

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**СОСТАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ И
РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПРИБОРОВ**

Учебно-методическое пособие

**Казань
2024**

УДК 681.51
ББК 32.965.8
С40

**Составление электрических схем и расчетов основных
С40 технических характеристик приборов: учебно-методическое пособие /**
составители: О.В. Козелков, Н.А. Малев, А.И. Мухаметшин – Казань :
КГЭУ, 2024. – 29 с.

Изложены методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине «Основы проектирования приборов и систем», которые определяют общие требования, предъявляемые к курсовому проекту последовательность его подготовки и выполнения, а также требования к структуре, содержанию и оформлению пояснительной записки. В данном пособии приведены краткие теоретические сведения о основных схемах выпрямителей, режимах их работы. Описана методика расчета двухполупериодного выпрямителя с г-образным индуктивно-емкостным сглаживающим фильтром.

Предназначено для обучающихся по образовательной программе направления подготовки 12.03.01 Приборостроение, направленности (профиля) «Приборы и методы контроля качества и диагностики».

УДК 681.51
ББК 32.965.8

*Рекомендовано к изданию учебно-методическим советом
Института цифровых технологий и экономики*

© О.В. Козелков, Н.А. Малев, А.И. Мухаметшин составление, 2024
© КГЭУ, 2024

ВВЕДЕНИЕ

Цель освоения дисциплины: изучение основ конструирования и технологии приборостроения, систем контроля и диагностики.

Задачи дисциплины: формирование у обучающихся знаний в области конструирования и технологии приборостроения, позволяющих разрабатывать как типовые, так и оригинальные технологические процессы изготовления приборов, анализировать их точностные и экономические характеристики подготовка обучающихся к решению задач по расчету и проектированию технических объектов в соответствии с техническим заданием, нахождению оптимальных решений конкретных производственных условиях, применению современных методов механизации и автоматизации производственных процессов, использованию современных средств вычислительной и измерительной техники при решении.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Способность участвовать в проектировании новых методов и средств технического контроля (ПК-2).

Процесс выполнения курсового проекта направлен на формирование следующих индикаторов компетенций:

Выполняет сбор и анализ данных для проектирования, составляет конкурентоспособные варианты технических решений (ПК-2.1);

Обосновывает выбор целесообразного решения (ПК-2.2);

Подготавливает разделы предпроектной документации на основе типовых технических решений (ПК-2.3).

ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Основная задача курсового проекта заключается в том, чтобы будущие специалисты получили необходимые навыки конструирования электронных устройств, выбора оптимальных схем узлов проектируемых электронных приборов и их базовых элементов, могли осуществить грамотный расчет параметров этих узлов и всего устройства в целом.

Задание: провести расчет Г-образного индуктивно-емкостного сглаживающего фильтра без компенсационной обмотки, однофазного мостового выпрямителя и трансформатора. Используя разобранный выше пример, выполнить задание. У каждого студента группы есть свой порядковый номер (N) в журнале, который заполняет староста. Этот номер является номером задания. Для всех заданий $U_c = 220\text{В}$, $f_c = 50\text{ Гц}$, сеть однофазная, форма питающего напряжения симметричная синусоидальная. Система исходных данных приведена в приложении.

Работа студента над курсовым проектом складывается из следующих элементов: 1) самостоятельная работа с литературой, имеющая цель - поиск дополнительного материала по схемотехнике узлов проектируемого устройства; 2) подготовка краткого теоретического обзора; 3) выбор подходящих схемотехнических решений, удовлетворяющих техническому заданию; 4) расчет основных параметров выбранных узлов и обеспечение их совместной работы в составе проектируемого устройства; 5) оформление результатов курсового проектирования (пояснительной записки, чертежа и схемы) с учетом требований ГОСТа.

1. ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ ВЫПРЯМЛЕНИЯ И ИХ СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Обычная радиоэлектронная аппаратура питается от однофазной сети переменного тока. Режим работы схемы выпрямления существенно зависит от характера ее нагрузки. Большинство узлов РЭА представляет собой активную нагрузку. Однако она подключается к выпрямителю не непосредственно, а через сглаживающие фильтры, которые определяют характер нагрузки выпрямителя (активный, емкостной или индуктивный).

Основные схемы выпрямления однофазного напряжения переменного тока приведены на рис. 3: однополупериодная (рис.3,а), двухполупериодная со средней точкой (рис. 3,б), двухполупериодная мостовая (рис 3,в).

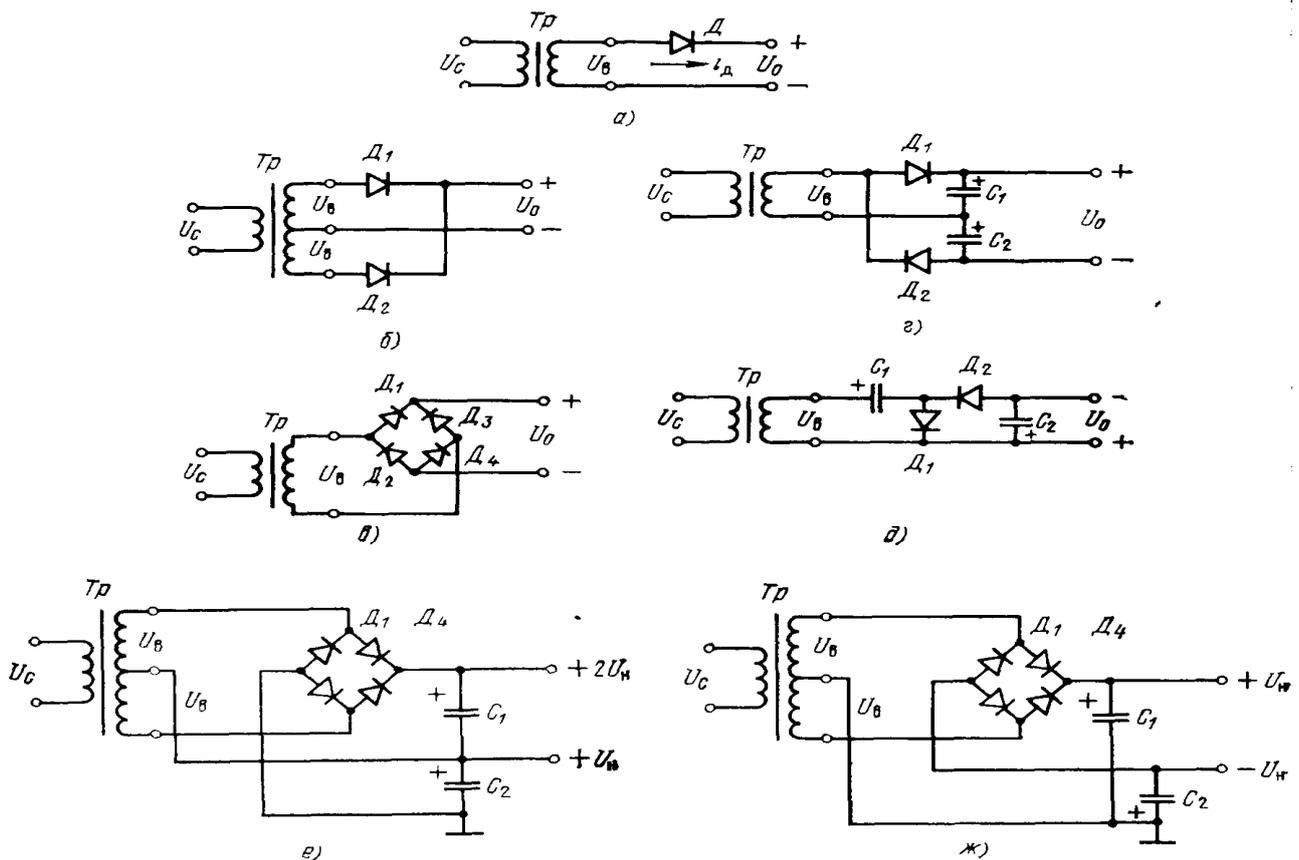


Рис. 3. Основные электрические схемы выпрямления: однополупериодная (а), двухполупериодная со средней точкой трансформатора (б), двухполупериодная мостовая (в), с удвоением напряжения (г, д), с двумя различными напряжениями одной полярности (е), с двумя одинаковыми напряжениями различной полярности (ж)

Схемы с умножением напряжения, например с удвоением напряжения, показанные на рис. 3,г,д), позволяют получить повышенное выпрямленное напряжение без трансформатора. Применение подобных схем выпрямления с большим коэффициентом умножения в высоковольтных выпрямителях позволяет упростить конструкцию повышающего трансформатора и снизить требования к его электроизоляционным характеристикам.

Практическое применение находят и сложные схемы выпрямления, образованные из двух или более простых схем путем их комбинирования. Так, схема, приведенная на рис 3,е, позволяет получить от одной обмотки трансформатора два выпрямленных напряжения одинаковой относительно общего провода полярности, из которых одно больше другого в два раза.

Схема выпрямления на рис. 3,ж позволяет получить два одинаковых выпрямленных напряжения, но различной относительно общего провода полярности. Комбинированные схемы выпрямления целесообразно применять только при постоянной нагрузке по всем выходным цепям, в противном случае будет наблюдаться взаимное влияние выходных каналов источника питания.

Однофазная схема однополупериодного выпрямления (см. рис. 3,а) может работать как без входного трансформатора, так и с трансформатором. Ток через диод Д (современное обозначение VD) протекает только тогда, когда полярность соответствующего полупериода напряжения сети будет способствовать открыванию диода. Ток диода в любой момент времени одновременно является током вторичной обмотки трансформатора и током нагрузки. При активной нагрузке он имеет форму однополярных импульсов с длительностью, равной половине периода тока сети. В течение другого полупериода питающего напряжения U_c диод Д находится в закрытом состоянии.

При проектировании трансформатора для однополупериодных схем выпрямления следует учитывать подмагничивание магнитопровода. Поэтому

габаритную расчетную мощность трансформатора следует увеличить до значения $P_T = (3,36 \dots 3,5) P_0$.

Достоинства схемы — простота, минимальное число вентиляей, а следовательно, невысокая стоимость.

Недостатки однополупериодной схемы выпрямления — большое значение пульсаций выпрямленного напряжения и низкая частота пульсаций, равная частоте сети, плохое использование трансформатора, высокое обратное напряжение на диоде (в 3,14 раза больше выпрямленного напряжения); большой импульс тока через диод.

2. РЕЖИМ РАБОТЫ ВЫПРЯМИТЕЛЯ НА НАГРУЗКУ ИНДУКТИВНОГО И ЕМКОСТНОГО ХАРАКТЕРА

Нагрузка выпрямителя имеет индуктивный характер в том случае, если последовательно с активным сопротивлением R_H включена индуктивность, например, дроссель фильтра L_Φ , причем

$$m\omega_c L_\Phi \gg R_H$$

где m — число используемых при выпрямлении полупериодов за период напряжения сети.

Однофазная однополупериодная схема выпрямления (см. рис 3,а) на нагрузку индуктивного характера никогда не работает. В однофазных мостовой и двухполупериодной схемах выпрямления со средней точкой при работе их на нагрузку индуктивного характера (рис. 4,а) и $L_\Phi \rightarrow \infty$ ток в нагрузке практически постоянный. Однако на практике добиться этого трудно, особенно в маломощных выпрямителях, где сопротивление R_H достаточно велико, а L_Φ имеет конечное значение.

Нагрузка выпрямителя имеет емкостный характер в том случае, если параллельно активному сопротивлению R_H включен конденсатор фильтра (рис. 4,б). Емкость конденсатора C_Φ выбирается из условия

$$\frac{1}{m\omega_c C_\Phi} \ll R_H$$

Полезно рассмотреть работу однополупериодной схемы выпрямления на нагрузку емкостного характера. В однофазной однополупериодной схеме выпрямления (см. рис. 3,а) с емкостным фильтром (рис. 4,б) до подключения напряжения сети конденсатор C_Φ полностью разряжен.

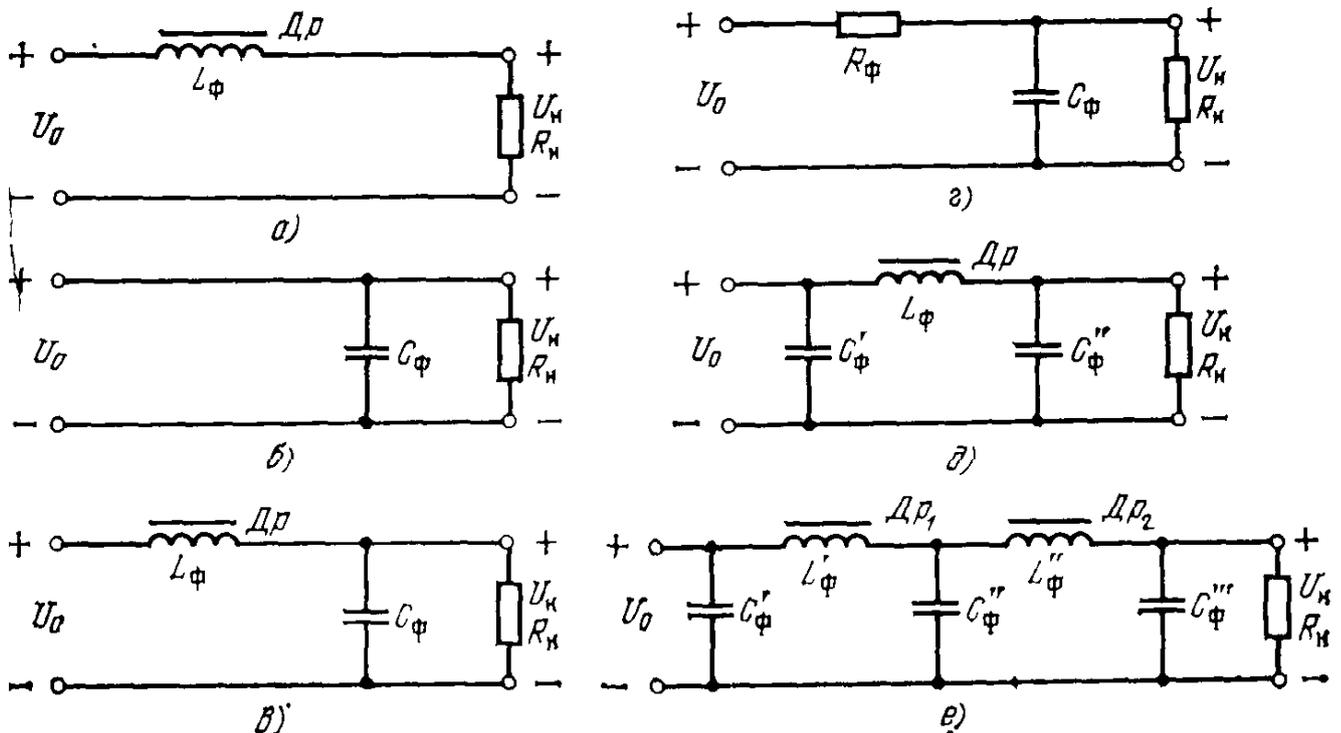


Рис. 4. Схемы сглаживающих фильтров: индуктивного (а), емкостного (б), Г-образного индуктивно-емкостного (в), активно-емкостного (г), П-образного индуктивно-емкостного (д), двухзвенного индуктивно-емкостного (е). Схемы рис. 4 применимы к сглаживающим фильтрам.

Напряжение на нем, а, следовательно, и на резисторе нагрузки R_H равно нулю. В момент подключения напряжения U_c , если полярность полупериода напряжения U_B на вторичной обмотке трансформатора такова, что обеспечивает открывание диода, в цепи обмотки и диода возникнет импульс тока заряда конденсатора значительной амплитуды $I_{ди}$ (рис. 5). Импульс тока достигнет максимального значения $I_{ди\max}$ при совпадении моментов включения

U_c и прохождения U_B через максимум (рис. 5, штриховая линия). Амплитудное значение импульса тока определяется внутренним сопротивлением контура обмотка-диод и на один-два порядка может превышать среднее значение тока диода, т.е. необходимо применять достаточно мощный диод. Для ограничения зарядного тока приходится последовательно с диодом включать дополнительный токоограничивающий резистор. Это приводит к дополнительным потерям мощности, снижению

КПД выпрямителя, увеличению колебаний выпрямленного напряжения при изменении сопротивления нагрузки.

С увеличением емкости конденсатора фильтра C_f возрастает постоянная составляющая выпрямленного напряжения и уменьшается амплитуда пульсаций. В однофазных двухполупериодных схемах выпрямления процессы протекают аналогично. Отличие заключается лишь в том, что конденсатор заряжается и разряжается в течение каждого полупериода питающего напряжения. Это приводит к увеличению постоянной составляющей выпрямленного напряжения и уменьшению пульсаций. Частота пульсаций в двухполупериодных схемах выпрямления превышает частоту переменного тока сети два раза, что облегчает фильтрацию выпрямленного напряжения, уменьшает массу и габариты элементов сглаживающего фильтра. Расчетные соотношения для однофазных схем выпрямления, работающих на нагрузку с индуктивным и емкостным характером, приведены в табл. 2.

Интервал времени, в течение которого через диод протекает ток, равен 2θ , где θ - угол отсечки тока. Ряд параметров схем выпрямления выражен через вспомогательные коэффициенты B, D, F, H .

Эти коэффициенты являются функциями расчетного параметра A , который сам зависит от угла отсечки θ и может быть вычислен из выражения

$$A = \frac{\pi I_H R_B}{m U_H}$$

Здесь I_H, U_H — исходные данные; значение m определяется выбором

схемы выпрямления ($m=1$ для однополупериодных схем, $n = 2$ для двухполупериодных схем); R_B является эквивалентным сопротивлением контора тока, оно равно сумме сопротивлений (диода и обмотки и задается в начале расчета ориентировочно, в процессе расчета значение R_B уточняется.

Таблица 2 Расчетные соотношения для схем выпрямления с фильтрами

Состав выпрямительного устройства	Пульсации		Выпрямительный диод				Трансформатор				
	Среднее значение выпрямленного напряжения U_H	Коэффициент пульсации S_{OH}	Частота перовой гармонки f_c	Максимальное значение обратного напряжения $U_{обр}$	Среднее значение тока $I_{вц ср}$	Действующее значение тока $I_{вп д}$	Амплитудное значение тока $I_{тд}$	Габаритная мощность P_r (типовая)	Действующее значение напряжения вторичной обмотки U_B	Действующее значение вторичной обмотки I_B	Действующее значение тока первичной обмотки I_1
а	$\frac{U_B}{B}$	$\frac{H}{R_B C_{\Phi}}$	f_c	$2,82BU_H$	I_H	DI_H	FI_H	$0,5B[D + \sqrt{D^2 - 1}]P_H$	BU_H	DI_H	$\sqrt{D^2 - 1} I_H \frac{\omega_2}{\omega_1}$
б	$0,9U_H$	0,67	$2f_c$	$3,14U_H$	$0,5I_H$	$0,707I_H$	I_H	$1,34P_H$	$2 \times 1,1U_H$	$0,707I_H$	$I_H \frac{\omega_2}{\omega_1}$
б	$\frac{U_B}{B}$	$\frac{H}{R_B C_{\Phi}}$	$2f_c$	$2,82BU_H$	$0,5I_H$	$0,5DI_H$	$0,5FI_H$	$0,85BDP_H$	$2 \times BU_H$	$0,5DI_H$	$0,707 DI_H \frac{\omega_2}{\omega_1}$
в	$0,9U_H$	0,67	$2f_c$	$1,57U_H$	$0,5I_H$	$0,707I_H$	I_H	$1,1P_H$	$1,1U_H$	I_B	$I_H \frac{\omega_2}{\omega_1}$
в	$\frac{U_B}{B}$	$\frac{H}{R_B C_{\Phi}}$	$2f_c$	$1,41BU_H$	$0,5I_H$	$0,5DI_H$	$0,5FI_H$	$0,707BDP_H$	BU_H	$0,707DI_H$	$0,707 DI_H \frac{\omega_2}{\omega_1}$
з	$\frac{2U_B}{B}$	$\frac{H}{R_B C_{\Phi}}$	$2f_c$	$1,41BU_H$	I_H	DI_H	FI_H	$0,707BDP_H$	$0,5BU_H$	$1,41DI_H$	$1,41 DI_H \frac{\omega_2}{\omega_1}$

Зависимости коэффициентов B , D , F и H от параметра A приведены на рис. 6. Указанные зависимости построены без учета индуктивностей рассеяния обмоток трансформатора, т. е. $L_s = 0$.

Схемы выпрямления с умножением напряжения (рис. 3,2, д) могут обеспечить и без входного трансформатора получение напряжения на нагрузке R_H в 2-3 раза большего, чем напряжение на их входе. Эти схемы при сравнительно небольшой мощности позволяют уменьшить массу и габариты выпрямительного устройства. Чаще схемы выпрямления с умножением напряжения используются совместно с входным трансформатором для получения достаточно высокого напряжения при малых токах нагрузки. В этом случае упрощается высоковольтный трансформатор, снижаются требования к качеству изоляции его обмоток. Связь между параметрами приведена на рис.6.

Простейшая однофазная схема выпрямления с удвоением напряжения (рис. 3,г) выполнена в виде моста, в два плеча которого включены диоды D_1 , D_2 , в два других — конденсаторы C_1 , C_2 фильтров. Когда мгновенное значение напряжения вторичной обмотки трансформатора оказывается больше, чем напряжение на конденсаторе (например C_1), открывается диод D_1 . Протекающий через него ток осуществляет подзаряд конденсатора C_1 совместно с током разряда конденсатора C_2 обеспечивает протекание тока через сопротивление нагрузки R_H .

Основные расчётные соотношения для этой схемы приведены в табл. 2. При определении параметра A следует использовать выражение

$$A = \frac{\pi I_H R_B}{0,5 U_H}$$

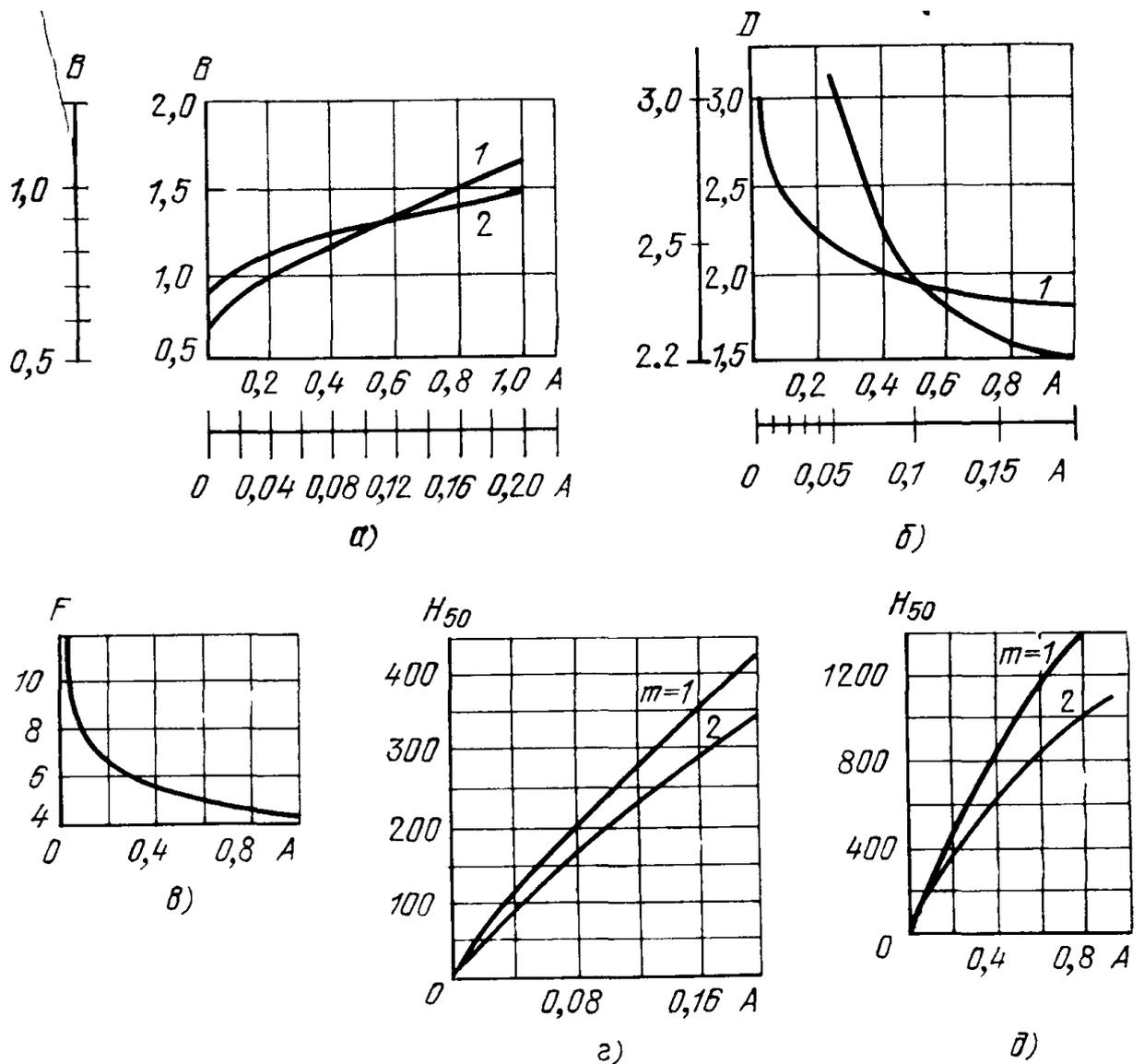


Рис.6. Зависимость параметров B , D , F , H от расчетного коэффициента A (кривые 1 на рис. (а) и (б) для масштаба A от 0 до 1, кривые 2 – для масштаба от 0 до 0,2)

3. СГЛАЖИВАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ

Сглаживающие фильтры включаются между выпрямителем и нагрузкой для уменьшения переменных составляющих (пульсаций выпрямленного напряжения). Эти фильтры выполняются из индуктивных элементов — дросселей и из емкостных элементов — конденсаторов. Простейший сглаживающий фильтр может состоять только из одного элемента, например, дросселя или конденсатора. В малогабаритной аппаратуре малой мощности

индуктивные элементы фильтра могут быть заменены активными - резисторами.

Сглаживающий фильтр должен не только ослаблять пульсации, но и иметь высокую надежность, малые потери мощности, высокий КПД, минимальные массу, габариты и стоимость, нежелательно создавать опасных для элементов схемы, нагрузки, перепадов напряжений и всплесков тока, как в статическом, так и в динамическом режимах работы

Сглаживающие свойства фильтра определяются его коэффициентом сглаживания q , представляющим собой отношение коэффициентов пульсации на входе S_0 и выходе S_{0H} фильтра:

$$q = \frac{S_0}{S_{0H}} = \frac{U_{m0}}{U_0} \frac{U_H}{U_{mH}}$$

где U_{m0} , U_{mH} — амплитуда основной гармоники пульсации выпрямленного напряжения соответственно на входе и выходе фильтра.

Основные схемы сглаживающих фильтров приведены рис. 4.

Индуктивный фильтр (рис 4, а) хотя и не применяется в маломощных выпрямителях, но может входить в состав сложных многосвязных фильтров. Параметры дросселя следует выбирать так, чтобы активное сопротивление обмотки $r_{др}$ было много меньше сопротивления нагрузки ($r_{др} \ll R_H$), а индуктивное сопротивление

$$X_{др} = 2\pi f_n L_\Phi$$

на частоте основной гармоники пульсаций f_n много больше, чем

$$R_H (X_{др} \gg R_H)$$

В этом случае практически вся постоянная составляющая напряжения будет приложена к нагрузке, а переменная составляющая – к дросселю.

ККоэффициент сглаживания индуктивного фильтра

$$q \approx \frac{\sqrt{R_H^2 + (2\pi f_n L_\Phi)^2}}{R_H}$$

По заданному q можно найти необходимую индуктивность дросселя

фильтра

$$L_{\Phi} \approx \frac{R_H}{2\pi f_H} \sqrt{q^2 - 1}$$

Индуктивный фильтр прост, дешев, имеет малые потери мощности. Коэффициент сглаживания фильтра растет с увеличением индуктивности дросселя, числа фаз питающего напряжения и с уменьшением сопротивления нагрузки. Поэтому индуктивные фильтры применяют совместно с многофазными мощными выпрямителями. При отключении нагрузки или скачкообразном изменении сопротивления возможно возникновение перенапряжений.

Емкостный сглаживающий фильтр (рис. 4,6) состоит из конденсатора C_{Φ} , подключенного параллельно сопротивлению нагрузки R_H . Принцип действия заключается в накоплении напряжения на конденсаторе фильтра и последующей отдаче этой энергии в нагрузку.

Коэффициент пульсаций напряжения нагрузки равен

$$S_{0H} = 0.5 \frac{\Delta U_c}{U_H} = \frac{1}{2mf_c C_{\Phi} R_H}$$

При этом

$$C_{\Phi} = \frac{10^8}{2mf_0 S_{0H} R_H}$$

Коэффициент сглаживания емкостного фильтра q определяется как отношение коэффициентов пульсаций напряжения нагрузки при отключенной и включенной емкостях фильтра

$$q = \frac{2R_B C_{\Phi}}{(m^2 - 1)H}$$

Если в качестве емкостного фильтра используются электролитические конденсаторы, то пульсации напряжения на нагрузке не должны превышать максимально допустимое значение перемены составляющей напряжения на конденсаторе при частоте пульсаций mf_c .

Из приведенной выше формулы для q видно, что с увеличением числа

фаз выпрямляемого напряжения коэффициент сглаживания емкостного фильтра уменьшается, а с увеличением сопротивления нагрузки — увеличивается. Поэтому емкостный фильтр целесообразно применять совместно с однофазными и маломощными схемами выпрямления.

Сглаживание пульсаций выпрямленного напряжения будет более эффективным, если в фильтре использовать оба реактивных элемента — дроссель и конденсатор. В простейшем Г-образном индуктивно-емкостном фильтре (рис. 4, в) параметры элементов выбираются таким образом, чтобы для основной гармоники пульсаций выполнялись условия

$$X_c = \frac{1}{m\omega_c C_\phi} \ll R_H; X_L = m\omega_c L_\phi \gg X_c \quad X_L \gg R_H$$

Коэффициент сглаживания Г-образного фильтра связан с произведением индуктивности и емкости (генри-микрофарады) следующим образом:

$$L_\phi C_\phi = \frac{(q + 1) \cdot 10^6}{m^2 \omega_c^2}$$

Для частоты питающей сети $f_c = 50$ Гц это выражение упрощается:

$$L_\phi C_\phi = \frac{10(q + 1)}{m^2}$$

а для частоты $f_c = 400$ Гц

$$L_\phi C_\phi = \frac{0.16(q + 1)}{m^2}$$

Для получения достаточно большого коэффициента сглаживания элементы резистивно-емкостного фильтра должны удовлетворять условиям

$$X_c \ll R_H; R_\phi \gg X_c$$

Коэффициент сглаживания фильтра

$$q \approx m\omega_c C_\phi R_\phi \frac{R_H}{R_H + R_\phi}$$

Сопротивление резистора R_ϕ обычно задается в пределах $R_\phi = (0,15 \dots 0,5) R_H$; КПД резистивно-емкостного фильтра сравнительно мал и обычно

составляет 0,6..0,8. Емкость C_{Φ} (в микрофарадах), обеспечивающую требуемый коэффициент сглаживания q при частоте сети $f_c = 50$ Гц, находят из выражения

$$R_{\Phi} C_{\Phi} \frac{R_H}{R_H + R_{\Phi}} \approx 3200 \frac{q}{m}$$

а при частоте сети $f_c = 400$ Гц

$$R_{\Phi} C_{\Phi} \frac{R_H}{R_H + R_{\Phi}} \approx 400 \frac{q}{m}$$

Преимущества резистивно-емкостных фильтров: малые габариты, масса и стоимость; недостаток – низкий КПД.

Сглаживающие индуктивно-емкостные фильтры достаточно просты и эффективны в выпрямительных устройствах средней и большой мощности. Однако масса и габариты таких фильтров весьма значительны, коэффициент сглаживания снижается с ростом тока нагрузки, фильтры малоэффективны при появлении медленных изменений сетевого напряжения. Индуктивные элементы фильтра являются источниками магнитных полей рассеяния, а совместно с паразитными емкостными элементами создают колебательные контуры, способствующие появлению переходных процессов.

Транзисторные фильтры по сравнению с индуктивно-емкостными сглаживающими фильтрами имеют меньшие габариты, массу и более высокий коэффициент сглаживания пульсаций. Основные схемы транзисторных фильтров приведены на рис. 7.

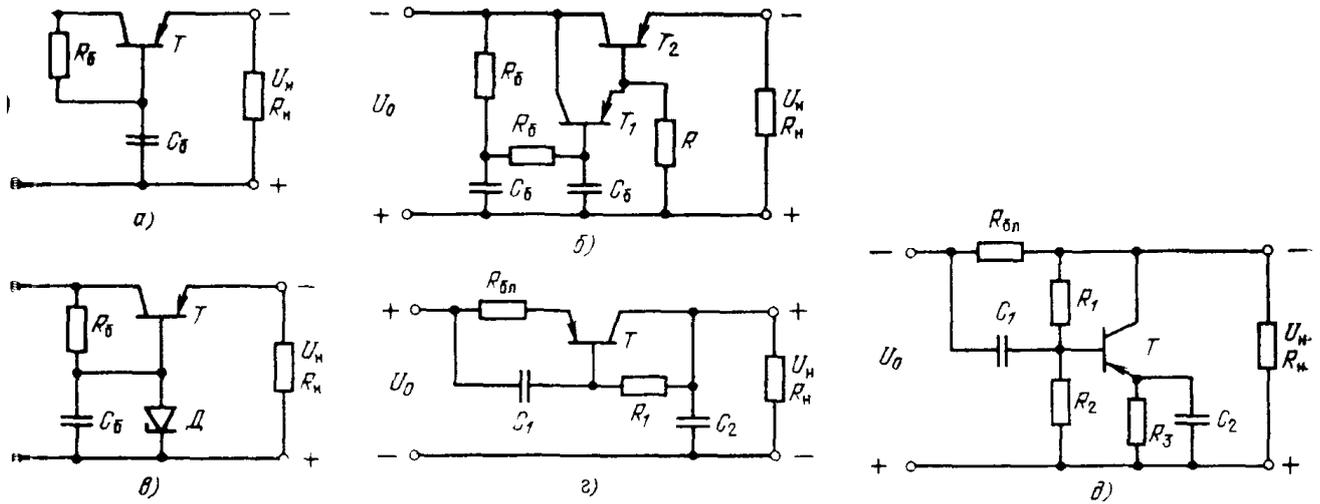


Рис. 7. Электрические схемы транзисторных фильтров с последовательным (а-г) и параллельным (д) включением транзистора, с нагрузкой в цепи эмиттера (а-в) и коллектора (г), с простейшим (а) и сложным RC-фильтром (в,г), стабилитроном (б) в базовой цепи

Коэффициент сглаживания транзисторного фильтра тем больше, чем больше коэффициент передачи тока транзистора T (иное обозначение, βT) и чем больше значение соотношений

$$\frac{R_б}{X_C} = \frac{R_б}{2\pi f_C C_б} \text{ и } \frac{r_{BX(T)}}{X_C}$$

т. е. чем меньше напряжение пульсаций на переходе эмиттер — база силового транзистора.

Для более успешного выполнения этих соотношений конденсатор $C_б$ может быть заменен одно- или двухзвенным резистивно-емкостным сглаживающим фильтром, а для увеличения коэффициента передачи тока транзистор T можно выполнить составным (рис. 7,б). Еще эффективнее работает транзисторный фильтр, у которого в цепь базы транзистора включен кремниевый стабилитрон (рис. 7, в).

Коэффициент полезного действия транзисторного фильтра будет тем больше, чем меньше падение постоянного напряжения на силовом транзисторе. Однако амплитуда переменной составляющей напряжения на транзисторе не должна превышать значение постоянного напряжения на

нем, иначе фильтр потеряет свою работоспособность.

Транзисторные фильтры не обеспечивают стабилизации постоянной составляющей выпрямленного напряжения, а при изменении тока нагрузки, температуры окружающей среды и воздействия других дестабилизирующих факторов вносят дополнительную нестабильность выпрямленного напряжения.

4. РАСЧЕТ ДВУХПОЛУПЕРИОДНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ С Г-ОБРАЗНЫМ ИНДУКТИВНО-ЕМКОСТНЫМ СГЛАЖИВАЮЩИМ ФИЛЬТРОМ

Расчет выпрямительного устройства состоит из выбора и расчета схем выпрямления, сглаживающего фильтра и трансформатора питания. Поскольку каждый последующий элемент выпрямительного устройства оказывает заметное влияние на режим работы предыдущего и следующего за ним элементов, расчет выпрямительного устройства производится в следующей последовательности: сглаживающий фильтр, выпрямитель, трансформатор.

Задача: привести расчет Г-образного индуктивно-емкостного сглаживающего фильтра без компенсационной обмотки, однофазного мостового выпрямителя и трансформатора. Методика расчета параметров элементов схемы соответствует данным табл. 2.

Исходные данные для расчета: среднее значение выпрямленного напряжения на нагрузке $U_n = 30$ В; среднее значение выпрямленного тока нагрузки $I_n = 2,5$ А, коэффициент пульсации выпрямленного напряжения на нагрузке $S_{он} = 2\%$; номинальное напряжение питающей сети $U_c = 220$ В; частота сети $f_c = 50$ Гц; сеть однофазная, форма питающего напряжения симметричная синусоидальная.

Порядок расчета

1. Сопротивление нагрузки выпрямительного устройства

$$R_i = \frac{U_i}{I_i} = \frac{30}{2.5} = 12 \text{ Ом}$$

2. Коэффициент пульсации выпрямленного напряжения однофазной двухполупериодной схемы выпрямления можно рассчитать

$$S_0 = \frac{2 \cdot 100}{m^2 - 1} = \frac{2 \cdot 100}{2^2 - 1} = 67\%$$

3. Коэффициент сглаживания фильтра

$$q = \frac{S_0}{S_\Phi} = \frac{67}{2} = 33.5$$

4. Произведение значений индуктивности и емкости сглаживающего фильтра

$$r_o = \frac{(q + 1) \cdot 10^6}{m^2 \omega_c^2} = \frac{(33.5 + 1)10^6}{2^2 (2\pi \cdot 50)^2} = 86,2$$

5. Собственная частота колебаний сглаживающего фильтра

$$f_\Phi = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{10^6}{L_\Phi \cdot C_\Phi}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{10^6}{86.2}} = 17.2 \text{ Гц}$$

Отсутствие резонансных колебаний на частоте первой гармоники переменной составляющей выпрямленного напряжения в фильтре проверяют из выражения

$$mf_c > 2f_0$$

При подстановке имеем $2 \cdot 50 = 100 > 2 \cdot 17,2 = 34,4$

Если приведенное условие не выполняется, то произведение $L_\Phi C_\Phi$ необходимо увеличить. Собственная частота колебаний фильтра не должна быть равной или кратной частоте питающей сети.

6. Индуктивность дросселя фильтра

$$L_\Phi = \frac{\sqrt{q + 1} \cdot \rho}{m \omega_c} = \frac{\sqrt{33.5 + 1} \cdot 3}{2 \cdot 2\pi \cdot 50} \text{ Гн}$$

где ρ – волновое сопротивление фильтра (в омах), принимаемое обычно равным $(0,15 \dots 0,25) R_H$

$$\rho = 0.25R_i = 0.25 \cdot 12 = 3 \text{ Ом}$$

Выбираем унифицированный дроссель фильтра типа Д62 с параметрами: индуктивность 0,05 Гн, ток подмагничивания 2,5 А, сопротивление обмотки дросселя 0,5 Ом. Таблица унифицированных дросселей фильтра приведена в работе [10]. В случае необходимости дроссель фильтра может быть рассчитан и изготовлен самостоятельно.

7. Проверка реального значения произведения

$$L_\phi C_\phi = 0.05 \cdot 6 \cdot 500 = 150 > 86.2 \text{ Гн} \cdot \text{мкФ}$$

Значение произведения $L_\phi C_\phi$, рассчитанного по формулам п. 6 и 7, должно быть больше или равно значению этого произведения, найденного в п. 4.

Действительное значение собственной частоты фильтра

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{10^6}{L_\phi \cdot C_\phi}} \approx \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{10^6}{0.05 \cdot 3000}} = 13 \text{ Гц}$$

8. Коэффициент затухания колебаний в фильтре при среднем значении тока в нагрузке

$$a = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R_\phi C_\phi} + \frac{R_B}{C_B} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{10^2}{12 \cdot 3000} + \frac{1.5}{0.05} \right) = 28.9$$

где R_B — внутреннее эквивалентное сопротивление выпрямителя.

Принимаем ориентировочно $R_B = 1,5 \text{ Ом}$.

9. Максимальное напряжение на конденсаторе фильтра при отключении нагрузки выпрямителя

$$U_{c_{\max}} = U_i + I_i \sqrt{\frac{L_\phi}{C_\phi}} \cdot e^{\frac{\alpha\pi}{2\omega}} = 30 + 2.5 \sqrt{\frac{0.05 \cdot 10^6}{3000}} \cdot e^{\frac{29.8\pi}{2 \cdot 32}} =$$

$$30 + 5.9 \approx 36 \text{ В}$$

Максимальное напряжение на конденсаторе фильтра в любом случае не должно превышать максимально допустимое значение напряжения для

выбранного типа конденсаторов. В данном случае

$$U_{\text{сmax(доп)}} < U_{\text{сmax}} = 50 \text{ В}$$

10. Проверка сглаживающего фильтра на индуктивную реакцию для схемы выпрямления

$$L_{\phi} = 0.05 \text{ А} \geq \frac{2 R_i}{(m^2 - 1) \cdot m \cdot \omega_c} = \frac{2 \cdot 12}{(2^2 - 1) \cdot 2 \cdot 2\pi \cdot 50} = 0.013 \text{ Гн}$$

Получаем $0,013 \text{ Гн} \leq 0,05 \text{ Гн}$. Условие выполняется, следовательно, фильтр имеет индуктивную реакцию.

11. Выбор типа выпрямительного диода для мостовой схемы. Обратное напряжение на диоде

$$U_{\text{обр}} = 1,57 \cdot 30 = 47,1 \text{ В}$$

Среднее значение тока диода

$$I_{\text{н.ср.}} = 0.5 I_{\text{н}} = 0.5 \cdot 2.5 = 1.25 \text{ А}$$

Действующее значение тока диода

$$I_{\text{н.д}} = 0.707 I_{\text{н}} = 0.707 \cdot 2.5 = 1.76 \text{ А}$$

Амплитудное значение тока диода

$$I_{\text{н.амп}} = I_{\text{н}} = 2.5 \text{ А}$$

Максимальное значение выпрямленного тока при включении нагруженного выпрямителя

$$I_{\text{max}} = I_i + U_i \sqrt{\frac{C_{\phi}}{L_{\phi}}} \cdot e^{\frac{\alpha\pi}{2\omega_0}} = 2.5 + 36 \cdot \sqrt{\frac{3000}{0.05 \cdot 10^6}} \cdot e^{\frac{28.9\pi}{2 \cdot 82}} =$$
$$2.5 + 5.5 = 8 \text{ А}$$

На основании данных расчета выбираем [11] или другой более современный справочник диоды типа КД202Г с параметрами:

$$U_{\text{обр.max}} = 70 \text{ В}; I_{\text{пр.ср.max}} = 3.5 \text{ А}; I_{\text{пр.перед.max}} = 9 \text{ А}.$$

В этом случае токоограничивающее (пусковое) сопротивление на входе схемы выпрямления не требуется

12. Расчет основных параметров трансформатора.

Габаритная (типовая) мощность

$$P_r = 1,11 \cdot P_H = 1,11 \cdot U_B \cdot I_B = 1,11 \cdot 30 \cdot 2,5 = 83 \text{ В А}$$

Действующее значение напряжения вторичной обмотки

$$U_B = U_2 = 1,11 \cdot U'_H = 1,11 \cdot (U_H + I_H \cdot R_H) = 1,11 \cdot (30 + 2 \cdot 5 \cdot 1,5) = 41,5$$

Действующее значение тока вторичной обмотки

$$I_B = I_2 = I_H = 2,5 \text{ А}$$

Коэффициент трансформации

$$n = \frac{U_c}{U_B} = \frac{220}{41,5} = 5,3$$

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА ПО КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

В состав отчетных документов по курсовому проекту входит пояснительная записка (ПЗ) объемом 20..30 страниц формата А4 (210x297мм).

Расчетно-пояснительная записка должна содержать следующие разделы:

- титульный лист;
- задание на курсовой проект;
- оглавление;
- основная часть, которая содержит проведенные расчеты;
- заключение.

Пояснительная записка должна показать умение студента логично и аргументировано излагать материал, а ее оформление должно соответствовать требованиям ЕСКД.

Текст ПЗ должен быть набран на компьютере в текстовом редакторе Microsoft Word и распечатан на одной стороне листа белой бумаги формата А4 с соблюдением следующих размеров полей: левое – 30 мм, правое – 15 мм, верхнее и нижнее – 20 мм. Для набора текста ПЗ следует использовать: гарнитуру шрифта – Times New Roman; размер шрифта (кегля) основного текста – 14 пт, подрисуночных подписей – 12 пт, в таблицах – 10–12 пт; цвет шрифта – черный. Абзацный отступ выполняется одинаковым по всему тексту и равен 1,25 см, межстрочный интервал – полуторный, выравнивание текста – по ширине. Каждый структурный элемент и раздел следует начинать с новой страницы.

Все математические расчет следует выделять из текста в отдельную строку. Формулы должны быть набраны в Microsoft Equation 3.0 или MathType шрифтом тех же гарнитуры и кегля, что и основной текст, к которому они относятся

Пояснительная записка должна содержать иллюстрации (графики исследуемых характеристик). Иллюстрации должны соответствовать

регламентам ЕСКД. Все иллюстрации именуются рисунками.

Иллюстрации следует размещать так, чтобы их можно было рассматривать без поворота документа или с поворотом на 90 по часовой стрелке. Иллюстрации следует располагать непосредственно по тексту сразу после первой ссылки, или, в случае отсутствия достаточного места на следующей странице. Если размер иллюстрации превышает максимально допустимый (165*257 мм), ее следует вынести в приложение.

Иллюстрации должны иметь подписи. Состав подрисуночной подписи следующий:

- а) слово «Рисунок», написанное полностью без сокращения;
- б) порядковый номер иллюстрации арабскими цифрами;
- в) собственно подпись.

ЗАЩИТА КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект, подписанный студентом, сдается на проверку консультанту. Если курсовой проект удовлетворяет, предъявляемым к нему требованиям, студент допускается в защите курсового проекта.

Для приема защиты курсового проекта кафедра формирует комиссию, в состав которой должно входить не менее трех преподавателей кафедры. Курсовые проекты защищают публично в присутствии студентов, желающих послушать защиту.

На доклад по курсовому проекту студенту отводится 5-7 минут. Для защиты студенту необходимо подготовить презентацию, в которой будут продемонстрированы проведенные расчеты.

По окончании доклада студенту могут быть заданы вопросы по выполненному курсовому проекту. Общее время на вопросы и ответы не должно превышать – 5 мин.

Курсовой проект оценивается по системе принятой в вузе (по 100 балльной шкале) с записью положительной оценки в зачетную книжку. При оценке учитывается правильность и качество пояснительной записки, качество сделанного доклада, правильность и краткость ответов на вопросы.

В случае неудовлетворительной оценки курсовой работы комиссия может:

- указать на необходимость доработки проекта без конкретизации допущенных ошибок и установить срок представления проекта к защите после доработки;

- предложить проведение дополнительной проработки отдельных вопросов и установить срок представления проекта к защите после доработки.

В случае повторной неудовлетворительной оценки проекта комиссия вправе сменить тематику проекта и назначить срок его представления к защите. Повторная защита на повышенную оценку допускается только в том случае, если автор провел его доработку.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Система исходных данных

N	$U_n, В$	$I_n, А$	$S_{он}, \%$
1	20	1,5	1,4
2	20	1,5	1,8
3	20	1,5	2,5
4	20	3,0	1,4
5	20	3,0	1,8
6	20	3,0	2,5
7	20	3,5	1,4
8	20	3,5	1,8
9	20	3,5	2,5
10	35	1,5	1,4
11	35	1,5	1,8
12	35	1,5	2,5
13	35	3,0	1,4
14	35	3,0	1,8
15	35	3,0	2,5
16	35	3,5	1,4
17	35	3,5	1,8
18	35	3,5	2,5
19	45	1,5	1,4
20	45	1,5	1,8
21	45	1,5	2,5
22	45	3,0	1,4
23	45	3,0	1,8
24	45	3,0	2,5
25	45	3,5	1,4
26	45	3,5	1,8
27	45	3,5	2,5

U_n – напряжение на нагрузке;

I_n – среднее значение выпрямленного тока в нагрузке;

$S_{он}$ – коэффициент пульсации выпрямленного напряжения на нагрузке.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильченко Б.В. Детали машин и основы конструирования. Метод.указания/ Ильченко Б.В., А.Н. Леонтьев А.Н. Казань: КГЭУ, 2004,19с.
2. Под ред. Пестрякова В.Б. Конструирование радиоэлектронных средств. М.: Радио и связь, 1992, 430с.
3. Дьяков А.Ф. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем. Учебн. пособие для вузов /Дьяков А.Ф., Платонов В.В. М.:МЭИ, 2000, 248с.
4. Филипс Ч. Системы управления с обратной связью: Пер с англ. Капылова Б.И. /Филипс Ч., Харбор Р. М.: Лабор.Базовых Знаний, 2001, 61бс.
5. Под ред.В.Г. Герасимова. Электротехнический справочник. в 4тт. М.: изд.МЭИ, 1995, 440с.
6. Фрумкин Г.Д. Расчёт и конструирование аппаратуры. М.:Высш.шк., 1989, 463с.
7. Ненашев А.П. Конструирование радиоэлектронных средств. М. : Высш.шк., 1990, 432с.
8. Вершинин О.Е., Мироненко И.Г. Монтаж радиоэлектронной аппаратуры и приборов. М.:Высш.шк., 1991, 208с
9. Игнатович В.Г., Митюхин А.И. Регулировка и ремонт бытовой радиоэлектронной аппаратуры. Минск.: Выш.шк., 1993, 367с.
10. Китаев В.Е., Бокуняев А.А. Проектирование источников электропитания устройств связи: Учебное пособие. М.:Связь, 1972, 200с.
11. Чернышев А.А., Иванов В.И., Галахов В.Д. и др. Диоды и тиристоры. 2-е изд. М.:Энергия, 1980, 176с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Задание на выполнение курсового проекта	4
1. Основные схемы выпрямления и их сравнительная характеристика	5
2. Режим работы выпрямителя на нагрузку индуктивного и емкостного характера	7
3. Сглаживающие фильтры	12
4. Расчет двухполупериодного выпрямителя с г-образным индуктивно-емкостным сглаживающим фильтром	18
Требования к оформлению отчета по курсовому проекту	23
Защита курсового проекта	25
Приложение	27
Список использованной литературы	28

Учебное издание

СОСТАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ И
РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПРИБОРОВ

Учебно-методическое пособие

Составители: **Козелков** Олег Владимирович,
Малев Николай Анатольевич,
Мухаметшин Азат Ильдусович

Кафедра приборостроения и мехатроники КГЭУ

Редактор *И. В. Краснова*
Компьютерная верстка *И. В. Красновой*

Подписано в печать 19.12.2024.
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 1,86. Уч.изд л. 0,79.
Заказ № 544/эл.

Редакционно-издательский отдел КГЭУ,
420066, Казань, ул. Красносельская, 51