

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ №1 «ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ»

1. Общие методические указания

В индивидуальном задании студентам необходимо: провести анализ технического задания, выбрать принципиальную схему выпрямителя, выпрямительные диоды, рассчитать сглаживающий фильтр, параметры питающего трансформатора, построить временные диаграммы для рассчитанного выпрямителя.

По результатам выполненного домашнего задания проводится его рецензия преподавателем, либо оно возвращается на доработку. После доработки для повторного рецензирования домашнего индивидуального задания в текст работы обязательно включать формулировку дополнительных необходимых вопросов, полученных после рецензирования.

Индивидуальные задания выполняются и высылаются на проверку преподавателю в соответствии с графиком изучения дисциплины.

2. Варианты индивидуального задания

Исходными данными для расчета выпрямителя являются:

- номинальное выпрямленное напряжение на нагрузке U_d ;
- ток нагрузки I_d ;
- допустимый коэффициент пульсаций выходного напряжения на нагрузке k_{Π} ;
- частота питающей сети f ;
- количество фаз n ;
- номинальное напряжение, подаваемое на первичную обмотку трансформатора U_1 .

Вариант выдается случайным образом в электронном курсе по дисциплине.

3. Расчет выпрямительного устройства

Процесс расчета выпрямительных устройств можно разделить на несколько этапов:

1. Анализ исходных данных и выбор принципиальной схемы выпрямителя;
2. Расчет параметров сглаживающего фильтра;
3. Расчет параметров вентильного узла и выбор типа выпрямительных диодов;

4. Расчет параметров трансформатора;
5. Построение временных диаграмм рассчитанного выпрямителя.

Выбор принципиальной схемы выпрямителя

Выбор схемы выпрямителя производят в зависимости от значения требуемой выходной мощности, выходного напряжения, коэффициента пульсаций, числа фаз. Критериями для выбора конкретного вида выпрямителя служат достоинства и недостатки.

Однополупериодные выпрямители применяются в основном с выходной мощностью до 10 Вт и в тех случаях, когда допускается сравнительно высокий коэффициент пульсаций. Преимуществом таких выпрямителей являются простота и возможность работать без трансформатора. Их недостатки: низкая частота пульсаций, высокое обратное напряжение на выпрямительных диодах, плохое использование трансформатора, подмагничивание сердечника трансформатора постоянным током.

Двухполупериодные выпрямители со средней точкой применяются при напряжениях нагрузки до нескольких десятков вольт и выходной мощности до 50 Вт. На выходе выпрямителя устанавливают Г- или П-образные LC- и RC-фильтры. Преимущества этих выпрямителей: повышенная частота пульсаций, малое число вентилях, возможность применения общего радиатора без изоляции вентилях, малое падение напряжения на вентилях. Недостатки: большая требуемая габаритная мощность трансформатора, повышенное обратное напряжение на вентильных диодах.

Мостовая схема выпрямления применяется наиболее часто. Их можно использовать при любом характере нагрузки (емкостная, индуктивная) при выходной мощности до 300 Вт. Ее применяют с емкостным, Г- или П-образными LC- и RC-фильтрами. Достоинствами мостовых выпрямителей являются: повышенная частота пульсаций, небольшое обратное напряжение на выпрямительных диодах, эффективное использование трансформатора. Недостатками являются: повышенное падение напряжения на вентилях, в результате чего ее не рекомендуют применять при напряжениях нагрузки менее 5 В; невозможность установки одностипных вентилях на одном радиаторе без изолирующих прокладок.

Основные виды сглаживающих фильтров и особенности их применения

Режим работы выпрямителя в значительной степени определяется типом сглаживающего фильтра, включенного на его выходе. В мало-мощных выпрямителях, питающихся от однофазной сети переменного тока, применяются простейшие ёмкостные фильтры, в выпрямителях

средней и большой мощности – Г-образные LC - и RC -фильтры и П-образные CLC - и CRC -фильтры.

Основным параметром сглаживающих фильтров является коэффициент сглаживания q :

$$q = \frac{k_{\text{псх}}}{k_{\text{пн}}}, \quad (1)$$

где $k_{\text{псх}}$ – коэффициент пульсаций на входе фильтра; $k_{\text{пн}}$ – коэффициент пульсаций на нагрузке.

Индуктивно-ёмкостные фильтры (Г-образный LC -фильтр и П-образный CLC -фильтр) широко применяются при повышенных токах нагрузки, поскольку падение напряжения на них можно сделать сравнительно небольшим. КПД у таких фильтров достаточно высокий. Недостатки индуктивно-ёмкостных фильтров: большие габаритные размеры и масса, повышенный уровень электромагнитного излучения от элементов фильтра, сравнительно высокая стоимость и трудоемкость изготовления.

Наиболее широко используется Г-образный LC -фильтр (рис. 1). Для эффективного сглаживания пульсаций таким фильтром необходимо выполнение следующих условий:

$$X_C = \frac{1}{m\omega C} \ll R_n; \quad X_L = m\omega L \gg X_C. \quad (2)$$

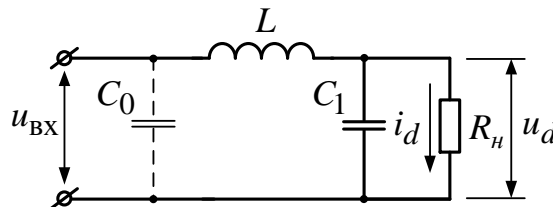


Рис. 1. Индуктивно-ёмкостный сглаживающий фильтр

При их выполнении, пренебрегая потерями в дросселе L , для коэффициента сглаживания можно записать:

$$q = (m\omega)^2 LC - 1. \quad (3)$$

Для того чтобы избежать резонансных явлений в фильтре необходимо выбирать $q > 3$. Кроме этого, одним из основных условий является обеспечение явно выраженной индуктивной реакции фильтра на выпрямитель, необходимой для большей стабильности внешней характеристики выпрямителя. При индуктивной реакции фильтра меньше действующие значения токов в вентильях и обмотках трансформатора. Для обеспечения индуктивной реакции необходимо, чтобы:

$$L \geq \frac{2U_d}{(m^2 - 1)m\omega I_d} = \frac{2R_H}{(m^2 - 1)m\omega}. \quad (4)$$

П-образный *CLC*-фильтр отличается от описанного *LC*-фильтра наличием еще одной ёмкости C_0 , включаемой на входе фильтра. Расчет таких фильтров производят в два этапа, сначала рассчитывают ёмкость конденсатора C_0 , исходя из допустимой величины пульсации напряжения на нем, затем по приведенным выше формулам рассчитывают Г-образное звено. Наибольший коэффициент сглаживания в П-образном фильтре достигается при $C_0 = C_1$.

При выборе конденсаторов фильтра следует следить за тем, чтобы они были рассчитаны на напряжение на 15К 20 % превышающее напряжение холостого хода выпрямителя при максимальном напряжении сети (чтобы учесть перенапряжения, возникающие при включении выпрямителя). Необходимо также, чтобы амплитуда переменной составляющей напряжения на них не превышала предельно допустимого значения.

Резистивно-ёмкостные фильтры целесообразно применять при малых токах нагрузки (менее 10К 15 мА) и небольших требуемых коэффициентах сглаживания. Достоинства этих фильтров – малые габариты и масса, низкая стоимость. Недостаток – сравнительно большое падение напряжения на фильтре (что снижает КПД устройства выпрямления в целом).

Простейший Г-образный *RC*-фильтр (рис. 2) состоит из балластного резистора R_Φ и конденсатора C_1 . Коэффициент сглаживания такого фильтра вычисляется по формуле:

$$q = m\omega C \frac{R_H R_\Phi}{R_H + R_\Phi}. \quad (5)$$

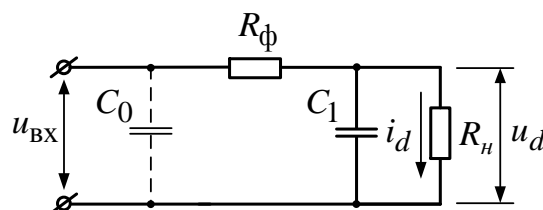


Рис. 2. Резистивно-ёмкостный сглаживающий фильтр

Сопротивление фильтра R_Φ выбирают из условия допустимого падения напряжения на фильтре или исходя из заданного КПД η по формуле:

$$R_{\phi} = \frac{R_H(1-\eta)}{\eta}. \quad (6)$$

Оптимальным считается КПД порядка $\approx 0,6$ – $0,8$.

Расчет П-образного резистивно-ёмкостного фильтра (его схема включает дополнительный конденсатор C_0 , показанный на рис. 2 пунктиром) производится, как и в случае П-образного CLC -фильтра, в два этапа после разделения этого фильтра на ёмкостной C_0 и Г-образный LC_1 -фильтр.

Выбор выпрямительных диодов

Для того чтобы выбрать тип полупроводниковых диодов выпрямителя необходимо рассчитать с учетом характера нагрузки основные характеристики выпрямителя по формулам табл. 2:

- значение максимального обратного напряжения $U_{обр\ max}$, прикладываемого к силовым диодам при работе выпрямителя выбранного типа;
- максимальное значение прямого тока $I_{пр\ ср\ max}$ диодов;

Таблица 2

Параметры выпрямителя при работе на различную нагрузку

Тип выпрямителя	Тип нагр.	Режим работы диодов				$k_{п\ сx}$	$f_{п}$
		$U_{обр\ max}$	$I_{пр\ ср}$	$I_{пр\ д}$	$I_{пр\ ср\ max}$		
Однофазный однополупериодный	R	πU_d	I_d	$\frac{\pi}{2} I_d$	πI_d	1,57	$f_{вх}$
	RC	$2B\sqrt{2}U_d$	I_d	$D I_d$	$F I_d$	$\frac{H}{rC}$	$f_{вх}$
	RL	πU_d	I_d	$\sqrt{2} I_d$	$2 I_d$	1,57	$f_{вх}$
Однофазный двухполупериодный со средней точкой	R	πU_d	$\frac{1}{2} I_d$	$\frac{\pi}{4} I_d$	$\frac{\pi}{2} I_d$	0,66	$2 f_{вх}$
	RC	$2B\sqrt{2}U_d$	$\frac{1}{2} I_d$	$\frac{D}{2} I_d$	$\frac{F}{2} I_d$	$\frac{H}{rC}$	$2 f_{вх}$
	RL	πU_d	$\frac{1}{2} I_d$	$\frac{\sqrt{2}}{2} I_d$	I_d	0,66	$2 f_{вх}$
Однофазный мостовой	R	$\frac{\pi}{2} U_d$	$\frac{1}{2} I_d$	$\frac{\pi}{4} I_d$	πI_d	0,66	$2 f_{вх}$
	RC	$B\sqrt{2}U_d$	$\frac{1}{2} I_d$	$\frac{D}{2} I_d$	$\frac{F}{2} I_d$	$\frac{H}{rC}$	$2 f_{вх}$
	RL	$\frac{\pi}{2} U_d$	$\frac{1}{2} I_d$	$\frac{\sqrt{2}}{2} I_d$	I_d	0,66	$2 f_{вх}$

Характер нагрузки выпрямителя может быть активным (R), активно-индуктивным (RL) или активно-ёмкостным (RC). Выпрямитель с выходным ёмкостным или резистивно-ёмкостным фильтром считается нагруженным на активно-емкостную нагрузку, а выпрямитель с фильтром, начинающимся на индуктивность – на активно-индуктивную нагрузку.

При наличии активно-ёмкостной нагрузки амплитудное и действующее значения тока выпрямительных диодов могут существенно превышать расчетное среднее значение. Поэтому в целях исключения перегрузки выпрямительных диодов на практике для однополупериодного выпрямителя используется повышающий коэффициент 2,2, а для двухполупериодного – 1,1.

Учитывая вышеизложенные рекомендации необходимо подобрать по справочнику наиболее подходящий тип полупроводниковых диодов.

Если характер нагрузки выпрямителя активно-емкостной, выбор типа выпрямительных диодов выполняется в два этапа. Во-первых, необходимо рассчитать значение максимального обратного напряжения $U_{обр\max}$, а также оценить максимальное среднее значения прямого тока, протекающего через диоды $I_{пр\ ср\ max}$ формулам табл. 2 для активно-го характера нагрузки и по данным значениям предварительно выбрать тип диодов. Затем рассчитать вспомогательные коэффициенты по формулам и графикам, приведенным в следующем разделе и пересчитать основные характеристики выпрямителя по табл. 2 для активно-емкостного характера нагрузки.

Расчет параметров трансформатора

После выбора схемы выпрямителя, сглаживающего фильтра и типа выпрямительных диодов следует рассчитать параметры требуемого трансформатора и режимов работы всех элементов выпрямителя.

Ниже приводится порядок таких расчетов.

1. Определяем сопротивление вторичной обмотки трансформатора $r_{тр}$ и вентилей при прямом смещении $r_{пр}$, а также сопротивление фазы выпрямителя.

$$r_{тр} = \frac{jU_d}{I_d Bf} \sqrt{\frac{jBf}{1,6U_d I_d}}, \quad (7)$$

где j – средняя плотность тока в обмотках трансформатора, А/мм²; B – магнитная индукция, Тл; f – частота входного напряжения, Гц.

На практике для выпрямителей мощностью до 10 Вт выбирают $r_{тр} \approx (0,07K \ 0,1)R_d$, а для выпрямителей мощностью ≥ 10 Вт $r_{тр} \approx (0,05K \ 0,08)R_d$.

Сопротивление вентиляй, включенных в прямом направлении $r_{пр}$, может быть найдено из справочных данных на конкретный тип выпрямительных диодов:

$$r_{пр} = \frac{U_{пр\ ср\ max}}{I_{пр\ ср\ max}} \approx \frac{U_{пр\ ср\ max}}{3I_{пр\ ср}}. \quad (8)$$

Для однополупериодной и двухполупериодной схемы выпрямления со средней точкой: $r = r_{пр} + r_{тр} + R_{\Phi}$, а для мостовой схемы выпрямления $r = 2r_{пр} + r_{тр} + R_{\Phi}$. Сопротивление R_{Φ} – это активное сопротивление сглаживающего RC-фильтра, для этих фильтров $R_{\Phi} \approx (0,1K \ 0,25)R_d$.

2. Для случая активно-ёмкостной нагрузки необходимо определить вспомогательные коэффициенты A, F, D, B, H .

Для однополупериодных выпрямителей: $A = \frac{I_d \pi r}{U_d}. \quad (9)$

Для двухполупериодных выпрямителей: $A = \frac{I_d \pi r}{2U_d}. \quad (10)$

Затем необходимо определить остальные вспомогательные коэффициенты можно с помощью графиков на рис. 3, 4.

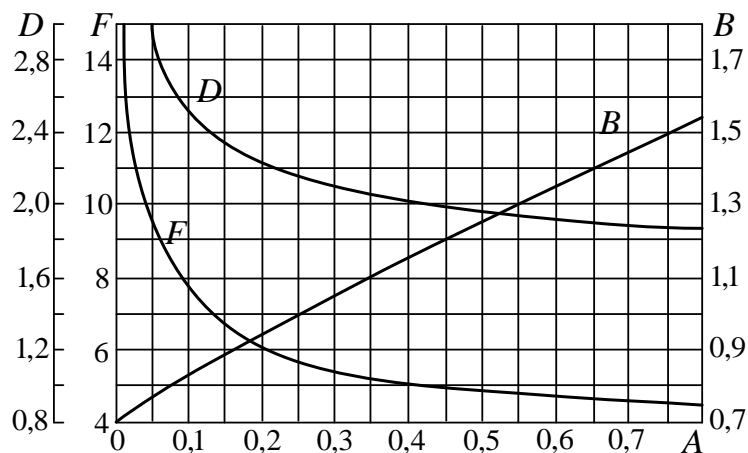


Рис. 3. Графики для расчета коэффициентов D, F, B

На рис. 4 показаны зависимости: 1 – для однополупериодных выпрямителей; 2 – для двухполупериодных и мостовых выпрямителей.

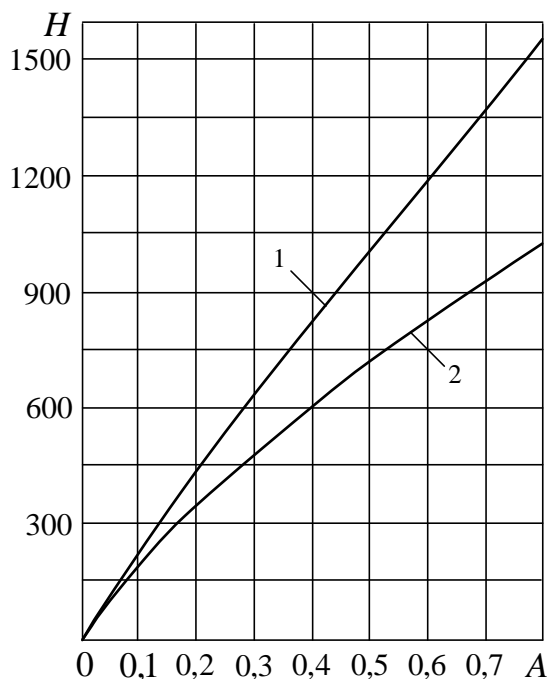


Рис.4. Графики для расчета коэффициента H

По заданному коэффициенту пульсации k_{Π} определяется ёмкость конденсатора выходного ёмкостного фильтра, мкФ:

$$C = \frac{H}{rk_{\Pi}}. \quad (11)$$

3. Рассчитываем параметры трансформатора по табл. 3:

- действующее значение напряжения $U_{2д}$ и тока $I_{2д}$ вторичной обмотки трансформатора;
- минимальную требуемую мощность вторичной обмотки трансформатора P_2 .

Таблица 3

Параметры трансформаторов выпрямителей,
работающих при различной нагрузке

Тип выпрямителя	Тип нагрузки	Параметры вторичной обмотки трансформатора		
		$U_{2д}$	$I_{2д}$	P_2
Однофазный однополупериодный	R	$\frac{\pi}{\sqrt{2}} U_d$	$\frac{\pi}{2} I_d$	$\frac{\pi^2}{2\sqrt{2}} P_d$
	RC	BU_d	DI_d	BDP_d
	RL	$\frac{\pi}{\sqrt{2}} U_d$	$\sqrt{2} I_d$	πP_d

Однофазный двухполупериодный со средней точкой	R	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}} U_d$ (две обмотки)	$\frac{\pi}{4} I_d$	$\frac{\pi^2}{8\sqrt{2}} P_d$ (две обмотки)
	RC	BU_d (две обмотки)	$\frac{D}{2} I_d$	$\frac{BD}{2} P_d$ (две обмотки)
	RL	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}} U_d$ (две обмотки)	$\frac{\sqrt{2}}{2} I_d$	$\frac{\pi}{4} P_d$ (две обмотки)
Однофазный мостовой	R	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}} U_d$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}} I_d$	$\frac{\pi^2}{8} P_d$
	RC	$2BU_d$	$\frac{D\sqrt{2}}{2} I_d$	$\frac{BD}{\sqrt{2}} P_d$
	RL	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}} U_d$	I_d	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}} P_d$

Построение временных диаграмм выпрямителя

Проверку соответствия применяемых компонентов режиму их работы в выпрямителе необходимо провести, смоделировав полученное выпрямительное устройство с использованием прикладной программы Electronics Workbench (Multisim). С помощью осциллографа привести этапы преобразования электрической энергии для этого необходимо привести осциллограммы напряжения на вторичной обмотке трансформатора, после вентильной группы (до фильтра) и на нагрузке.

4. Учебно-методическое обеспечение

1. Глазачев А.В., Петрович В.П. Физические основы электроники: Учебное пособие / – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2012. – 212 с.

2. Усатенко С.Т., Каченюк Т.К., Терехова М.В. Выполнение электрических схем по ЕСКД: справочник. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 325 с.

3. Ровдо А.А. Полупроводниковые диоды и схемы с диодами. – М.: Лайт Лтд., 2000. – 288 с.

4. Аксенов А. И. Отечественные полупроводниковые приборы: Справочное пособие: Кн.1. Аналоги отечественных и зарубежных приборов / А. И. Аксенов, А. В. Нефедов . – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Солон-Пресс, 2003 . – 544 с.

5. Диоды. Варикапы. Стабилитроны и стабисторы. Тиристоры. Оптоэлектронные приборы. – М.: Солон-Р, 2003. – 497 с