

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**"МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»
(МИИТ)**

СОГЛАСОВАНО

Выпускающей кафедрой
«Электрификация и
электрообеспечение»

Зав. кафедрой
Д.т.н., проф. Бугреев В.А.

УТВЕРЖДЕНО

Проректором - директором РОАТ

Д.т.н. проф. Апатцев В.И.

Кафедра «Электрификация и электрообеспечение»

Автор: Харченко А.Ф., к.т.н., ст.н.ст.

**Задания и методические указания по выполнению
контрольной работы дисциплины**

**«Электронная техника и преобразователи в
электрообеспечении»
для студентов 5 курса**

Специальность: 23.05.05 «Системы обеспечения движения поездов»

Специализация: «Электрообеспечение железных дорог»

Квалификация выпускника: специалист

Форма обучения: заочная

Одобрено на заседании кафедры
«Электрификация и электрообеспечение»
Протокол № от 20 г.

Москва 2015

Рекомендации по оформлению контрольной работы

Перед выполнением контрольной работы необходимо рассмотреть задание на контрольную работу и изучить методические указания к выполнению задач. Для более детального изучения теоретического материала следует использовать рекомендованную в методических указаниях литературу.

Номер варианта и соответствующие исходные данные для расчета приводятся в условиях на каждую задачу и выбираются студентами по двум последним цифрам учебного шифра студента.

При выполнении контрольной работы необходимо соблюдать следующие правила:

- контрольная работа оформляется в виде расчетно-пояснительной записки оформленной на компьютере с распечаткой на листах формата А4 с одной стороны в соответствие с общими требованиями к подобным документам (буквенные и графические обозначения должны соответствовать ГОСТам);

- на первом (титульном) листе записки должны быть указаны: название университета и кафедры; название дисциплины, по которой выполняется контрольная работа; фамилия и учебный шифр студента, а также фамилия проверяющего преподавателя;

- условие задачи должно быть полностью перенесено в контрольную работу с численными значениями своего варианта;

- графический материал выполняется на миллиметровой бумаге или с использованием компьютерной графики в формате А4 (210 х 297) и подшивается к расчетно-пояснительной записке в соответствующих местах. Графики должны иметь наименование. Масштабы для графиков выбираются студентами самостоятельно с учетом точности требуемой для расчетов;

- при выполнении расчетов следует привести расчетную формулу, сделать подстановку численных значений и записать результат с указанием размерности. Результаты расчетов достаточно приводить с точностью до трех-четырех значащих цифр, если она не оговаривается особо;

- расшифровку каждого условного обозначения приводить в каждой задаче один раз при его первом использовании;

- необходимые пояснения формировать самостоятельно, по возможности кратко и ясно (не следует переписывать в качестве пояснений тексты из методических указаний или литературных источников);

- в конце работы должны быть указаны: список используемой литературы, дата выполнения работы и подпись студента;

- все исправления и дополнения, выполненные по замечаниям рецензента, размещаются в конце работы.

Внимание! Работы, выполненные не по своему варианту, а также диаграммы и зависимости, выполненные без масштаба и наименований, *не проверяются и не зачитываются.*

ЗАДАЧА 1

Расчёт однокаскадного ключевого усилителя на транзисторе

1. Составить схему однокаскадного ключевого усилителя на транзисторе типа р-п-р.

Усилитель соединяется с источником входных импульсов посредством резисторов связи (R_c) и смещения (R_{cm}).

2. Заданы: напряжение питания коллекторных цепей U_k , напряжение источника положительного смещения U_{cm} , величина сопротивления нагрузки каскада R_k , предельная частота следования импульсов $f_{пр}$ и наибольшая температура окружающей среды T_{MAX} .

Требуется выбрать тип транзистора и номинальные величины резисторов R_c и R_{cm} , обеспечивающих ключевой режим усилителя при потенциалах входа φ_B и φ_H .

Предполагается, что импульс на вход усилителя подается от аналогичных транзисторных схем, причем по модулю нижний φ_H (отрицательный) потенциал входа относительно зажима U_k составляет $\varphi_H = \alpha \cdot U_k$, а верхний $\varphi_B = -|U_{кэо} + U_{по}|$, где $U_{кэо}$ – напряжение коллектор-эмиттер при насыщении выходного транзистора (открытого); $U_{по}$ – напряжение помехи.

3. Найти значения потенциала входа φ'_{BX} и φ''_{BX} , при которых еще обеспечивается ключевой режим каскада в случае плавного изменения сигнала $\varphi_{BX} = f(t)$ между φ_B и φ_H (рис. 1).

4. По диаграмме, представленной на рис. 1, и найденным φ'_{BX} и φ''_{BX} построить диаграмму изменения потенциала коллектора $\varphi_k = f(t)$ транзистора V в ключевом режиме.

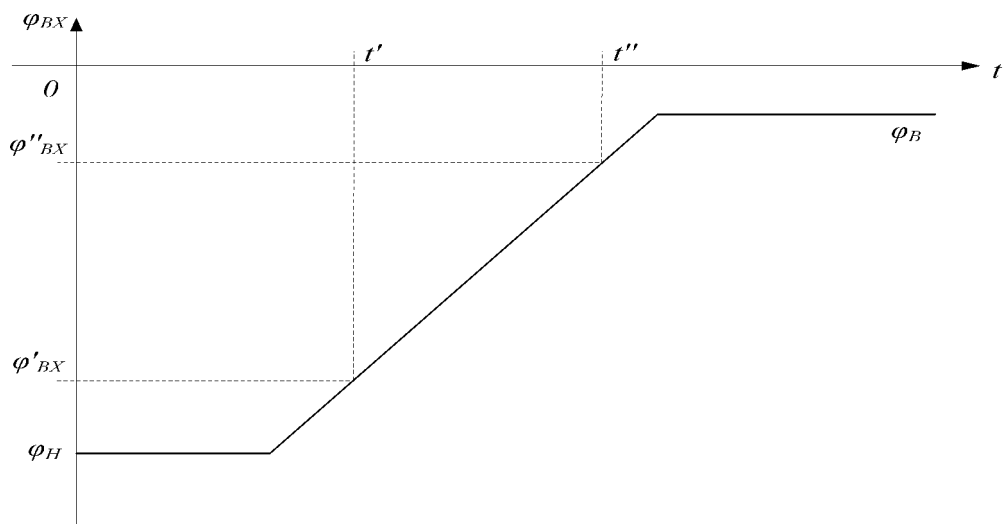


Рис. 1

Исходные данные выбираются из табл. 1 и табл. 2.

Исходные данные		Вариант (предпоследняя цифра учебного шифра)									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Параметры входного сигнала	$U_{по},$	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55
	α	0,6	0,5	0,4	0,7	0,75	0,8	0,85	0,5	0,6	0,65
$f_{пр}, \text{кГц}$		50	250	120	10	15	30	100	60	150	200
$T_{max}, ^\circ\text{C}$		40	40	45	45	50	50	55	55	50	45

Таблица 2

Исходные данные	Вариант (последняя цифра учебного шифра)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_{к}, \text{В}$	-6	-8	-10	-12	-16	-20	-24	-30	-36	-40
$U_{см}, \text{В}$	6	8	6	8	8	6	10	10	12	12
$R_{к}, \text{Ом}$	39	120	200	51	91	150	82	160	220	300

ЗАДАЧА 2

Расчет неуправляемого выпрямителя с идеальными диодами и трансформатором

Задаются напряжение сети U_c , средние значения выпрямленного напряжения U_d и тока I_d на активной нагрузке, число пульсаций выпрямленного напряжения за период.

1. Составить схему выпрямителя.
2. Рассчитать основные параметры трансформатора при питании активной нагрузки непосредственно от выпрямителя (условия «а»).
3. Рассчитать параметры токов и напряжений на нагрузке, если последовательно с активной нагрузкой включена индуктивность сглаживающего реактора, обеспечивающего заданное отношение k_n действующего значения основной гармонической составляющей тока I_{dn} к I_d (условия «б»).
4. Для обоих вариантов построить временные диаграммы выпрямленного напряжения и тока, ЭДС и тока вторичной (вентильной) обмотки трансформатора, напряжение на одном из вентилей и тока вентиля.

При выполнении расчетов и построении диаграмм трансформатор и вентили считать идеальными, а активным сопротивлением обмотки сглаживающего реактора можно пренебречь.

Исходные данные выбрать из табл. 3 и 4 по соответствующим цифрам учебного шифра.

Таблица 3

Исходные данные	Вариант (предпоследняя цифра учебного шифра)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Выпрямленное напряжение U_d , В	100	200	300	400	500	600	700	800	1500	3000
Выпрямленный ток I_d , А	1500	1200	1000	800	600	500	400	300	200	100

Таблица 4

Исходные данные	Вариант (последняя цифра учебного шифра)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кратность пульсаций, p	2					3			6	
Напряжение сети U_c , В	220	380	3000	6000	10000	220	380	3000	6000	10000
Отношение $k_n = I_{dn} / I_d$	0,1	0,2	0,25	0,3	0,15	0,02	0,025	0,03	0,01	0,015

Методические указания по содержанию и выполнению задачи 1

Построение принципиальной схемы усилителя необходимо начать с изучения существующих схем и теории работы транзистора в ключевом режиме, изложенных, например, в [1;2]. Пример построения расчетной схемы приведен на рис. 2.

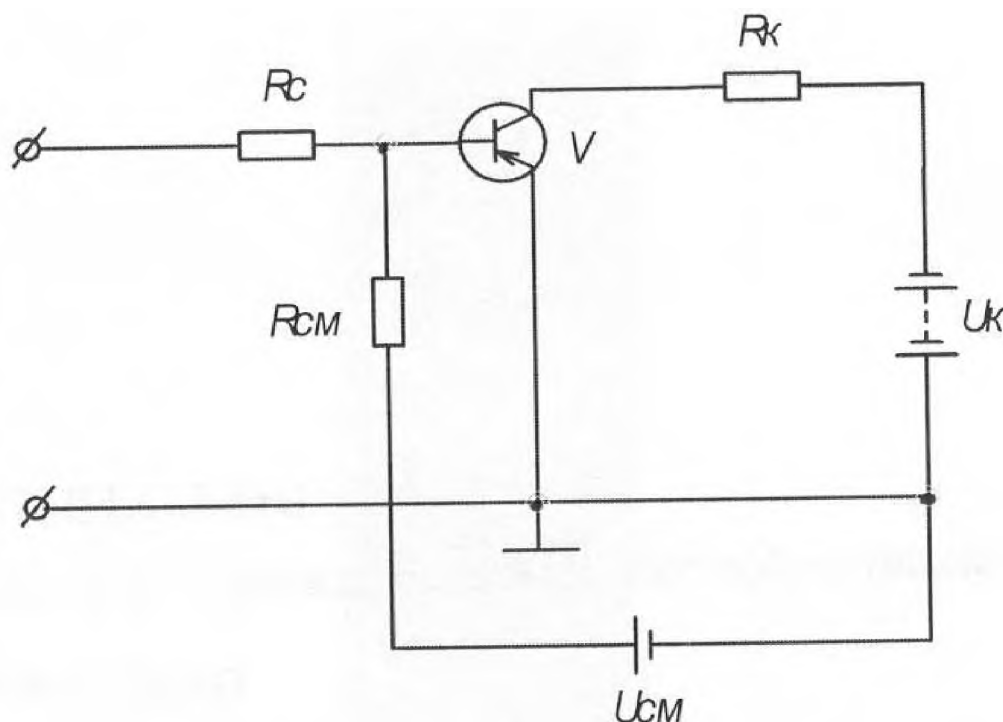


Рис. 2

Выбор типа транзистора осуществляется с использованием исходных данных $U_k, R_k, f_{пр}, T_{max}$, приведенных в табл. 1 и 2. Параметры некоторых транзисторов приведены в Приложении 1, более подробная информация о транзисторах дана в справочниках [3,4] и в Интернете.

Величины резисторов связи R_c и смещения $R_{см}$ рассчитываются из следующих соображений. В открытом состоянии транзистора V необходимо обеспечить базовый ток, достаточный для его надежного насыщения, поэтому коэффициент насыщения должен быть 1,5-2. Потенциал входа равен вычисленному значению φ_H , а потенциал на базе $\varphi_B' = U_{кэ0}$. Ток базы определяем с учетом минимального коэффициента усиления B , выбранного типа транзистора, тогда

$$I'_B = (1,5 - 2) \cdot \frac{I_{к\max}}{B}, \quad (1)$$

где $I_{к\max} = U_k / R_k$.

Расчетная схема в режиме насыщения (транзистор полностью открыт) примет вид, представленный на рис. 3.

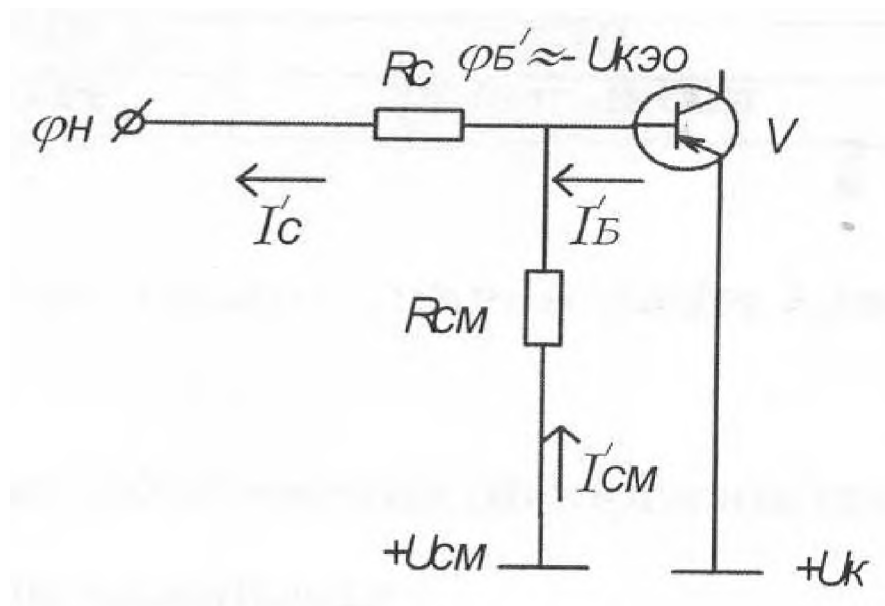


Рис. 3

По этой схеме с использованием первого закона Кирхгофа и закона Ома составляем уравнение, связывающее известные или выбранные значения $U_{см}$, φ_H , φ_B' , I_B' с искомыми сопротивлениями R_c и $R_{см}$. Получаем уравнение с двумя неизвестными (R_c и $R_{см}$).

$$I_c' = I_B' + I_{см}' \cdot I_B' + \frac{U_{см} - \varphi_B'}{R_{см}} = \frac{\varphi_B' - \varphi_H}{R_c}. \quad (2)$$

Для определения R_c и $R_{см}$ составляем второе уравнение, когда транзистор находится в закрытом состоянии (режим отсечки). В закрытом состоянии транзистора расчетная схема принимает вид представленный на рис. 4.

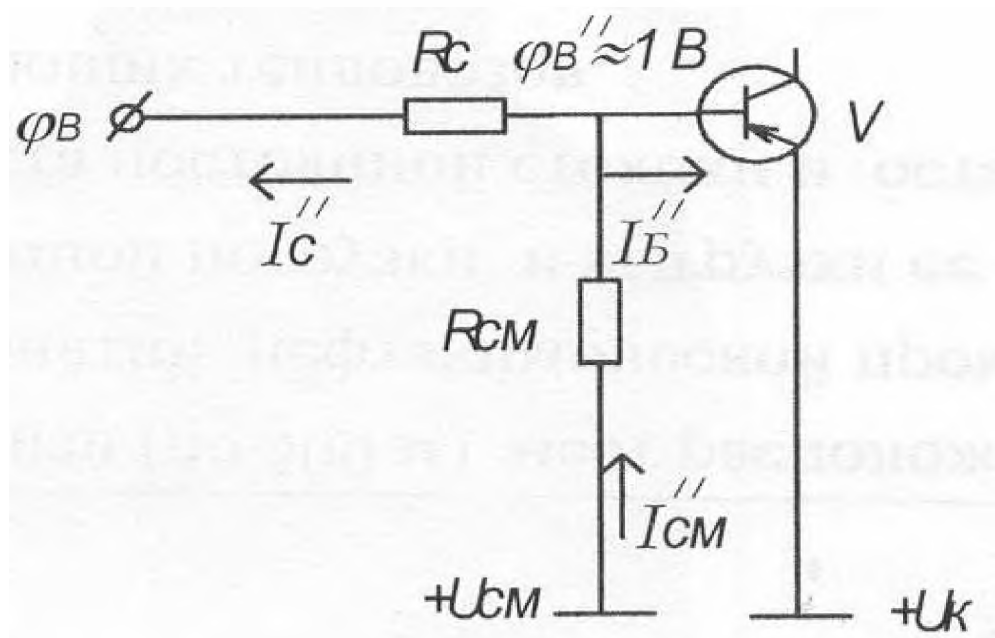


Рис. 4

Потенциал на базе φ_B'' выбираем на небольшом положительном уровне (0,2-1 В), чтобы обеспечить надежное запираение транзистора. Необходимый в расчетах коллекторный ток в закрытом состоянии при заданной максимальной температуре окружающей среды определяется по следующей формуле

$$I_{котак} = I_{ко} \cdot \exp[(T_{max} - T_c)\delta], \quad (3)$$

где $I_{ко}$ - обратный ток коллектора, выбранного транзистора;

δ - 0,038-0,09 для германиевых и 0,12 для кремниевых транзисторов;

T_c – температура окружающей среды, для которой дано значение $I_{ко}$ в справочниках (обычно 25°C).

Принимаем, что ток базы в режиме отсечки

$$I_{\bar{b}}^{II} = I_{ко\max}.$$

По схеме, представленной на рис. 4 составляем аналогичные (2) уравнения, в которых R_c и R_{cm} неизвестны.

$$\begin{aligned} I_c^{II} &= I_{cm}^{II} - I_{ко\max}. \\ \frac{U_{cm} - \varphi_{\bar{b}}^{II}}{R_{cm}} &= I_{ко\max} + \frac{\varphi_{\bar{b}}^{II} - \varphi_B}{R_c}. \end{aligned} \quad (4)$$

Совместное решение уравнений (2) и (4) даст искомые значения сопротивлений резисторов R_c и R_{cm} . Полученные значения сопротивлений резисторов необходимо округлить до значений, предусмотренных стандартной шкалой номиналов резисторов, и в *последующих расчетах нужно использовать выбранные номиналы.*

Шкала номинальных значений резисторов

$$\left. \begin{array}{cccccccccccc} 10 & 11 & 12 & 13 & 15 & 16 & 18 & 20 & 22 & 24 & 27 & 30 \\ 33 & 36 & 39 & 43 & 47 & 51 & 56 & 62 & 68 & 75 & 82 & 91 \end{array} \right\} \times 10^n, [\text{Ом}],$$

где $n = 0, 1, 2 \dots$

После выбора номиналов резисторов R_c и R_{cm} можно приступить к решению п. 3 задания. Для этого надо составить две расчетные схемы наподобие схем представленных на рис. 3 и 4 с известными R_c и R_{cm} , но неизвестными φ'_{BX} и φ''_{BX} .

Значение φ'_{BX} соответствует моменту, когда транзистор еще находится в режиме насыщения, т.е. его ток базы минимальный для режима насыщения (коэффициент насыщения равен 1, а не 1,5-2 раза больший, как было принято

для надежной работы ключа). Значение ϕ_6' равно падению напряжения в открытом эмиттерном переходе $\phi_6' = U_{кэо}$. С учетом этих особенностей и составляется уравнение по аналогии с (2), но с одним неизвестным ϕ_{BX}' .

Значение ϕ_{BX}'' соответствует моменту закрытия транзистора, т.е. $\phi_6'' = 0$ и $I_6'' = 0$. С учетом этих требований составляется уравнение по аналогии с (4), но с одним неизвестным ϕ_{BX}'' .

Решение новых уравнений с неизвестными ϕ_{BX}' и ϕ_{BX}'' позволяет вычислить их значения, после чего необходимо построить диаграмму изменения потенциала коллектора $\phi_k = f(t)$ транзистора V в ключевом режиме. На рис. 1 приведен пример диаграммы входного сигнала. Диаграмму напряжения на выходе каскада следует строить под диаграммой входного сигнала в одном масштабе времени, обозначив и указав масштабы напряжений, согласно заданию.

Масштаб по времени выбрать произвольно. При $t < t'$ транзистор находится в режиме насыщения, ϕ_k определяется падением напряжения эмиттер-коллектор транзистора ($U_{кэо}$); при $t' < t < t''$ транзистор работает в усилительном режиме, т.е. ϕ_k изменяется пропорционально ϕ_{BX} ; при $t > t''$ транзистор заперт.

Определяя ϕ_k в запертом состоянии, можно пренебречь нулевым коллекторным током транзистора, тогда $\phi_k = U_k$.

Методические указания по содержанию и выполнению задачи 2

Схему выпрямителя следует составить после ознакомления с существующими схемами выпрямления однофазного или трехфазного тока, обеспечивающих заданную кратность пульсаций p [5;6].

Затем выполнить расчет основных параметров трансформатора, в предположении, что нагрузка чисто активная (условие «а»). Расчет действующих значений токов I_2 и ЭДС E_2 во вторичной обмотке

трансформатора, действующие значения тока I_I в сетевой обмотке трансформатора, амплитуду обратного напряжения U_{bm} (напряжения на закрытом диоде), а также типовую мощность трансформатора проводить с использованием «Основных соотношений в выпрямителях» приведенных в Приложении 2.

Коэффициент трансформации можно определить как отношение U_c/E_2 .

Амплитудные значения тока и напряжения для однофазных схем выпрямления превышают действующие значения на величину $\sqrt{2}$; а для трехфазных схем - $\sqrt{6}$. Сопротивление активной нагрузки определяется по закону Ома: $R_d = U_d/I_d$.

При активной нагрузке форма тока повторяет форму напряжения. Временные диаграммы выпрямителя работающего на активную нагрузку должны отражать изменения: $u_2, u_d, i_d, i_{d1}, i_{1,2}$, в течение 1,5 периода промышленной частоты. Где $i_{d1}, i_{1,2}$ - соответственно, текущее значение тока через один из диодов и текущие значения токов в первичной и вторичной обмотках трансформатора. На диаграммах $u_d=f(\omega t)$ и $i_d=f(\omega t)$ нанести горизонтальные линии, соответствующие I_d, U_d . Типичные временные диаграммы напряжений и токов для различных схем выпрямления приведены в [5;6].

Расчет параметров токов и напряжения на нагрузке, если последовательно с активной нагрузкой включена индуктивность сглаживающего реактора (условие «б»), следует начать с определения величины индуктивности реактора необходимой для сглаживания тока до заданной степени.

Для определения величины индуктивности реактора нужно вывести соотношение между действующим значением переменной составляющей тока нагрузки и индуктивностью реактора.

Эту задачу можно решить, применив разложение кривой выпрямленного напряжения в ряд Фурье [7]. В данной задаче нет смысла учитывать гармоники высших порядков, и следует ограничиться влиянием только первой (основной) гармоникой, так как амплитуда второй гармонической составляющей тока

почти в 10 раз меньше амплитуды первой (основной) гармоники выпрямленного тока, что обеспечит точность расчетов в пределах 2-3%.

Для определения величины индуктивности L , необходимой для обеспечения заданной значения κ_n , необходимо опередить подводимые к нагрузке пульсирующие напряжение и ток.

Амплитуду напряжения гармонических составляющих n можно определить по формуле

$$U_{dm(n)} = 2U_d/(n^2-1), \quad (5)$$

а амплитуду тока соответствующей (n) гармонической составляющей по формуле

$$I_{dm(n)} = U_{dm(n)} / (R_n + jX_{(n)}) = U_{dm(n)} / (R_n + jn\omega L) = 2U_d / (n^2-1)(R_n + jn\omega L). \quad (6)$$

$$\text{По условиям задачи } I_{dm(n)} = \kappa_n \cdot I_d \sqrt{2}. \quad (7)$$

Тогда величина индуктивности реактора L определяется из выражения

$$\kappa_n \cdot I_d \sqrt{2} = 2U_d / (n^2-1)(R_n + jn\omega L). \quad (8)$$

Если индуктивное сопротивление $X_{(n)} > 5 R_n$, то индуктивности L можно в этом случае вычислить по выражению

$$\kappa_n \cdot I_d \sqrt{2} = 2U_d / [(n^2-1)(n\omega L)]. \quad (9)$$

Фазовый угол основной гармоники тока можно определить из выражения

$$\varphi = \arctg (X_{(n)} / R_d). \quad (10)$$

При построении диаграмм для условия «б» следует в одних осях с u_d построить синусоиду основной гармоники переменной составляющей выпрямленного напряжения. Диаграмму $i_d = f(\omega t)$ построить с учетом фазового угла основной гармоники выпрямленного тока.

Диаграммы токов диода и обмотки трансформатора являются выкопировки из кривой $i_d = f(\omega t)$ с учетом длительности и направления протекания i_d по ним.

Все диаграммы должны строиться с соблюдением выбранных масштабов угла, напряжения и тока. Масштабы напряжения (тока) всех диаграмм,

иллюстрирующих работу вторичной обмотки трансформатора и цепей выпрямителя должны быть одинаковыми.

Решение условия «б» можно также решить с помощью дифференциального уравнения, описывающего схему рис. 5.

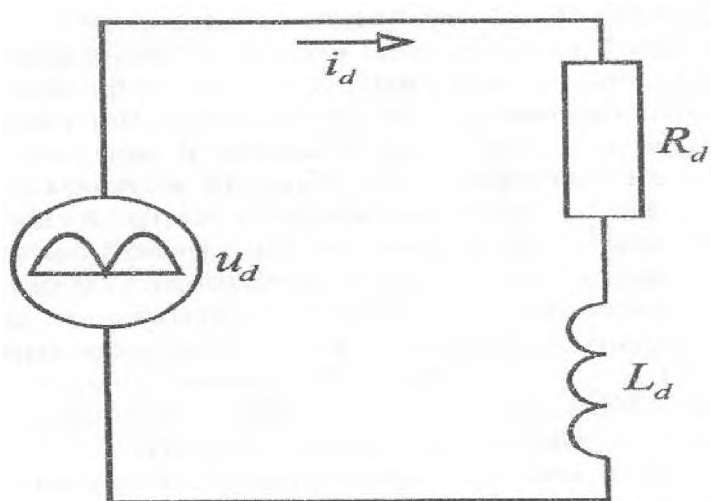


Рис. 5

Рекомендуемая литература

1. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. -М.: Высшая школа, 1982.
2. Засорин С.Н. и др. Электронная и преобразовательная техника. –М.: Транспорт, 1981
3. Полупроводниковые приборы. Транзисторы малой мощности: Справочник: под ред. Гололодова А.В..-М.: Радио и связь. КУБК-а,1994.
4. Полупроводниковые приборы. Транзисторы средней и большой мощности: Справочник: под ред. Гололодова А.В..-М.: Радио и связь. КУБК-а,1994.
5. Харченко А.Ф. Неуправляемые силовые полупроводниковые выпрямители: Уч. пос. - М.: МИИТ,2009.
6. Попков О.З. Основы преобразовательной техники: Уч. пос. –М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
7. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – М. : Высшая школа, 1978.

Приложение 1

Основные соотношения в выпрямителях работающих на активную нагрузку

Схема выпрямления	U_2/U_d	I_2/I_d	$k_T I_1 / I_d$	U_{bm}/U_d	P_d/S_T	I_a/I_d	U_{dac}/U_d
Однофазная двухпульсовая нулевым выводом с	1,11	0,709	1,0	3,14	0,75	0,5	0,47 $f=100$ Гц
Однофазная двухпульсовая мостовая	1,11	1,11	1,11	1,57	0,9	0,5	0,47 $f=100$ Гц
Трехфазная с нулевым выводом (трехпульсовая)	0,855	0,583	0,476	2,09	0,74	0,33	0,18 $f=150$ Гц
Шестифазная с нулевым выводом	0,74	0,41	0,476	2,09	0,645	0,167	0,04 $f=300$ Гц
Трехфазная мостовая (шестипульсовая)	0,427	0,817	0,817	1,05	0,95	0,33	0,04 $f=300$ Гц
Шестифазная с уравнительным реактором	0,855	0,291	0,408	2,09	0,79	0,166	0,04 $f=300$ Гц

Принятые обозначения:

U_2 - действующее значение фазного напряжения вторичной (вентильной) обмотки трансформатора;

U_d – среднее значение выпрямленного напряжения;

U_{dac} - действующее значение переменной составляющей выпрямленного напряжения;

U_{bm} – максимальное значение обратного напряжения на вентиле;

I_d – среднее значение выпрямленного тока в нагрузке;

I_a - среднее значение выпрямленного тока, протекающего через один вентиль или через одно плечо выпрямительной схемы;