**РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ №3**

**ОДНОФАЗНЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

Для выпрямления однофазного переменного напряжения широко применяют три типа выпрямителей: однополупериодный, двухполупериодный со средней точкой и двухполупериодный мостовой.

**Однополупериодный выпрямитель** (рис.3.1). Когда на диод со вторичной обмотки трансформатора поступает напряжение положительной полярности ("+" приложен к аноду диода), диод открывается, и через нагрузку протекает ток, определяемый напряжением на обмотке и сопротивлением нагрузки. Падение напряжения на кремниевом диоде (около 1В) обычно мало по сравнению с питающим. Напряжение на выходе выпрямителя имеет вид однополярных импульсов, форма которых практически повторяет форму положительной полуволны переменного напряжения.



Рис. 3.1. Однополупериодный выпрямитель

Недостатки однополупериодного выпрямителя:

- большой коэффициент пульсаций – 1,57;

- малые значения выпрямленного тока и напряжения;

- низкий КПД, т.к. ток нагрузки имеет постоянную составляющую, которая вызывает подмагничивание сердечника трансформатора и уменьшение его магнитной проницаемости.

**Двухполупериодный выпрямитель со средней точкой** (рис.3.2). В нем вторичная обмотка состоит из двух одинаковых половин с отводом от общей точки. Эту схему можно рассматривать как сочетание двух однополупериодных выпрямителей, включенных на одну нагрузку. Коэффициент пульсаций для этой схемы **р**=0,67.



Рис. 3.2. Двухполупериодный выпрямитель со средней точкой

Достоинства двухполупериодного выпрямителя:

- отсутствие подмагничивания трансформатора;

- более высокий КПД;

- меньший коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения по сравнению с однополупериодным выпрямителем – 0,67;

- вдвое большая частота пульсаций выпрямленного напряжения, чем в однополупериодной схеме, что облегчает их сглаживание.

Основной недостаток — необходимость второй обмотки, т.к. обе обмотки работают поочередно, то используются примерно на 50%.

**Однофазный мостовой выпрямитель** (рис.3.3) состоит из трансформатора и четырех диодов, подключенных ко вторичной обмотке трансформатора. В каждый полупериод открыта пара диодов, расположенных в противоположных плечах моста.



Рис. 3.3. Однофазный мостовой выпрямитель

Среднее значение выпрямленного напряжения равно:

, (1)

откуда действующее напряжение вторичной обмотки:

. (2)

Среднее значение выпрямленного тока:

 (3)

Средний выпрямленный ток каждого диода

. (4)

Действующее значение тока нагрузки:

. (5)

Масса и стоимость трансформатора в этой схеме меньше чем в схеме с выводом от средней точки, мощность выпрямителя выше за счет более рационального использования трансформатора. Частота пульсаций, как и в предыдущей схеме, вдвое больше частоты сети.

Следует особо отметить, что мостовой выпрямитель может подключаться в сеть без трансформатора. Коэффициент пульсаций **р**=0,67.

В отличие от выпрямителя со средней точкой, где обмотки трансформатора используются примерно на 35...40%, в мостовом выпрямителе обмотка работает оба полупериода, поэтому коэффициент ее использования достигает 80%. Кроме того, в нем можно использовать диоды с вдвое меньшим допустимым напряжением.



Рис. 3.4. Однофазный мостовой выпрямитель с емкостным фильтром

Недостаток мостовой схемы — удвоенное количество диодов по сравнению с выпрямителем со средней точкой. Однако суммарное сопротивление постоянному току двух диодов и обмотки мостового выпрямителя чаще оказывается меньше сопротивления одного диода и обмотки выпрямителя со средней точкой.

При работе выпрямителя на емкостной фильтр (рис. 3.4) диод в плече (оба диода для мостовой схемы) открывается, когда напряжение на входе выпрямителя становится равным напряжению (точнее, превышает его на порог открывания диода) на конденсаторе сглаживающего фильтра (момент t1). При этом в интервале t1-t2 ток через открытые диоды ограничен только сопротивлением обмотки трансформатора и открытых диодов. В момент времени t2 напряжение на входе выпрямителя вновь становится равным напряжению на конденсаторе, и открытый диод закрывается. При этом начинается разряд конденсатора фильтра на сопротивление нагрузки. Открывание другого диода происходит в момент времени t3. Далее процессы повторяются.

Временные диаграммы, иллюстрирующие работу двухтактных выпрямителей на емкостной фильтр, приведены на рис.3.5.



Рис. 3.5. Временные диаграммы

**Задание:** рассчитать однофазный двухполупериодный выпрямитель с полупроводниковыми диодами, включенными по мостовой схеме. Сглаживающий фильтр - емкостной (рис. 3.4).

**Дано**: напряжение сети **U1**; частота тока сети **f**; выпрямленное напряжение **Uн**; ток нагрузки **Iн**.; коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения **р** (табл. 3.1); тип вентиля – кремниевые диффузионные диоды типа **КЦ402А-КЦ402И** (табл. 3.1).

**Определить**: тип вентиля, токи, напряжения в обмотках трансформатора, типовую мощность трансформатора, емкость конденсатора фильтра. Изобразить принципиальную схему выпрямителя с обозначением заданных и рассчитанных электрических величин. Построить в масштабе временные диаграммы напряжений **U1=f(t), U2=f(t), Uн=f(t).**

Данные для расчетов взять из табл. 3.1. Тип вентиля выбрать из табл. 3. 2.

**Методические указания**

Методика инженерного расчета выпрямителей с емкостным характером нагрузки при некоторых допущениях основана на использовании графических зависимостей расчетных коэффициентов B, Д и H от коэффициента A (рис.3.6).

Эта методика позволяет обеспечить точность расчета в пределах 10%. Если необходимо повысить точность расчета, то необходимо учитывать индуктивность рассеяния трансформатора и реальную величину емкости, при этом расчетные соотношения резко усложняются, но по форме останутся такими же.



Рис.3.6. График для расчета коэффициентов В, Д, H

Для выполнения задания используется приближенный аналитический метод, суть которого заключается в следующем: определяется величина параметра **A** в зависимости от схемы выпрямления, напряжения, тока и сопротивления нагрузки; каждому значению параметра **A** соответствуют параметры коэффициентов В, Д, С.

**Порядок расчета**

1. В начале для выбора вентиля задаемся числовыми значениями параметров: В=1, Д=2.
2. Определяем данные вентиля:

 Iпр.ср. = 0,5 Iн – среднее значение тока вентиля,

 Iв = 0,5Д Iн – действующее значение тока вентиля,

 Iпр.макс. = 0, 5 F Iн – амплитудное значение тока вентиля,

 Uобр. = 1,41ВUн – обратное напряжение на вентиле.

1. По параметрам вентиля Uобр. и Iпр.ср. выбираем тип вентиля (табл. 3.2) и его электрические параметры.

Далее необходимо определить минимально значимые параметры трансформатора.

Трансформатором называют электромагнитный аппарат, посредством которого переменный ток одного напряжения преобразуется в переменный ток другого напряжения той же частоты. В трансформаторе используется явление взаимоиндукции. Конструктивные параметры трансформаторов при расчете выбирают из условия обеспечения допустимого падения напряжения на обмотках и их перегрева. При выборе магнитопровода определяющими являются трансформируемая мощность и частота тока.

 Исходными данными для расчета силового трансформатора являются:

-электрическая схема (количество обмоток) трансформатора;

-схема подключаемой нагрузки (напряжение, сопротивление и т.п.);

-напряжение и частота питающей сети;

-масса, габариты, стоимость;

-условия эксплуатации.

При чисто активной нагрузке расчет трансформатора, как правило, выполняется сравнительно просто. Однако чаще всего силовой трансформатор работает на выпрямитель, и существенное влияние на сложность расчета оказывает вид нагрузки — активная, активно-емкостная или активно-индуктивная, а также наличие противо-ЭДС. Нагрузка с противо-ЭДС возникает, например, в том случае, когда от выпрямителя питается двигатель постоянного тока.

Сердечник трансформатора работает в условиях постоянного перемагничивания. Чтобы иметь минимальные потери от перемагничивания, необходимо применять ферромагнитные материалы с узкой петлей гистерезиса, т.е. магнитомягкие. К таким материалам относится листовая электротехническая сталь.

Для трансформаторов применяют три типа магнитопроводов: броневые, стержневые и кольцевые (рис.3.7). На рис. 3.7а показан броневой магнитопровод типа Ш (ШЛ), на рис. 3.7б — стержневой П (ПЛ), на рис. 3.7в — кольцевой О (ОЛ). Буква Л в обозначении типа означает, что магнитопровод изготовлен из ленты. Часть магнитопровода, на котором расположена катушка, называется стержнем, все остальное — ярмом (боковым, торцевым).



Рис. 3.7. Типы магнитопроводов

1. Определяем приближенные значения активного сопротивления обмоток трансформатора Rтр (Ом):

Rтр = Кн $\frac{Uн∙10^{-7}}{Iн∙f∙B}∙\sqrt[4]{\frac{S∙f∙B}{Uн∙Iн}}$ , (6)

где Uн – выпрямленное напряжение, В;

 Iн – ток нагрузки, А;

 S – число стержней, несущих обмотки

 (мы выбираем броневую конфигурацию магнитопровода, для которой S=1);

 Bм – магнитная индукция в сердечнике трансформатора, Тл;

 F – частота сети, Гц

Для трансформаторов мощностью до 1000 Вт:

Bм= 1,21,6 Тл и Кн=$10^{3}$ (для мостовой однофазной схемы).

1. Определяем сопротивление фазы выпрямителя

R=Rтр + R пр, (7)

где R пр =  $\frac{Uпр}{ Iпр.ср. макс.}$ - суммарное прямое сопротивление всех последовательно включенных вентилей (Ом).

1. По заданным значениям Uн, Iн и определенному в п. 5 значению R определяем параметр A:

, (8)

где m- коэффициент, зависящий от схемы выпрямителя, показывающий во сколько раз частота основной гармоники выпрямленного напряжения больше частоты тока сети.

(Для мостовой схемы m=2).

1. По значению параметра А, на графике (рис.3.6), находим значения параметров В(А) и Д(А).
2. По величинам В(А) и Д(А) для мостовой схемы выпрямления определяем параметры трансформатора:

U2 =B(А)Uн - действующее значение напряжения вторичной обмотки;

I2 = 0,707Д(А)1I$∙Д∙I$н - действующее значение тока вторичной обмотки;

I1= 0,707 – действующее значение тока первичной обмотки, где коэффициент трансформации:

Ктр =; (9)

Pтип = 0,707В(А)Д(А)Рн$∙B∙Д$ $∙Pн. $=0,707В(А)Д(А)Uн I$∙B∙Д$$∙Uн. ∙I$н – типовая мощность трансформатора.

1. Уточняются параметры вентиля

Iв = 0, 5 Д(А)I$∙Д∙I$н

Uобр = 1,11$∙B∙Uн $В(А)Uн при определенных в п.7 В и С.

Сравнивая параметры выбранного вентиля с уточненными, делаем заключение о правильности выбранного вентиля.

1. Далее определяем емкость конденсатора. С:

C =$ \frac{100∙H}{p∙R}$; (10)

где $R-$R - сопротивление фазы выпрямителя (8), (Ом);

 p - коэффициент пульсации выпрямленного напряжения (67%).

1. Исходя из полученных данных строим временные диаграммы U1=f(t), U2=f(t), Uн=f(t). В отчете приводим принципиальную схему выпрямителя с обозначением заданных и рассчитанных электрических величин.

Выбор варианта задания для расчета выпрямителя определяется последними двумя цифрами номера зачетной книжки студента.

Таблица 3.1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар. | Напряж. сети U1, В | Выпр.напряж. Uн., В | Ток нагрузки Iн., мА | Коэфф. пульсации P, % | Частота тока сети,f, Гц. |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 127 | 80 | 200 | 5 | 50 |
| 2 | 220 | 150 | 400 | 6 | 400 |
| 3 | 380 | 200 | 100 | 7 | 50 |
| 4 | 127 | 100 | 220 | 6 | 100 |
| 5 | 220 | 140 | 300 | 8 | 400 |
| 6 | 380 | 180 | 500 | 3 | 50 |
| 7 | 127 | 60 | 150 | 6 | 400 |
| 8 | 220 | 130 | 280 | 4 | 50 |
| 9 | 380 | 200 | 120 | 7 | 100 |
| 10 | 127 | 90 | 100 | 5 | 50 |
| 11 | 220 | 120 | 250 | 8 | 100 |
| 12 | 380 | 150 | 300 | 3 | 100 |
| 13 | 127 | 70 | 120 | 5 | 100 |
| 14 | 220 | 150 | 280 | 4 | 50 |
| 15 | 380 | 160 | 200 | 6 | 400 |
| 16 | 127 | 100 | 200 | 5 | 400 |
| 17 | 220 | 140 | 280 | 7 | 400 |
| 18 | 380 | 180 | 300 | 8 | 50 |
| 19 | 127 | 80 | 150 | 5 | 100 |
| 20 | 220 | 130 | 400 | 3 | 400 |
| 21 | 380 | 150 | 500 | 4 | 100 |
| 22 | 127 | 90 | 160 | 6 | 400 |
| 23 | 220 | 120 | 200 | 5 | 100 |
| 24 | 380 | 160 | 240 | 6 | 50 |
| 25 | 127 | 100 | 150 | 5 | 60 |
| 26 | 220 | 180 | 320 | 7 | 50 |
| 27 | 380 | 170 | 160 | 8 | 100 |
| 28 | 127 | 70 | 100 | 6 | 100 |
| 29 | 220 | 160 | 250 | 3 | 100 |
| 30 | 380 | 180 | 400 | 4 | 400 |
| 31 | 127 | 80 | 100 | 5 | 400 |
| 32 | 320 | 120 | 230 | 3 | 100 |
| 33 | 220 | 140 | 200 | 4 | 50 |

Продолжение табл.3.1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 34 | 220 | 150 | 400 | 5 | 50 |
| 35 | 380 | 130 | 300 | 6 | 50 |
| 36 | 380 | 160 | 250 | 7 | 50 |
| 37 | 380 | 200 | 100 | 8 | 100 |
| 38 | 127 | 80 | 200 | 8 | 400 |
| 39 | 127 | 70 | 300 | 6 | 400 |
| 40 | 127 | 100 | 400 | 7 | 400 |
| 41 | 220 | 180 | 500 | 4 | 100 |
| 42 | 380 | 220 | 100 | 5 | 100 |
| 43 | 380 | 200 | 200 | 3 | 100 |
| 44 | 220 | 160 | 400 | 6 | 50 |
| 45 | 127 | 80 | 500 | 6 | 400 |
| 46 | 127 | 90 | 300 | 7 | 50 |
| 47 | 220 | 160 | 250 | 4 | 100 |
| 48 | 380 | 240 | 300 | 3 | 400 |
| 49 | 380 | 250 | 500 | 8 | 50 |
| 50 | 220 | 180 | 400 | 6 | 100 |
| 51 | 220 | 160 | 200 | 6 | 50 |
| 52 | 127 | 70 | 300 | 4 | 50 |
| 53 | 127 | 60 | 100 | 5 | 400 |
| 54 | 380 | 300 | 500 | 7 | 400 |
| 55 | 380 | 280 | 400 | 8 | 100 |
| 56 | 220 | 200 | 260 | 3 | 100 |
| 57 | 220 | 170 | 150 | 4 | 400 |
| 58 | 127 | 100 | 150 | 8 | 100 |
| 59 | 127 | 90 | 100 | 5 | 50 |
| 60 | 220 | 140 | 200 | 6 | 50 |
| 61 | 380 | 200 | 250 | 7 | 400 |
| 62 | 380 | 180 | 300 | 4 | 100 |
| 63 | 220 | 180 | 380 | 3 | 100 |
| 64 | 127 | 100 | 400 | 5 | 400 |
| 65 | 220 | 160 | 450 | 7 | 50 |
| 66 | 220 | 140 | 500 | 8 | 50 |
| 67 | 220 | 130 | 400 | 3 | 100 |
| 68 | 220 | 130 | 400 | 5 | 400 |
| 69 | 380 | 300 | 350 | 6 | 400 |

Окончание табл.3.1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 70 | 127 | 110 | 300 | 5 | 50 |
| 71 | 220 | 170 | 250 | 6 | 50 |
| 72 | 380 | 320 | 100 | 3 | 50 |
| 73 | 380 | 300 | 200 | 5 | 50 |
| 74 | 220 | 200 | 300 | 6 | 50 |
| 75 | 220 | 160 | 400 | 7 | 50 |
| 76 | 127 | 40 | 100 | 8 | 100 |
| 77 | 127 | 50 | 150 | 4 | 100 |
| 78 | 220 | 170 | 200 | 3 | 100 |
| 79 | 220 | 180 | 250 | 6 | 100 |
| 80 | 380 | 220 | 300 | 5 | 400 |
| 81 | 380 | 200 | 350 | 7 | 400 |
| 82 | 220 | 150 | 400 | 4 | 100 |
| 83 | 127 | 100 | 450 | 3 | 50 |
| 84 | 380 | 280 | 300 | 5 | 50 |
| 85 | 127 | 80 | 100 | 6 | 100 |
| 86 | 220 | 140 | 150 | 7 | 50 |
| 87 | 380 | 190 | 200 | 8 | 400 |
| 88 | 127 | 60 | 100 | 3 | 400 |
| 89 | 230 | 180 | 150 | 4 | 50 |
| 90 | 380 | 240 | 200 | 5 | 100 |
| 91 | 220 | 170 | 250 | 6 | 100 |
| 92 | 220 | 160 | 300 | 7 | 400 |
| 93 | 220 | 150 | 350 | 8 | 400 |
| 94 | 380 | 230 | 400 | 8 | 50 |
| 95 | 380 | 270 | 450 | 7 | 50 |
| 96 | 380 | 200 | 500 | 6 | 50 |
| 97 | 220 | 140 | 100 | 5 | 50 |
| 98 | 220 | 160 | 150 | 4 | 50 |
| 99 | 220 | 120 | 200 | 5 | 100 |
| 100 | 380 | 200 | 250 | 5 | 100 |
| 101 | 380 | 220 | 300 | 3 | 100 |
| 102 | 380 | 240 | 350 | 4 | 100 |
| 103 | 220 | 180 | 450 | 5 | 50 |
| 104 | 220 | 160 | 400 | 6 | 50 |
| 105 | 220 | 140 | 500 | 6 | 50 |

Таблица 3.2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип вентиля | НаибольшаяамплитудаобратногонапряженияUобр. , В | МаксимальнодопустимыйсреднийвыпрямленныйтокIпр.ср.макс, А | Падениенапряженияв прямомнаправленииUпр., В |
| КЦ 402А | 600 | 1,0 | 4 |
| КЦ 402Б | 500 | 1,0 | 4 |
| КЦ 402В | 400 | 1,0 | 4 |
| КЦ 402Г | 300 | 1,0 | 4 |
| КЦ 402Д | 200 | 1,0 | 4 |
| КЦ 402Е | 100 | 1,0 | 4 |
| КЦ 402Е | 600 | 0,6 | 4 |
| КЦ 402И | 500 | 0,5 | 4 |

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Миловзоров О.В. Электроника: учеб. пособие / О.В. Миловзоров, О.Г. Панов. М.: Высш. шк., 2005. 288 с.

2. Транзисторы для аппаратуры широкого применения: справочник. М.: Радио и связь, 1981.