

Министерство образования Российской Федерации

Томский политехнический университет

УТВЕРЖДАЮ
Зав.кафедрой ЭСПП
проф., д-р техн.наук
_____Лукутин Б.В.
« ____ » _____ 2003 г.

СИЛОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ

Методические указания к выполнению лабораторных работ
по курсу «Силовые преобразователи в электроснабжении»
для студентов направления 551700 (электроэнергетика)
и специальности 100400 (электроснабжение по отраслям)

Томск 2003

УДК 621.3.016.25

Силовые преобразователи в электроснабжении.

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Силовые преобразователи в электроснабжении» для студентов направления 551700 и специальности 100400. – Томск: Изд. ТПУ, 2003. – 32 с.

Составитель С.Г.Обухов

Рецензент доц., к.т.н. Е.П.Богданов

Методические указания рассмотрены и рекомендованы методическим семинаром кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» 13 ноября 2003 г.

Зав.кафедрой

Б.В.Лукутин

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕУПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Цель работы: изучение принципов действия и режимов работы неуправляемых выпрямителей.

I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Выпрямитель - это электротехническое устройство, предназначенное для преобразования переменного напряжения в постоянное.

Основными элементами выпрямителя являются трансформатор и вентили, с помощью которых обеспечивается одностороннее протекание тока в цепи нагрузки, в результате чего переменное напряжение преобразуется в пульсирующее.

Схемы выпрямителей могут быть однофазные и многофазные (чаще трехфазные), нулевые и мостовые, управляемые и неуправляемые. Характер процессов выпрямления зависит от схемы выпрямления и параметров цепей, с которыми он непосредственно связан. Выпрямитель называется неуправляемым, если в процессе его работы не регулируется выходное напряжение

Основные варианты построения схем неуправляемых выпрямителей приведены на рис.1.1

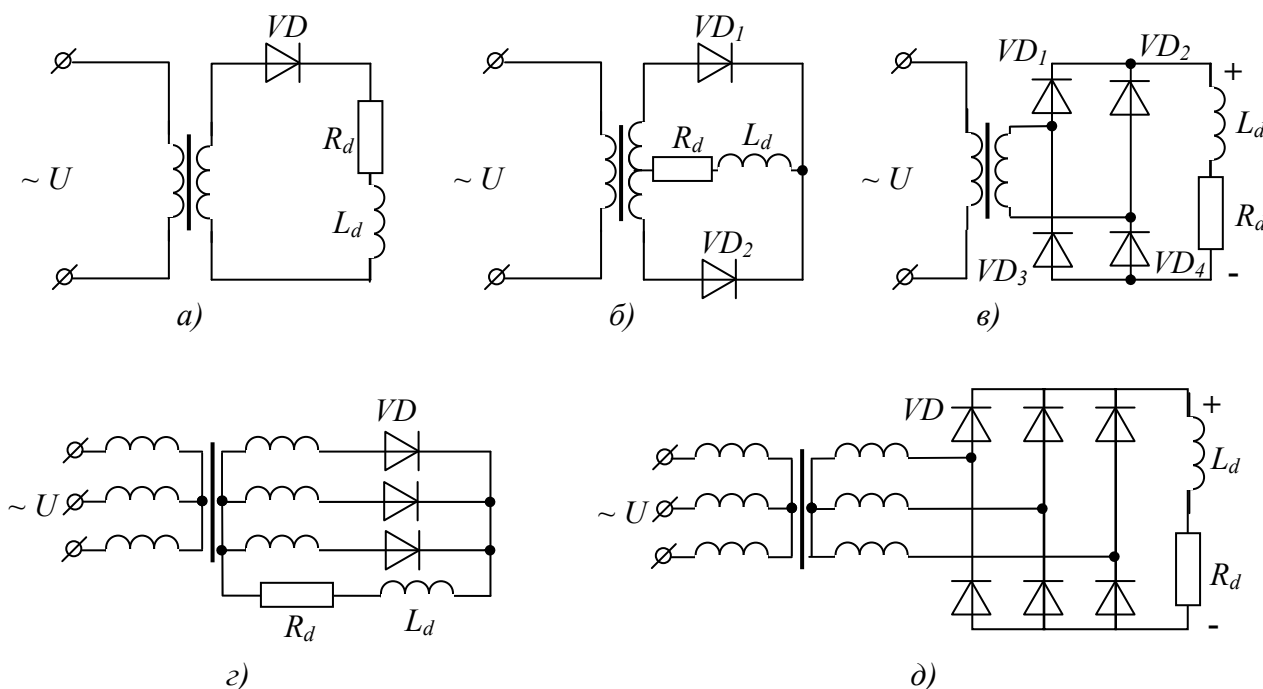


Рис. 1.1. Основные схемы неуправляемых выпрямителей

a – однофазная однополупериодная; b – однофазная с нулевым выводом;
 $в$ – однофазная мостовая; $г$ – трехфазная нулевая схема; $д$ - трехфазная мостовая схема

Основными величинами, характеризующими эксплуатационные свойства выпрямителей, являются:

- 1) средние значения выпрямленного напряжения и тока U_d, I_d ;
- 2) коэффициент полезного действия η ;
- 3) коэффициент мощности χ ;
- 4) внешняя характеристика, представляющая зависимость напряжения на выходе от тока нагрузки: $U_d = f(I_d)$;
- 5) коэффициент пульсаций, представляющий отношение амплитуды данной гармонической составляющей выпрямленного напряжения (тока) к среднему значению выпрямленного напряжения (тока):

$$\varepsilon = \frac{U_{(q)m}}{U_d}$$

- 6) коэффициент искажения, равный отношению действующих значений основной гармоники и полного тока первичной обмотки трансформатора:

$$\nu = \frac{I_1}{\sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}}$$

Энергетические характеристики выпрямителей определяются коэффициентами преобразования по току и напряжению:

$$k_I = \frac{I_{\text{фд}}}{I_d}, \quad k_U = \frac{U_{\text{фд}}}{U_d}; \quad (1.1)$$

где $I_{\text{фд}}, U_{\text{фд}}$ - действующие значения фазного тока и напряжения; I_d, U_d - постоянные составляющие тока и напряжения нагрузки.

Интегральным значением степени использования мощности питающего трансформатора является коэффициент использования:

$$k_{uc} = \frac{1}{m k_I k_U} \quad (1.2)$$

где m – число фаз питающего трансформатора.

Величина коэффициентов k_I, k_U, k_{uc} определяется схемой выпрямления и величиной нагрузки, сказывающейся на значении углов коммутации.

II. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лицевая панель лабораторного стенда приведена на рис.1.2

Лабораторная установка позволяет исследовать все основные варианты схем неуправляемых выпрямителей.

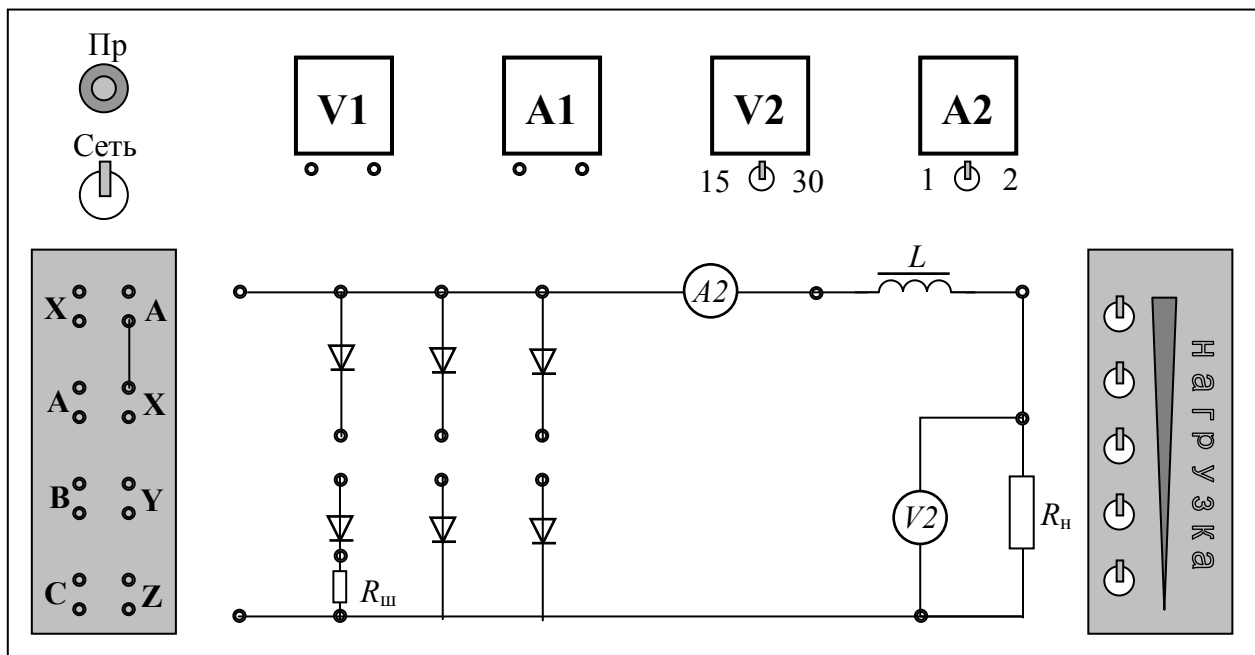


Рис.1.2 Лицевая панель лабораторного стенда

В качестве источника питания лабораторного стенда использован трехфазный трансформатор, начала и концы вторичных обмоток которого выведены на лицевую панель: клеммы А – X, В – Y, С – Z.

Лабораторная установка укомплектована набором из шести вентилях V1-V6, позволяющим с помощью соединительных проводов собирать различные схемы неуправляемых выпрямителей.

Для измерения величин электрических сигналов лабораторный стенд оснащен измерительными приборами: вольтметром и амперметром переменного тока V1 и A1 соответственно; вольтметром и амперметром постоянного тока V2 и A2 соответственно. Приборы переменного тока служат для измерения действующих значений фазного напряжения и тока вторичной обмотки трансформатора $U_{фд}$, $I_{фд}$. С помощью приборов постоянного тока производится измерение средних значений напряжения и тока на выходе выпрямителя U_d , I_d . Приборы постоянного тока уже включены в электрическую цепь, а приборы переменного тока включаются в электрическую цепь с помощью соединительных проводов.

Для моделирования нагрузки выпрямителя лабораторный стенд оснащен активным сопротивлением R_n , изменять величину которого можно дискретно от нуля до максимума с помощью пяти переключателей; и индуктивным сопротивлением L , величину которого также можно дискретно изменять. Для этого на лицевую панель стенда от катушки выведены

специальные отпайки, соответствующее подключение которых в электрическую цепь позволяет изменять величину индуктивного сопротивления от нуля до максимума.

Для снятия формы тока, протекающего через вентиль, в цепь одного из диодов включено шунтирующее сопротивление $R_{ш}$.

III. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с устройством лабораторного стенда. Перед началом работы установить следующие исходные положения переключателей:
 - переключатели нагрузки R_H установить в крайнее нижнее положение;
 - тумблер “Сеть” – в положение “Выкл”.
2. При помощи соединительных проводов собрать исследуемую схему (рис. 1.1, а - д).
3. После проверки схемы преподавателем включить питание стенда тумблером “Сеть”.
4. Для всех исследуемых схем при помощи электронно-лучевого осциллографа снять временные диаграммы рабочего режима при работе выпрямителя на активную нагрузку. Для получения нулевой величины индуктивного сопротивления L ее следует закоротить с помощью проводника. Снимаются следующие осциллограммы рабочего режима: напряжения вторичной обмотки трансформатора $U_{фд}$, напряжение U_V и ток I_V на вентилях, напряжение U_d и ток I_d нагрузки. Для трехфазных схем выпрямителей также снять осциллограммы рабочего режима при работе выпрямителя на активно-индуктивную нагрузку. Величина активного сопротивления при проведении опытов устанавливается в среднее значение (три включенных тумблера).
5. Для всех исследуемых схем снять энергетические характеристики для режима активной нагрузки. Изменяя с помощью тумблеров величину нагрузки от нуля до максимальной, снимаются показания всех измерительных приборов. Результаты измерений рекомендуется оформить в виде таблицы 1.

Таблица 1

№	Экспериментальные данные				Расчетные данные		
	$U_{фд}$, В	$I_{фд}$, В	U_d , В	I_d , А	k_I	k_U	$k_{ис}$
1							
2							
3							
4							
5							

IV. ПОРЯДОК ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

1. С помощью снятых осциллограмм построить временные диаграммы рабочего режима каждой исследуемой схемы. Пример временных диаграмм рабочего режима однофазной однополупериодной схемы выпрямления при работе на активную нагрузку приведен на рис.1.3.

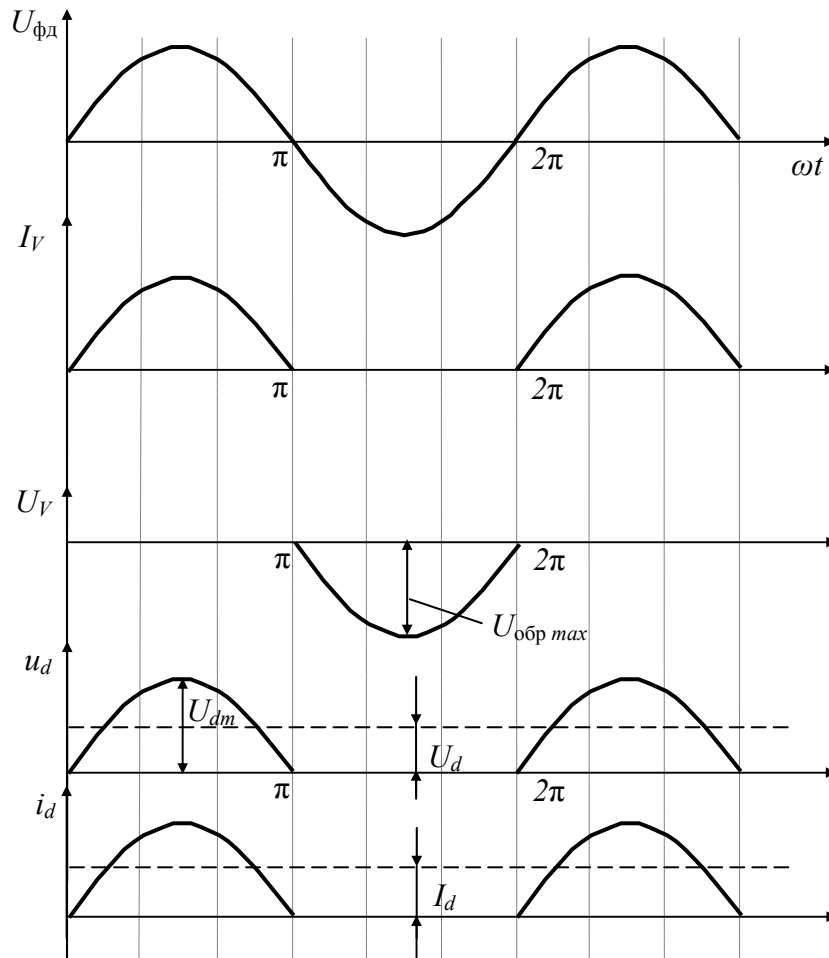


Рис.1.3. Временные диаграммы напряжений и токов однофазного однополупериодного выпрямителя

2. Рассчитать энергетические характеристики выпрямителей: коэффициенты преобразования схемы по току k_I , напряжению k_U , использования мощности питающего трансформатора $k_{ис}$, и построить их графические зависимости от тока нагрузки I_d .

Значения расчетных коэффициентов определяются по выражениям (1.1)-(1.2).

3. Построить внешнюю характеристику выпрямителя $U_d = f(I_d)$.

V. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Цель работы.
2. Схемы исследуемых выпрямителей.
3. Заполненная таблица 1 и построенные характеристики k_I , k_U , $k_{ис} = f(I_d)$ и $U_d = f(I_d)$ для режима работы выпрямителя на активную нагрузку.
4. Осциллограммы токов и напряжений для всех исследуемых режимов.
5. Выводы по проделанной работе.

VI. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие общепринятые допущения принимают при анализе электромагнитных процессов в выпрямителе и почему?
2. От каких параметров зависит длительность коммутационных процессов в схемах выпрямителей?
3. От каких параметров зависят коэффициенты преобразования выпрямителя по току и напряжению и коэффициент использования мощности трансформатора?
4. Как влияет угол коммутации на использование мощности питающего трансформатора?
5. Как влияет характер нагрузки на форму выпрямленного и фазных токов трансформатора?
6. Почему внешняя характеристика выпрямителя имеет падающий характер?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Цель работы: изучение принципов действия и режимов работы управляемых выпрямителей.

I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Выпрямитель называется управляемым, если он обеспечивает регулирование выходного напряжения в заданных пределах. На практике наибольшее распространение получили управляемые выпрямители с непосредственным воздействием на вентильные элементы схемы. В качестве управляемых вентилях в схемах используются тиристоры. Простейшей

схемой управляемого выпрямителя является однофазная однополупериодная схема (рис.2.1 а).

При фазовом управлении на тиристор подается управляющий импульс, сдвинутый относительно проводящего полупериода напряжения сети на угол α . Запирание тиристора при принятых условиях происходит естественным образом в конце полупериода. В первом приближении можно пренебречь параметрами трансформатора x_a, r_a , что дает возможность учитывать только вынужденные составляющие в кривой тока. Для идеальных тиристоров временная диаграмма работы схемы показана на рис. 2.1 б. Среднее значение напряжения на нагрузке R_H в зависимости от α равно:

$$U_{cp} = U_d = \frac{2}{T} \int_{\alpha}^{\pi} U_m \sin \omega t \cdot dt = \frac{U_m}{2\pi} (-\cos \omega t) \Big|_{\alpha}^{\pi} = \frac{U_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha), \quad (2.1)$$

где $\omega = 2\pi f$ круговая частота переменного тока питающей сети.

На нагрузке активного характера форма тока повторяет форму напряжения, поэтому:

$$I_{cp} = I_d = \frac{U_m}{2\pi R_H} (1 + \cos \alpha). \quad (2.2)$$

Таким образом, при фазовом управлении, интегральные значения тока и напряжения нагрузки тиристорного регулятора являются функциями угла управления α .

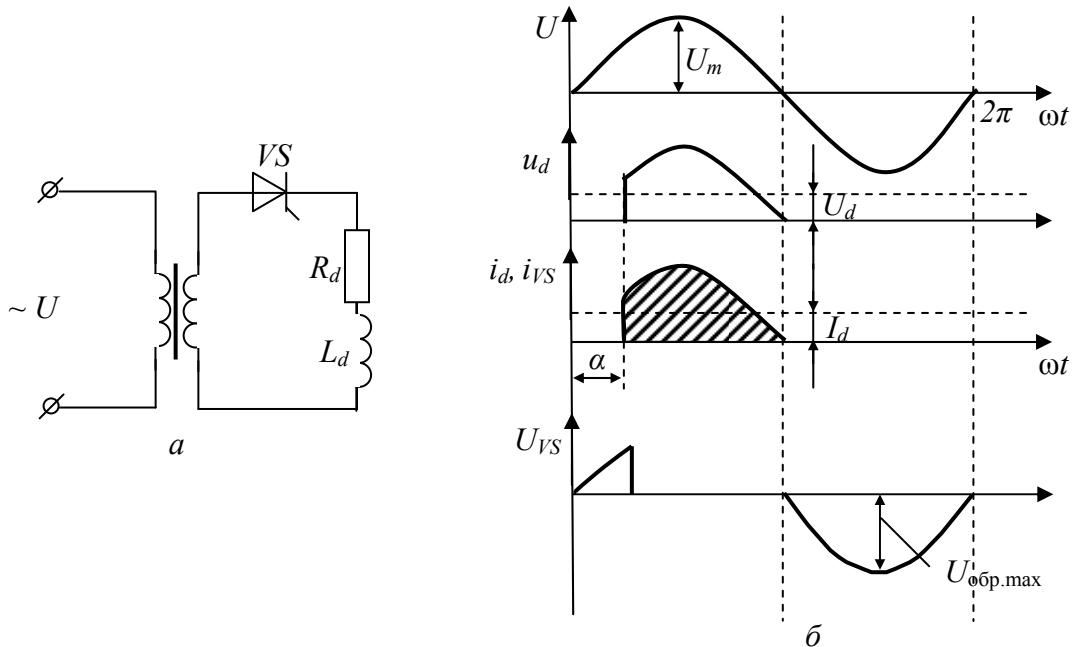


Рис. 2.1. Однополупериодный управляемый выпрямитель с активной нагрузкой
а — эквивалентная схема; б — временные диаграммы напряжений и токов;

II. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лицевая панель лабораторной установки приведена на рис.2.2

Лабораторная установка позволяет исследовать все основные варианты схем однофазных управляемых выпрямителей.

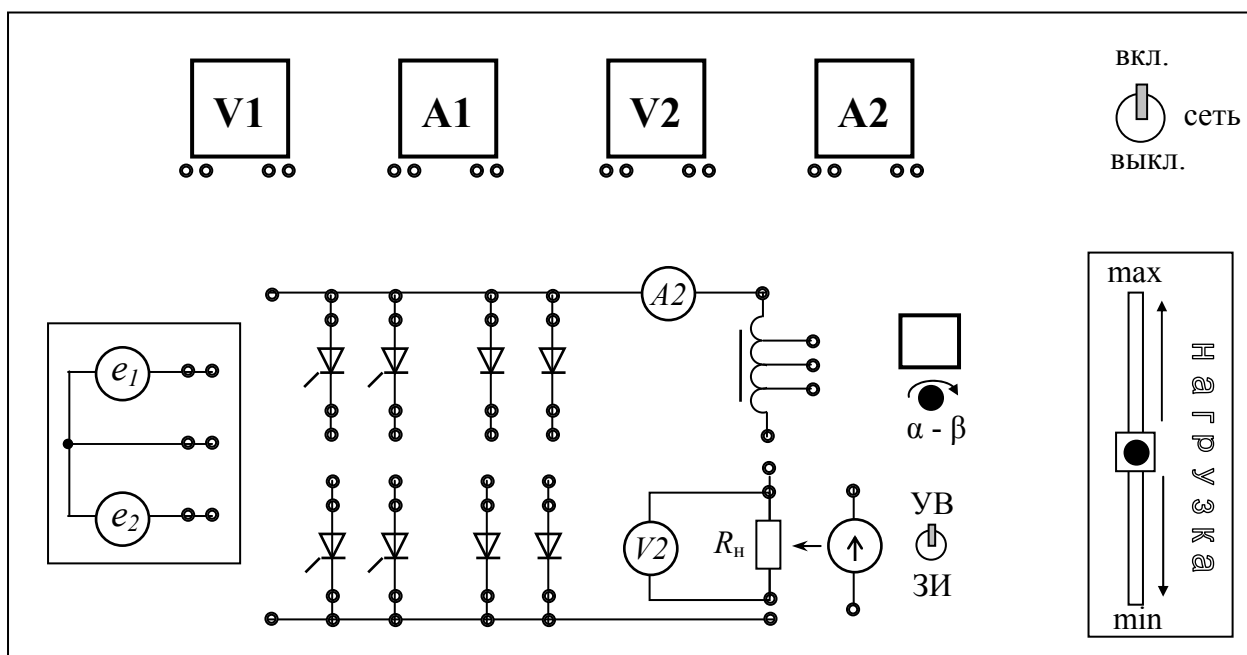


Рис.2.2 Лицевая панель лабораторного стенда

Источником питания лабораторной установки служит однофазный трансформатор с двумя вторичными обмотками, создающими две одинаковые по величине и противоположные по направлению ЭДС e_1 и e_2 , имеющих общую нулевую точку.

Стенд содержит четыре тиристора и четыре диода, соответствующее подключение которых позволяет собирать различные схемы выпрямителей.

Для измерения величин электрических сигналов лабораторный стенд оснащен измерительными приборами: вольтметром и амперметром переменного тока V1, A1 и вольтметром и амперметром постоянного тока V2, A2 соответственно. Приборы переменного тока служат для измерения действующих значений фазного напряжения и тока вторичной обмотки трансформатора $U_{фд}$, $I_{фд}$. С помощью приборов постоянного тока производится измерение средних значений напряжения и тока на выходе выпрямителя U_d , I_d . Приборы постоянного тока уже включены в электрическую цепь, а приборы переменного тока включаются в электрическую цепь с помощью соединительных проводов.

В качестве нагрузки выпрямителя в лабораторной установке применены регулируемые активное R_n и индуктивное L сопротивления. Величину активного сопротивления R_n , можно плавно изменять от

минимума до максимума с помощью движка реостата, выведенного на лицевую панель. Величину индуктивного сопротивления L можно изменять только дискретно при помощи специальных отпаяк, подключение которых в электрическую цепь производится при помощи соединительных проводов.

Лабораторная установка позволяет исследовать режимы работы управляемых выпрямителей и зависимых инверторов. На лицевую панель стенда выведен переключатель режима работы лабораторной установки, соответствующий следующим режимам: УВ – управляемый выпрямитель, ЗИ – зависимый инвертор.

Для изменения углов управления тиристорами α лабораторная установка оснащена фазосдвигающим устройством вертикального типа, движок потенциометра которой выведен на лицевую панель. Величина углов управления фиксируется при помощи специального вольтметра, шкала которого отградуирована в градусах.

Ш. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с устройством лабораторного стенда. Перед началом работы установить следующие исходные положения переключателей:

- тумблер “Сеть” – в положение “Выкл”;
- тумблер режима работы - в положение «УВ»;
- движок реостата нагрузки R_n установить в крайнее нижнее положение;
- движок потенциометра углов управления тиристорами α в крайнее левое положение.

2. При помощи соединительных проводов собрать исследуемую схему (рис. 2.3, а - д).

3. После проверки схемы преподавателем включить питание стенда тумблером “Сеть”.

4. Для всех исследуемых схем при помощи электронно-лучевого осциллографа снять временные диаграммы рабочего режима при работе выпрямителя на активную нагрузку при трех значениях углов управления тиристорами $\alpha = 0, 45, 90$ градусов. Для получения нулевой величины индуктивного сопротивления L ее следует замкнуть с помощью проводника. Снимаются следующие осциллограммы рабочего режима: напряжения вторичной обмотки трансформатора $U_{фд}$, напряжение U_V и ток I_V на вентиллях, напряжение U_d и ток I_d нагрузки. Величина активного сопротивления при проведении опытов устанавливается в среднее значение (движок реостата посередине).

5. Для всех исследуемых схем снять энергетические характеристики для режима активной нагрузки при трех значениях угла управления тиристорами $\alpha = 0, 45, 90$ градусов. Изменяя с помощью движка реостата величину нагрузки от минимума до максимума, снимаются показания всех

измерительных приборов. Результаты измерений рекомендуется оформить в виде таблицы 2.

Таблица 2

α , град.	№ опыта	Экспериментальные данные				Расчетные данные		
		$U_{фд}$, В	$I_{фд}$, В	U_d , В	I_d , А	k_I	k_U	$k_{ис}$
0	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
45	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
90	1							
	2							
	3							
	4							
	5							

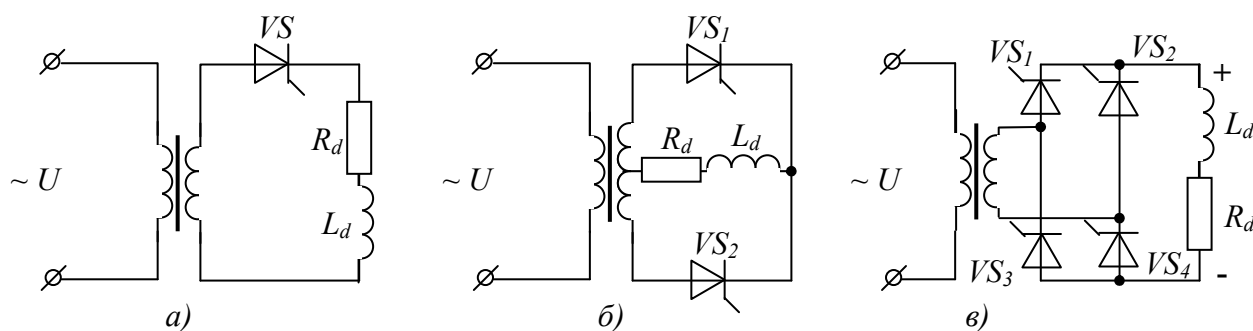


Рис. 2.3.. Основные схемы однофазных управляемых выпрямителей
 а – однофазная однополупериодная; б – однофазная с нулевым выводом;
 в – однофазная мостовая;

6. Для всех исследуемых схем снять регулировочную характеристику $U_d = f(I_d)$ для режима активной нагрузки. Величина активного сопротивления при проведении опыта устанавливается в среднее значение (движок реостата посередине). Изменяя с помощью системы управления угол включения тиристоров α от 0 до значения, при котором величина U_d обратится в нуль, снимаются показания измерительных приборов. Результаты измерений рекомендуется оформить в виде таблицы 3.

Таблица 3

α , град	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
I_d , А													
U_d , В													

IV. ПОРЯДОК ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

1. С помощью снятых осциллограмм построить временные диаграммы рабочего режима каждой исследуемой схемы. Пример временных диаграмм рабочего режима однофазной однополупериодной схемы выпрямления при работе на активную нагрузку приведен на рис.2.1 - б.

2. Рассчитать энергетические характеристики выпрямителей: коэффициенты преобразования схемы по току k_I , напряжению k_U , использования мощности питающего трансформатора $k_{ис}$, и построить их графические зависимости от тока нагрузки I_d для различных углов управления тиристорами.

Значения расчетных коэффициентов определяются по выражениям (1.1)-(1.2).

3. Построить семейство внешних характеристик выпрямителя $U_d = f(I_d)$ при различных значениях α .

4. Построить регулировочную характеристику выпрямителя $U_d = f(\alpha)$.

V. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Цель работы.
2. Схемы исследуемых выпрямителей.
3. Заполненные таблицы 2,3 и построенные характеристики k_I , k_U , $k_{ис} = f(I_d)$, $U_d = f(I_d)$ и $U_d = f(\alpha)$ для режима работы выпрямителя на активную нагрузку.
4. Осциллограммы токов и напряжений для всех исследуемых режимов.
5. Выводы по проделанной работе.

VI. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. По осциллограммам токов и напряжений определить угол управления α ; длительность проводящего состояния вентиля λ ; угол коммутации γ .

2. За счет чего происходит периодическое включение и выключение вентиля в выпрямителе ?

3. Принцип действия управляемого выпрямителя ?

4. Каков диапазон изменения углов управления вентильного преобразователя, работающего в выпрямительном режиме ?

5. Каким образом углы управления тиристорами выпрямителя влияют на его энергетические характеристики ?

6. Пояснить зависимость выпрямленного напряжения от тока нагрузки. Как изменяется внешняя характеристика выпрямителя при увеличении углов управления вентилями ?
7. Объяснить ухудшение коэффициента мощности управляемого выпрямителя с увеличением угла управления α .

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ИССЛЕДОВАНИЕ ТИРИСТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы: Изучить функции тиристорного ключа как регулятора переменного тока. Ознакомиться с энергетическими характеристиками регулятора, методами их расчета и исследования, исследовать влияние тиристорной нагрузки на питающую сеть

I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Основными факторами, определяющими работу фазорегулируемых тиристорных устройств, являются схемы вентильного преобразователя и сети переменного тока, а так же характер электрических нагрузок.

Наиболее распространенной схемой вентильного регулятора в сети переменного тока является симметричная биполярная тиристорная ячейка. Сети переменного тока обычно выполняются либо однофазными, либо трехфазными трех- или четырехпроводными. Типичным характером нагрузок является активная или активно-индуктивная нагрузка с заданным коэффициентом мощности.

Рассмотрим работу симметричной биполярной тиристорной ячейки в однофазной сети переменного тока на нагрузку активного характера. Схема и временные диаграммы работы рассматриваемого устройства приведены на рис. 3.1.

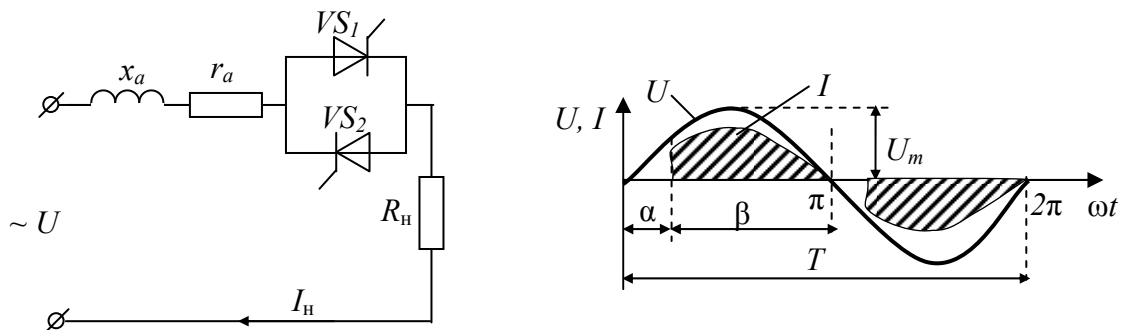


Рис. 3.1. Однофазный регулятор переменного тока с активной нагрузкой

При фазовом управлении на тиристор подается управляющий импульс, сдвинутый относительно проводящего полупериода напряжения сети на угол α . Запирание тиристора при принятых условиях происходит естественным образом в конце полупериода.

В цепях с активно-индуктивной нагрузкой при фазовом регулировании тиристорного коммутатора в индуктивности нагрузки возникает ЭДС самоиндукции, задерживающая нарастание и спадание тока. Форма тока в этом случае не повторяет форму приложенного напряжения и ток через тиристор прекращается с запаздыванием по отношению к изменению знака питающего напряжения. Схема тиристорного коммутатора, состоящего из двух встречно-параллельно включенных тиристоров VS_1 , VS_2 , и примерный вид кривых тока и напряжения для этого случая показан на рис.3.2.

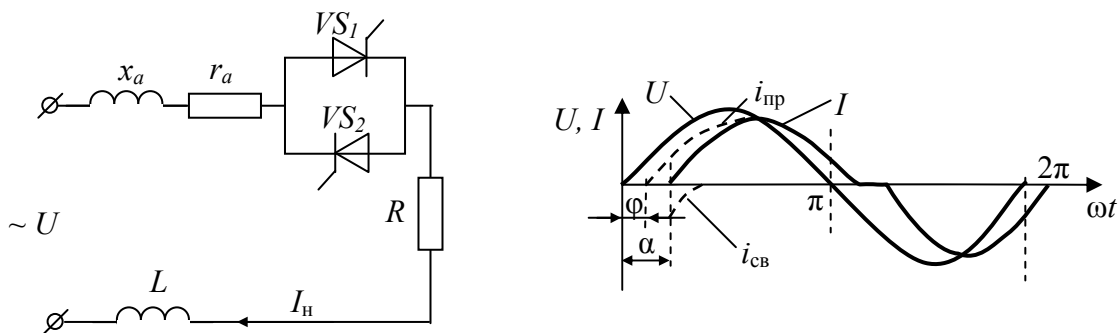


Рис. 3.2. Однофазный регулятор переменного тока с активно-индуктивной нагрузкой

При работе этой схемы может быть три характерных режима:

1. Импульсы управления поступают на тиристоры в момент $\alpha = \varphi$, где угол φ характеризует отставание тока на активно-индуктивной нагрузке от напряжения. В этом случае свободная составляющая тока $i_{св}$ отсутствует и ток определяется вынужденной составляющей $i_{пр}$. Угол проводимости λ в этом случае $\lambda = \pi$, через нагрузку протекает синусоидальный ток, величина которого зависит от питающего напряжения и полного сопротивления нагрузки.

2. Если $\alpha < \alpha_{кр} < \varphi$ и импульсы управления короткие, то первый тиристор включается и его угол проводимости становится $\lambda = \pi$. Второй тиристор не сможет включиться, так как два встречно соединенных тиристора не могут проводить ток одновременно. Следовательно, при коротких управляющих сигналах, ток в цепи нагрузки однополярный. Практического применения последний режим работы биполярной тиристорной ячейки не имеет.

3. При $\alpha > \varphi$ тиристоры работают поочередно, ток в нагрузке регулируется и представляет собой несинусоидальную прерывистую кривую.

К основным энергетическим характеристикам тиристорного регулятора относятся зависимости действующего значения тока от величины углов управления α , интегральный коэффициент мощности χ , гармонический состав тока и напряжения, величина и фаза основной гармонической составляющей тока.

Для активного характера нагрузки регулятора среднее I_{cp} и действующее I_d значение тока определяются выражениями:

$$\begin{aligned} I_{cp} &= \frac{E_m}{\pi \cdot R} (1 + \cos \alpha); \\ I_d &= \frac{E_m}{R\sqrt{2\pi}} \sqrt{\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2}}, \end{aligned} \quad (3.1)$$

где E_m – амплитудное значение питающей ЭДС; R – сопротивление нагрузки; α – угол управления тиристорами.

Для нагрузки активно-индуктивного характера кривая тока описывается выражением:

$$i = \frac{E_m}{R} \cos \varphi \left[\sin(\omega t - \varphi) - \sin(\alpha - \varphi) e^{-\frac{\omega t - \alpha}{Tg\varphi}} \right] \quad (3.2)$$

где φ – фазовый угол сдвига тока относительно напряжения. Расчет интегральных значений I_{cp} и I_d для этого случая целесообразно проводить с использованием ПЭВМ.

В качестве экспериментального значения действующего тока следует принимать показания амперметра, включенного в цепь нагрузки.

Несинусоидальный ток тиристорного регулятора определяет специфические особенности в оценке потребляемой мощности. Действующее значение несинусоидального тока можно представить в виде:

$$I_d = \sqrt{I_{1d}^2 + \sum_k I_{kd}^2} \quad (3.3)$$

где I_{1d} , I_{kd} – действующие значения тока основной и высших гармонических составляющих.

Полная мощность, потребляемая нагрузкой:

$$S = E_d \sqrt{I_{1d}^2 + \sum_k I_{kd}^2} \quad (3.4)$$

Если основную гармонику тока выразить через активную и реактивную составляющие, то выражение (3.4) примет вид:

$$S_S = E_d \sqrt{(I_{1d} \cos \varphi_1)^2 + (I_{1d} \sin \varphi_1)^2 + \sum_k I_{kd}^2} = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2 + N^2} \quad (3.5)$$

где P_1 , Q_1 – активная и реактивная мощность основных гармонических составляющих тока и напряжения, $N = E_d \sqrt{\sum_k I_{kd}^2}$ – мощность искажения,

определяемая высшими гармоническими составляющими несинусоидального тока.

Отсюда интегральное значение коэффициента мощности может быть представлено как:

$$\chi = \frac{P}{S} = \frac{E_d I_{1d} \cos \varphi_1}{E_d I_d} = \frac{I_{1d}}{I_d} \cos \varphi_1 \quad (3.6)$$

С учетом искажений напряжения питающей сети:

$$\chi = \frac{\cos \varphi_1 \left(1 + \sum_k \frac{P_k}{P_1} \right)}{\sqrt{1 + k_{rI}^2 + k_{rU}^2 + k_{rI}^2 k_{rU}^2}} \quad (3.7)$$

где P_k – активная мощность k – ой гармоники; K_{rI} , K_{rU} – коэффициенты гармоник тока и напряжения соответственно.

Таким образом, фазовое регулирование тиристоров вносит существенные особенности в определении энергетических характеристик тиристорных регуляторов.

II. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с устройством лабораторного стенда. Схема лабораторной установки приведена на рис.2.2 (лабораторная работа №2). Там же дано ее описание. Перед началом работы установить следующие исходные положения переключателей:

- тумблер “Сеть” – в положение “Выкл”;
- тумблер режима работы - в положение «УВ»;
- движок реостата нагрузки R_n установить в крайнее нижнее положение;
- движок потенциометра углов управления тиристорами α в крайнее левое положение.

2. При помощи соединительных проводов собрать исследуемую схему (рис. 3.1).

3. После проверки схемы преподавателем включить питание стенда тумблером “Сеть”.

4. С помощью электронно-лучевого осциллографа снять форму кривых: тока нагрузки, напряжения на нагрузке и на вентилях для угла управления тиристорами $0 < \alpha < \pi$ ($\alpha = 0, 30, 60, 90, 120^\circ$). Характер нагрузки – активная, номинальная по величине (движок реостата в среднем положении).

5. Определить закон регулирования действующего значения тока в цепи в функции от угла управления α :

$$I_d = f(\alpha)$$

Нагрузка в этом опыте устанавливается активная, номинальная по величине. Углы управления тиристорами задаются с помощью системы фазового регулирования вертикального типа и проверяются с помощью

осциллографа (определив предварительно цену деления сетки на экране прибора - в градусах или радианах).

6. Исследование работы регулятора на активно-индуктивную нагрузку. При помощи соединительных проводов собрать исследуемую схему (рис. 3.2). Определить величину $\alpha_{кр}$ для номинальной нагрузки. Методика определения $\alpha_{кр}$ следующая. Вначале, с помощью системы управления тиристорами подбирается такой угол управления α , чтобы ток в нагрузке имел синусоидальную форму. Затем переключают нагрузку на чисто активную. Ток, при этом, будет представлять собой часть синусоиды с углом управления $\alpha = \varphi = \alpha_{кр}$. Делается вывод о границах углов α , соответствующих нормальному режиму работы регулятора. Снимаются форма тока нагрузки, напряжение на нагрузке и на вентиллях для произвольного значения угла управления.

7. Определить закон регулирования действующего значения тока в цепи активно-индуктивной нагрузки в функции от угла управления $I_d = f(\alpha)$. По результатам измерений построить график регулировочной характеристики. Снимается 4-5 осциллограмм тока нагрузки во всем диапазоне изменения углов α .

III. ПОРЯДОК ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Проведенные экспериментальные исследования являются исходными для ряда расчетов и теоретического анализа особенностей работы тиристорного ключа.

1. Определение мощности потерь на тиристоре

Полученные кривые тока нагрузки, а следовательно, и тока тиристора позволяют определить значение мощности основных потерь ΔP на тиристоре.

Для определения ΔP целесообразно воспользоваться графоаналитическим методом расчета. Для этого необходимо в масштабе представить кривую тока, протекающего через тиристор в функции времени (см рис.3.3). При этом следует иметь ввиду, что частота сети 50 Гц, а амплитудное значение тока можно определить по осциллографу (предварительно определив вертикальный масштаб кривой).

Вольт-амперная характеристика тиристорov может быть аппроксимирована по известным значениям $U_0 = 1,5$ В, $R_d = 0,05$ Ом. Тогда для каждого мгновенного значения тока, протекающего через тиристор i_j , можно определить падение напряжения U_j и мгновенное значение $\Delta P = U_j i_j$. Таким образом строится графическая зависимость $\Delta P(t)$, которая затем эквивалентруется прямоугольным импульсом мощности потерь той же амплитуды. Эквивалентный импульс мощности потерь должен иметь ту же амплитуду ΔP_{max} и площадь S .

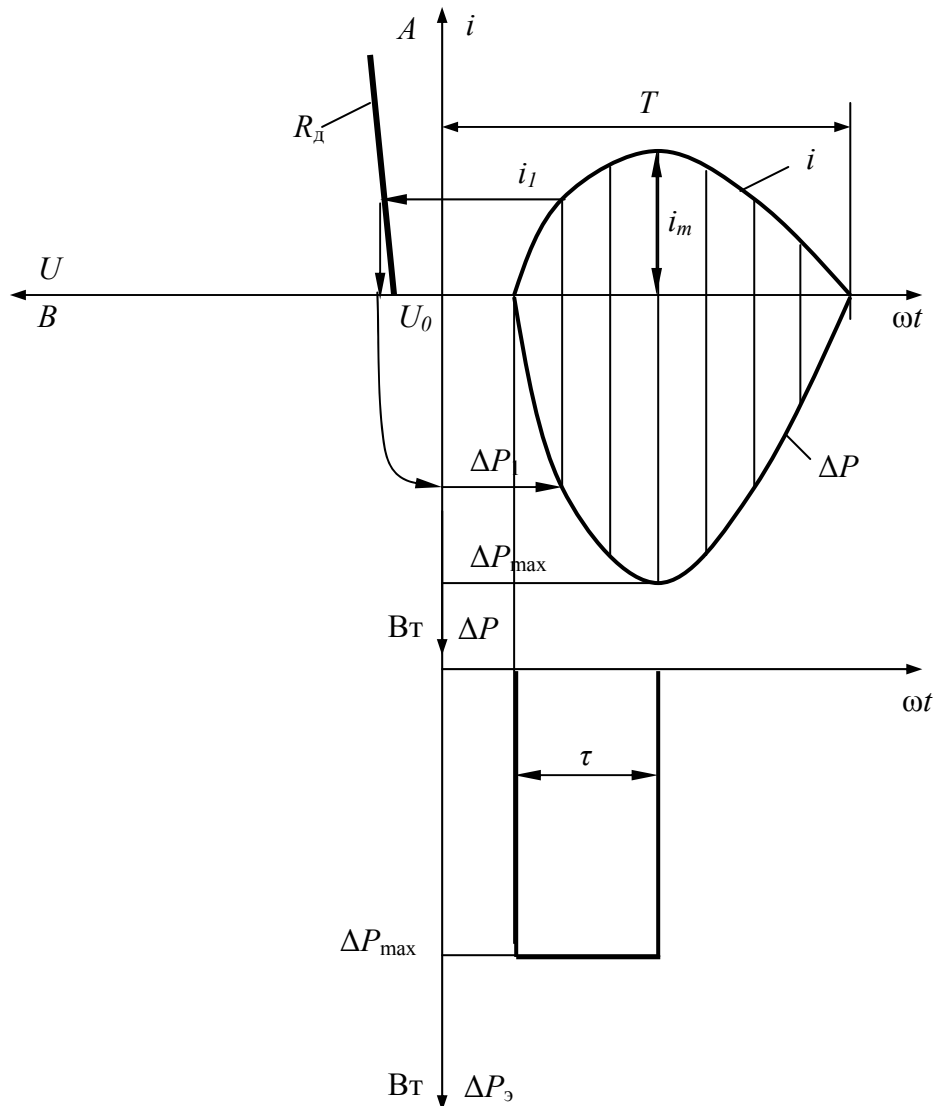


Рис.3.3. Графики для расчета мощности потерь на тиристоре

2. Провести исследование гармонического состава кривых тока нагрузки, полученных в п.6 экспериментальной части.

Разложение имеющихся кривых тока в ряд Фурье целесообразно проводить графоаналитическим методом. При этом следует иметь ввиду, что при симметричном управлении тиристорами, кривая тока нагрузки также симметрична, поэтому ее спектр не содержит постоянной составляющей и четных гармоник. По этой же причине о гармоническом составе тока можно судить, рассматривая кривую только на одном полупериоде от 0 до π . Тогда методика графического разложения в гармонический ряд сводится к следующим действиям.

Период функции $i(\omega t)$ разбивают на n равных частей $\Delta\omega t = \frac{2\pi}{n}$.

Обычно число n выбирают не более 20. С учетом отмеченных особенностей кривой фазного тока значения ординат $i(\omega t)$ удобно представить в виде таблицы:

p	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$i(\omega t)$	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	i_6	i_7	i_8	i_9	i_{10}

Амплитуда синусной составляющей первой гармоники

$$I'_{m1} = \frac{4}{n} \sum_{p=1}^{n/2} i(\omega t) \sin_p \omega t ;$$

$$I'_{m1} = \frac{4}{20} (i_1 \sin 9^\circ + i_2 \sin 27^\circ + i_3 \sin 45^\circ + i_4 \sin 63^\circ + i_5 \sin 81^\circ +$$

$$+ i_6 \sin 99^\circ + i_7 \sin 117^\circ + i_8 \sin 135^\circ + i_9 \sin 153^\circ + i_{10} \sin 171^\circ)$$

Амплитуда косинусной составляющей первой гармоники:

$$I''_{m1} = \frac{4}{n} \sum_{p=1}^{n/2} i(\omega t) \cos_p \omega t ;$$

$$I''_{m1} = \frac{4}{20} (i_1 \cos 9^\circ + i_2 \cos 27^\circ + i_3 \cos 45^\circ + i_4 \cos 63^\circ + i_5 \cos 81^\circ +$$

$$+ i_6 \cos 99^\circ + i_7 \cos 117^\circ + i_8 \cos 135^\circ + i_9 \cos 153^\circ + i_{10} \cos 171^\circ)$$

Амплитуда первой гармоники тока:

$$I_{m1} = \sqrt{(I'_{m1})^2 + (I''_{m1})^2} ,$$

Значение угла φ_1 , на который начало первой гармоники тока нагрузки смещено по отношению к началу кривой $i(\omega t)$.

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{I''_{m1}}{I'_{m1}}$$

Амплитуда синусной составляющей третьей гармоники:

$$I'_{m3} = \frac{4}{20} \sum_{p=1}^{10} i(\omega t) \sin_p 3\omega t$$

косинусной составляющей:

$$I''_{m3} = \frac{1}{5} \sum_{p=1}^{10} i(\omega t) \cos_p 3\omega t$$

Амплитуда третьей гармоники:

$$I_{m3} = \sqrt{(I'_{m3})^2 + (I''_{m3})^2}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_3 = \frac{I''_{m3}}{I'_{m3}}$$

При определении угла φ знак $\operatorname{tg}\varphi$ указывает на сдвиг соответствующей гармоники относительно начала исследуемой кривой $i(\omega t)$. Отрицательное значение $\operatorname{tg}\varphi$ указывает на отставание соответствующей гармоники, а положительное – на опережение кривой $i(\omega t)$.

Гармонический анализ исследуемой кривой следует проводить до седьмой гармоники (1,3,5,7). Тогда исследуемая кривая $i(\omega t)$ может быть определена в виде ряда:

$$i(\omega t) = I_{m1} \sin(\omega t + \varphi_1) + I_{m3} \sin(3\omega t + \varphi_3) + I_{m5} \sin(5\omega t + \varphi_5) + I_{m7} \sin(7\omega t + \varphi_7).$$

Если точность представления исследуемой кривой первыми четырьмя членами гармонического ряда не достаточна, ряд может быть продолжен до необходимого номера высшей гармоники k .

Все расчеты по определению гармонического состава целесообразно проводить с помощью ПЭВМ.

По известному гармоническому составу тока нагрузки можно определить величину высших гармоник в напряжении питающего источника:

$$U_k = i_k \cdot Z_{ak} = i_k \sqrt{(k\omega L_a)^2 + r_a^2},$$

где i_k , U_k - величина k -й гармоники тока и напряжения соответственно.

Примечание. Значения x_a и r_a экспериментального стенда принимаются равными соответственно 0.1 Ом, 0.04 Ом.

Степень искажения тока нагрузки может быть оценена по коэффициенту гармоник, который определяется как отношение среднеквадратичной величины высших гармонических составляющих к первой гармонике тока:

$$K_{rI} = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^n I_{mj}^2}}{I_1}$$

По результатам исследований строится графическая зависимость $K_{rI} = f(\alpha)$.

По результатам экспериментальных исследований и их обработки делаются выводы.

3. Определение мощности, потребляемой вентильной нагрузкой.

По найденному гармоническому составу тока для конкретных значений углов управления α подсчитываются величина активной и реактивной мощностей, потребляемых по основной гармонике

$$P_1 = E_d I_{1д} \cos \varphi_1,$$

$$Q_1 = E_d I_{1д} \sin \varphi_1$$

и мощность искажений

$$N = E_d \sqrt{\sum_k I_{kd}^2}$$

Подсчитывается также мощность, потребляемая нагрузкой $S = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2 + N^2}$ и интегральный коэффициент мощности

$$\chi = \frac{I_{1д}}{I_d} \cos \varphi_1$$

Примечание. I_d определяется по регулировочной характеристике, снятой в п. 6 с использованием щитового измерительного прибора.

По результатам расчетов строятся графические зависимости $P_1, Q_1, N, \chi = f(\alpha)$
Делаются выводы.

V. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем отличие условий работы тиристорного коммутатора на активную и активно-индуктивную нагрузки ?
2. Что такое критический угол управления вентилями $\alpha_{кр}$ и от чего он зависит ?
3. Как подсчитать мощность потерь в тиристоре ΔP при произвольной форме протекающего через него тока ?
4. Какие гармоники входят в спектр тока тиристорного коммутатора с симметричным управлением ?
5. Как определить гармонический состав тока нагрузки тиристорного коммутатора ?
6. Каким образом искажение тока тиристорного коммутатора влияет на его нагрузку ?
7. Как определить коэффициент гармоник K_{r1} и что он характеризует ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ИССЛЕДОВАНИЕ СГЛАЖИВАЮЩИХ ФИЛЬТРОВ

Цель работы: изучение принципов действия сглаживающих фильтров и определение их основных характеристик

I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Сглаживающие фильтры применяются для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения до уровня, необходимого по условиям эксплуатации потребителя, получающего питание от выпрямителя.

При любой схеме выпрямления, помимо постоянной составляющей, в кривой выходного напряжения выпрямителя содержится переменная

составляющая, называемая пульсацией напряжения. Эта пульсация может быть столь значительной, что непосредственное питание нагрузки от выпрямителя возможно относительно редко: зарядка аккумуляторных батарей, питание электродвигателей, цепей сигнализации и т. д., т. е. там, где приемник энергии не чувствителен к переменной составляющей в кривой выпрямленного напряжения.

Для уменьшения переменной составляющей в кривой выпрямленного напряжения между выпрямителем и нагрузкой устанавливается специальное устройство, называемое сглаживающим фильтром (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Схема подключения сглаживающего фильтра

Сглаживающее действие фильтра характеризуется его коэффициентом сглаживания.

Коэффициент сглаживания фильтра по гармонике пульсаций q определяется как отношение коэффициента пульсаций на входе фильтра $K'_{n(q)}$ к коэффициенту пульсаций на его выходе $K''_{n(q)}$ для той же гармоники q :

$$K_{сз(q)} = \frac{K'_{n(q)}}{K''_{n(q)}} \quad (4.1)$$

Коэффициенты пульсаций обычно определяют по первой гармонике переменной составляющей выпрямленного напряжения, т.к. все высшие гармонические по своей абсолютной величине значительно меньше первой и ослабляются фильтром в большей степени. Поэтому коэффициент сглаживания оценивают также по низшей гармонике пульсаций выпрямленного напряжения, при этом индекс q при коэффициенте сглаживания опускают.

$$K'_n = \frac{U'_{(1)m}}{U_d + \Delta U}; \quad K''_n = \frac{U''_{(1)m}}{U_d}, \quad (4.2)$$

где $U'_{(1)m}$, $U''_{(1)m}$ – амплитуды основной гармоники пульсаций напряжения на входе и выходе сглаживающего фильтра;

U_d – постоянное (выпрямленное) напряжение на нагрузке;

ΔU – падение постоянного напряжения на сглаживающем фильтре;

$$K_{сз} = \frac{K'_n}{K''_n} = \frac{U'_{(1)m}}{U''_{(1)m}} \cdot \frac{U_d}{U_d + \Delta U} = \lambda K_\phi \quad (4.3)$$

где $\lambda = \frac{U_d}{U_d + \Delta U}$ – коэффициент передачи постоянной составляющей напряжения с входа фильтра на его выход, который характеризует потерю напряжения в фильтре;

$K_\phi = \frac{U'_{(1)m}}{U''_{(1)m}}$ – коэффициент фильтрации, который устанавливает, во сколько

раз уменьшается амплитуда пульсаций основной гармоники на выходе фильтра по сравнению с амплитудой пульсаций на его входе.

Сглаживающий фильтр представляет собой большое сопротивление для переменной составляющей тока. Поэтому переменная составляющая напряжения на входе значительно больше переменной составляющей на выходе сглаживающего фильтра ($U'_{(1)m} \gg U''_{(1)m}$). Наряду с ослаблением переменной составляющей напряжения, сглаживающий фильтр уменьшает его постоянную составляющую, т. е. $U_d < U_{d,вх}$, где $U_{d,вх}$ – постоянная составляющая на входе сглаживающего фильтра. Чем меньше степень уменьшения постоянной составляющей, т. е. чем ближе к единице отношение напряжений $U_d / U_{d,вх}$ при неизменном ослаблении переменной составляющей, тем качественнее фильтр. Для фильтров выпрямителей малой мощности величина коэффициента передачи обычно составляет $\lambda \approx 0,91-0,95$, для выпрямителей большой мощности $\lambda \approx 0,99$, для фильтров без потерь $\lambda = 1$.

Если пренебречь потерями в фильтре, то коэффициент сглаживания приближенно равен коэффициенту фильтрации:

$$K_{сг} = \frac{U'_{(1)m}}{U''_{(1)m}} = K_\phi . \quad (4.4)$$

В зависимости от того, на каких элементах они выполнены, сглаживающие фильтры можно условно разделить на две категории:

1. фильтры на резисторах и реактивных элементах (R, L, C – фильтры, рис. 4.2);
2. электронные фильтры.

Для маломощных потребителей простейшим фильтром является конденсатор, подключенный параллельно нагрузке (рис. 4.2, а).

Сглаживающее действие конденсатора, включённого параллельно нагрузке, обеспечивается за счет его периодического заряда (когда напряжение на выходе выпрямителя превышает напряжение на емкости) и разряда (когда напряжение на выходе выпрямителя меньше, чем на зажимах конденсатора). Для обеспечения значительного сглаживания пульсаций необходимо, чтобы емкостное сопротивление конденсатора было значительно меньше, чем сопротивление нагрузки. В этом случае можно

считать, что переменная составляющая тока вентиля равна току конденсатора, а постоянная составляющая – току нагрузки.

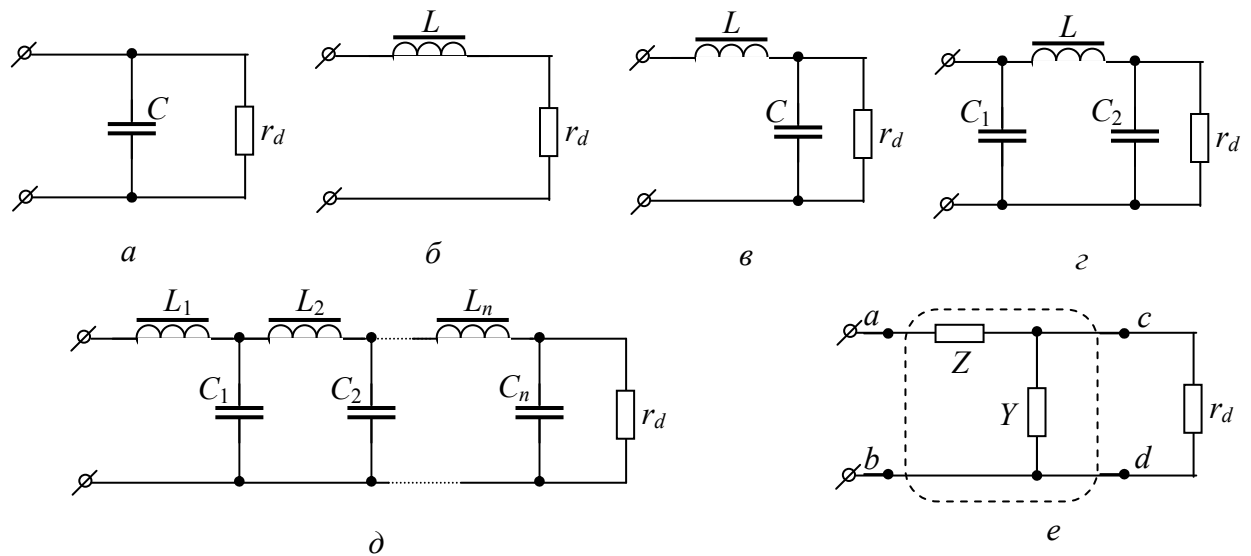


Рис. 4.2. Схемы R, L, C – фильтров:

a – емкостной фильтр; *б* – индуктивный фильтр; *в* – Γ -образный LC -фильтр;
г – многоступенчатый фильтр; *д* – Π -образный фильтр;
е – эквивалентная схема Γ -образного фильтра

Основными недостатками емкостных фильтров являются перегрузка источника питания большими токами зарядки конденсатора и уменьшение времени протекания тока через вентили, т. е. ухудшение режима работы источника питания и увеличение обратного напряжения до такой величины, при которой может возникнуть электрический пробой вентиля.

Для выпрямителей средней и большой мощности применяются индуктивные фильтры (рис. 4.2, *б*), обеспечивающие непрерывность тока в цепи нагрузки и благоприятный режим работы для вентиля выпрямителя.

Принцип действия индуктивных фильтров основан на создании в обмотках дросселя, включенных последовательно в цепь нагрузки, противоэдс самоиндукции, препятствующей изменению тока в цепи. Уменьшение относительных изменений переменной составляющей тока в цепи вызывает уменьшение относительных изменений пульсаций напряжения на зажимах нагрузки.

Для лучшего сглаживания пульсаций необходимо, чтобы индуктивное сопротивление дросселя было значительно больше, чем сопротивление нагрузки, т. е. чтобы выполнялось условие:

$$L_{др} \gg \frac{r_d}{p\omega}, \quad (4.5)$$

где p – коэффициент, зависящий от схемы выпрямления и показывающий во сколько раз частота основной гармоники выпрямленного напряжения больше, чем частота сети;

$\omega = 2\pi f$ – круговая частота;

$L_{др}$ – индуктивность дросселя.

Так как дроссель и последовательно включённая с ним нагрузка образуют для переменной составляющей делитель напряжения, то при выполнении условия (4.5) переменное напряжение на зажимах нагрузки будет значительно меньше, чем напряжение на зажимах дросселя.

Активное сопротивление дросселя обычно намного меньше сопротивления нагрузки, в связи с чем активным падением напряжения на дросселе можно пренебречь и считать, что постоянная составляющая напряжения на выходе фильтра равна постоянной составляющей на его входе.

Основными недостатками индуктивных фильтров являются изменение сглаживающего действия при изменении тока нагрузки и возможность появления перенапряжений в схеме при обрыве цепи нагрузки или резком уменьшении тока в цепи за счёт эдс самоиндукции дросселя.

Более эффективно сглаживание пульсаций выпрямленного напряжения осуществляется при помощи фильтров, составленных из последовательно соединённых Γ - или Π -образных звеньев. В качестве элементов этих звеньев используются конденсаторы, дроссели и резисторы.

Если представить Γ -образный фильтр (рис. 4.2, в) в виде четырехполюсника с входными ab и выходными cd зажимами (рис. 4.2, е), то его коэффициент фильтрации можно определить из выражения:

$$K_{\phi} = \frac{U'_{(1)m}}{U''_{(1)m}} = 1 + Z \left(Y + \frac{1}{r_d} \right). \quad (4.6)$$

Параметры элементов Γ -образного фильтра выбираются таким образом, чтобы последовательно включенные с источником элементы имели большое сопротивление для переменной составляющей тока и малые сопротивления для постоянной составляющей. В качестве последовательно включаемых элементов на практике обычно используют дроссель, а для маломощных потребителей резистор.

Элементы фильтра, включаемые параллельно нагрузке, должны иметь малые сопротивления для переменной составляющей тока и большие сопротивления для постоянной составляющей. В качестве параллельно включаемых элементов обычно используют конденсатор.

В источниках электропитания небольшой мощности в последнее время все большее применение находят полупроводниковые фильтры, достоинствами которых являются малый вес и габариты и отсутствие магнитных полей рассеяния, которые приводят к увеличению помех радиоприему.

По применяемым схемным решениям полупроводниковые сглаживающие фильтры подразделяются на схемы с последовательным (рис. 4.3, а) или с параллельным (рис. 4.3, б) регулирующим транзистором.

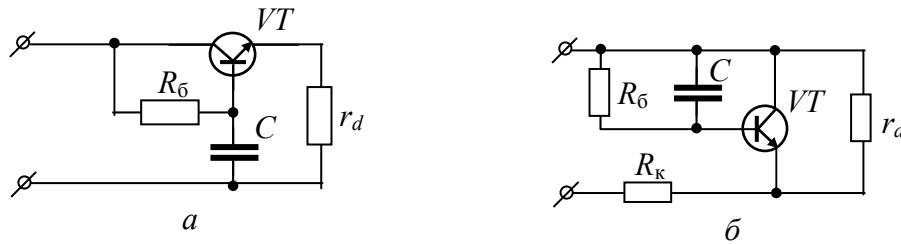


Рис. 4.3 . Схемы электронных сглаживающих фильтров:
a – полупроводниковый фильтр с последовательным регулирующим транзистором;
б - полупроводниковый фильтр с параллельным регулирующим транзистором

В последовательных транзисторных фильтрах переменная составляющая выпрямленного напряжения падает на коллекторном переходе транзистора, т. к. рабочая точка транзистора выбирается на пологом участке характеристики. Поэтому величина среднего значения коллекторного напряжения должна быть выбрана так, чтобы разность среднего значения коллекторного напряжения и амплитуда пульсации были больше минимально допустимого значения коллекторного напряжения.

Величина коллекторного напряжения транзистора зависит от тока базы, протекающего через сопротивление R_6 . При увеличении тока нагрузки (соответственно, и тока коллектора транзистора), увеличивается и ток базы, так как:

$$I_6 = \frac{I_d}{\beta}, \quad (4.7)$$

где β – коэффициент усилителя транзистора в схеме с общим эмиттером.

Соответственно, для увеличения коэффициента сглаживания транзисторного фильтра сопротивление базы транзистора R_6 должно быть небольшим.

Кроме статического коэффициента усиления транзистора на величину коэффициента сглаживания пульсаций транзисторного фильтра также оказывают влияние соотношение входного сопротивления транзистора $R_{вх}$ и сопротивления конденсатора $X_c = 1/p\omega C$; чем больше соотношение $R_{вх}/X_c$, тем лучше коэффициент фильтрации.

В схемах с последовательным включением транзистора через транзистор протекает весь ток нагрузки, что требует использования транзисторов большой мощности, в связи с чем, на практике они применяются редко.

Большее распространение получили схемы сглаживающих фильтров с параллельным включением регулирующих транзисторов. В этом случае даже при больших токах нагрузки может быть применён относительно маломощный транзистор. Для уменьшения потерь мощности на транзисторе, последовательно с нагрузкой включается гасящее сопротивление R_k . Однако, это приводит к уменьшению КПД выпрямителя.

Важным достоинством сглаживающих фильтров с параллельным включением регулирующих транзисторов является то, что они сохраняют работоспособность питаемого устройства даже при выходе из строя транзистора.

Основным недостатком электронных фильтров является возможность их использования лишь при потребителях, не критичных к изменению постоянной составляющей выходного напряжения.

II. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лицевая панель лабораторного стенда приведена на рис.4.4

Лабораторная установка позволяет исследовать все основные схемы сглаживающих фильтров.

Источником питания лабораторной установки служит однофазная двухполупериодная схема выпрямления. Для измерения постоянной составляющей напряжения и тока лабораторная установка оснащена измерительными приборами постоянного тока: амперметром А1 и вольтметром V1. Для измерения переменной составляющей напряжения на входе и выходе фильтра служит выносной измерительный прибор, который подключается к соответствующим клеммам лабораторной установки. Для моделирования нагрузки выпрямителя лабораторный стенд оснащен активным сопротивлением R_H , изменять величину которого можно дискретно от нуля до максимума с помощью пяти переключателей.

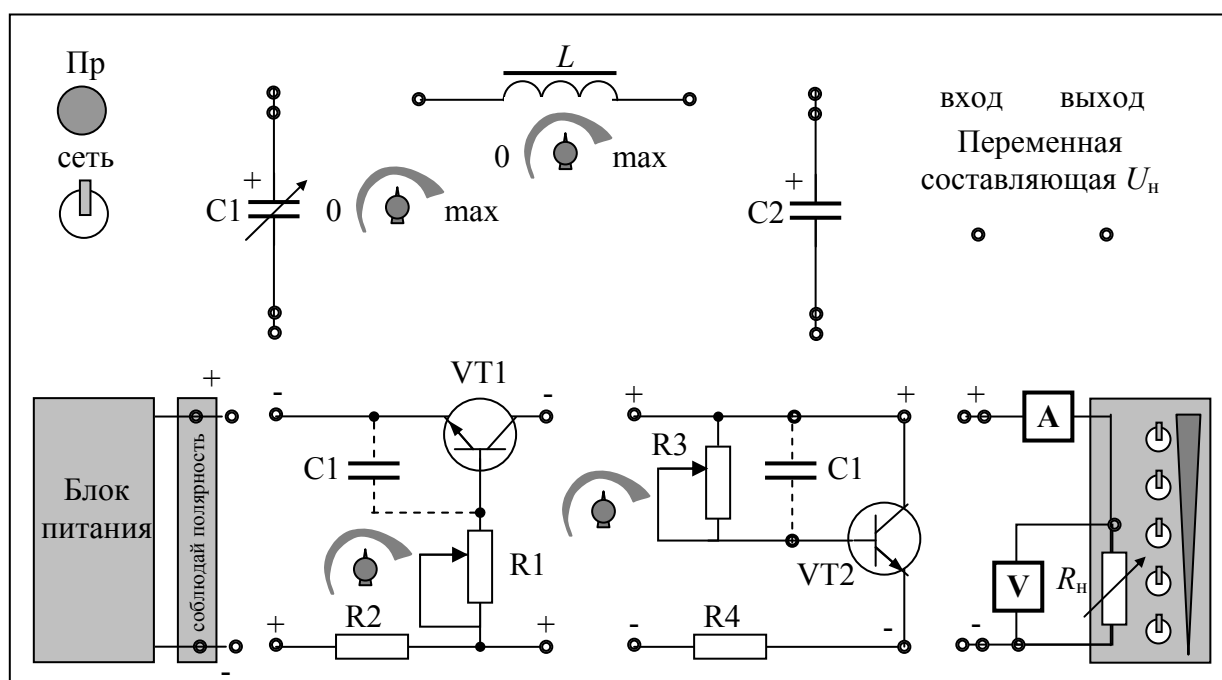


Рис.4.4. Лицевая панель лабораторного стенда

Лабораторная установка содержит также набор элементов, из которых можно составить различные схемы фильтров. Исследуемые схемы фильтров собираются при помощи соединительных проводников на лицевой панели стенда. Изменение параметров элементов фильтров, а также изменение нагрузки осуществляется ступенчато с помощью соответствующих тумблеров и переключателей.

Ш. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с устройством лабораторного стенда. Перед началом работы установить следующие исходные положения переключателей:
 - переключатели нагрузки R_n установить в крайнее нижнее положение;
 - тумблер “Сеть” – в положение “Выкл”;
 - переключатели $C1$, L – в крайнее левое положение, переключатель переменной составляющей нагрузки U_n - в положение “Вход”.
2. При помощи соединительных проводников собрать на лицевой панели стенда исследуемую схему (рис. 4.5, а-д).
3. После проверки схемы преподавателем тумблером ”Сеть” включить стенд. Для всех значений сопротивлений нагрузки измерить и записать в таблицу значения постоянной и переменной составляющей выпрямленного напряжения на входе и выходе фильтра. Для этого переключатель переменной составляющей U_n переводить в положение либо “Вход”, либо “Выход”. Следует иметь в виду, что увеличение нагрузки (уменьшение сопротивления R_n) происходит последовательным включением её тумблеров начиная с самого нижнего на лицевой части панели стенда, т. е. второй тумблер не вызовет изменения значения нагрузки, до тех пор пока не будет включён предыдущий первый и т.д. Повторить снятие показаний для различных значений (по указанию преподавателя) емкости конденсатора $C1$, и индуктивности L . При исследовании схем рис. 4.5, з, д необходимо снять показания при различных значениях сопротивлений $R1$ и $R2$, влияющих на положение рабочей точки транзисторов.
Результаты измерений рекомендуется оформить в виде таблицы 3.
4. Для всех исследуемых схем в режиме максимальной нагрузки снять следующие осциллограммы:
 - напряжение на входе фильтра;
 - напряжение на выходе фильтра;
 - напряжение $U_{эк}$ транзисторов (схемы рис. 4.5, з, д).
5. После окончания работы выключить стенд, разобрать схему, тумблеры и переключатели вернуть в исходное положение.

Таблица 3

L	R_H	Экспериментальные данные					Расчетные данные			
		ВХОД		ВЫХОД			$\Delta U, В$	$K_{П}'$	$K_{П}''$	K_{Cu}
		$U_{ВХ}, В$	$U', В$	$U_d, В$	$U'', В$	$I_d, А$				
$L1$	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
$L2$	1									
	2									
	3									
	4									
	5									

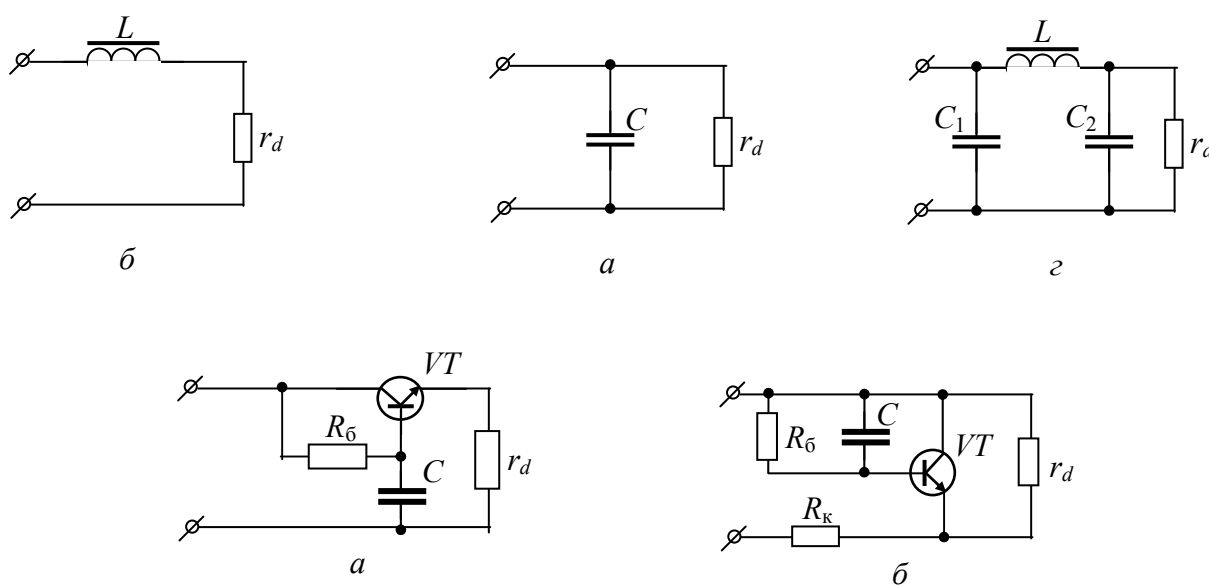


Рис.4.5. Исследуемые схемы фильтров

a – индуктивный фильтр; $б$ – емкостной фильтр; $в$ – П-образный фильтр;
 $г$ – полупроводниковый фильтр с последовательным регулирующим транзистором;
 $д$ – полупроводниковый фильтр с параллельным регулирующим транзистором

IV. ПОРЯДОК ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

1. По снятым показаниям рассчитать коэффициенты пульсаций $K_{П}'$, $K_{П}''$ и коэффициент сглаживания $K_{CГ}$ для основной гармонике питающего напряжения (см. 4.2, 4.3).

Падение постоянного напряжения на сглаживающем фильтре можно определить по выражению:

$$\Delta U = U_{ВХ} - U_d,$$

где $U_{\text{вх}}$ – постоянная составляющая питающего напряжения на входе фильтра;

U_d – постоянное (выпрямленное) напряжение на нагрузке.

2. Построить зависимости коэффициента сглаживания $K_{\text{сг}}$ в функции от тока нагрузки и различных значений параметров (L , C , R). Построить внешние характеристики источника питания с различными фильтрами $U_d = f(I_d)$.

3. Определить коэффициент передачи постоянной составляющей напряжения λ с входа фильтра на его выход для режима максимальной нагрузки каждой схемы сглаживающего фильтра.

Параметры элементов фильтров, используемых в работе:

$C1 = (0 \div 1000)$ мкф с шагом 200 мкф

$R_n = (20, 10, 5, 2.5, 1.25)$ Ом

$C2 = 200$ мкф

V. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Принцип сглаживающего действия конденсатора, дросселя ?
2. Объяснить изменение коэффициента сглаживания емкостного фильтра при изменении нагрузки.
3. Принцип действия полупроводникового сглаживающего фильтра ?
4. Особенности выбора рабочих точек транзисторов в схемах полупроводниковых сглаживающих фильтров ?
5. Объяснить вид внешних характеристик источника питания с различными фильтрами.

Силовые преобразователи в электроснабжении.

Составитель: *Сергей Геннадьевич Обухов*

Подписано к печати .2003.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная.

Плоская печать. Усл.печ.л. . Уч.-изд.л. .

Тираж 150 экз. Заказ Цена свободная.

ИПФ ТПУ. Лицензия ЛТ № 1 от 18.07.94.

Ротапринт ТПУ. 634034, Томск, пр. Ленина, 30.