По полученным данным построить регулировочную характеристику $n = f(I_B)$

Таблица 3

I_B , A					
n , об/мин					

3.8 Снять естественную механическую характеристику и рабочие характеристики двигателя. Включить электропитание стенда (выключатели QF1 и SA2), пустить в ход двигатель (выключатели SA1. Модуля двигателя постоянного тока). Измерить напряжение питания двигателя постоянного тока U мультиметром или стрелочным вольтметром постоянного тока, ток якоря I_y , ток возбуждения I_B и частоту вращения его якоря n . Результаты измерений записать в табл. 4.

Затем, подав питание на модуль генератора постоянного тока (выключатель SA1 модуля генератора постоянного тока), изменять с помощью переключателя SA3 тормозной момент, создаваемый генератором, измерять величины, указанные в табл. 4. Выключить питание генератора, двигателя и стенда.

Вычислить величину тока I_1 , потребляемого из сети, потребляемую мощность P_1 , момент на валу двигателя M , мощность на валу P_g и коэффициент полезного действия η .

Таблица 4

Измерено					Вычислено							
Генератор		Двигатель			I_1 , A	P_1 , Вт	$K_E = (U + I_{яг} + R_y)/n$	$K_M = 9,52K_E$	$M_T = K_M I_{яг}$	$P_2 = 0,105M_T n$	η	
U_g , В	I_g , А	U , В	I_y , А	I_B , А	n , об/мин							

По полученным данным построить естественную механическую $n=f(M)$ и рабочие характеристики двигателя $I_1=f(P_2)$, $\eta=f(P_2)$, $P_1=f(P_2)$, $n=f(P_2)$.

3.9 Снять искусственную (реостатную) механическую характеристику. Для этого по указанию преподавателя установить переключатель SA3 модуля двигателя постоянного тока в позицию «1» или «2». При снятии характеристики оставить его в указанной позиции. Включить электропитание стенда. После пуска двигателя с помощью нагрузочного генератора изменять тормозной момент (проводить аналогично п.3.6). При проведении опыта следить, чтобы ток якоря двигателя не превышал 0,8 А. Результаты занести в табл. 5. По результатам измерений построить реостатную механическую характеристику.

Таблица 5

$U_{яг}$, В	$I_{яг}$, А	n , об/мин	$K_E = (U + I_{яг} + R_y)/n$	$K_M = 9,52K_E$	$M_T = K_M I_{яг}$	$P_2 = 0,105M_T n$
--------------	--------------	--------------	------------------------------	-----------------	--------------------	--------------------

4 . Содержание отчета:

- а) наименование работы и цель работы;
- б) паспортные данные исследуемого двигателя постоянного тока;
- в) схемы включения двигателя и нагрузочного генератора;
- г) таблицы с результатами испытания двигателя;
- д) графики регулировочной, механических и рабочих характеристик исследуемого двигателя;
- е) выводы о рабочих и регулировочных свойствах двигателя с параллельным возбуждением.

5 . Контрольные вопросы:

1. Какие существуют способы возбуждения двигателей постоянного тока?
2. Как можно определить выводы параллельной обмотки возбуждения у двигателя постоянного тока?
3. Как осуществляется пуск двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением?
4. Какие существуют способы регулирования скорости вращения якоря двигателя с параллельным возбуждением?
5. Почему при уменьшении тока возбуждения частота вращения якоря возрастает?
6. Как можно изменить направление вращения якоря ДПТ?
7. Почему у двигателя при увеличении нагрузки на валу возрастает ток якоря?
8. По каким признакам можно судить о непригодности двигателя постоянного тока для дальнейшей эксплуатации?

Рекомендуемая литература:

1. Данилов И.А. Общая электротехника. – М.: ЮРАЙТ, 2010. – 673 с.
2. Бондарь И.М. Электротехника и электроника. 2-е издание – Ростов н/Д: Издательский центр МарТ»; Феникс, 2010. – 340 с.
3. Гальперин М.В. Электротехника и электроника. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010. – 480 с.
4. Немцов В.М., Светлакова И.И. Электротехника. 4-е издание – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 571 с.
5. Синдеев Ю.Г. Электротехника с основами электроники. Учебное пособие. 12-е издание. – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 407 с.
6. Мальц Э.Л., Мустафаев Ю.Н. Электротехника и электрические машины. – СПб: КОРОНА.Век, 2009. – 304 с.

Интернет-ресурсы

1. <http://sh-fizika.ru/2176-virtualnaya-laboratornaya-rabota.-izuchenie-raboty-transformatora.html> - виртуальная лаборатория.
2. <http://model.exponenta.ru/electro/js/start.html> - интернет коллоквиум.