Практическое занятие 4
Выбор и обоснование диодов выпрямителя для источника питания

Цель работы: научиться обоснованно выбирать диоды для выпрямителя источника питания с учетом различных факторов и условий.

Краткие теоретические сведения

Выпрямитель электрического тока – электронная схема, предназначенная для преобразования переменного электрического тока в постоянный (однополярный) электрический ток. В полупроводниковой аппаратуре выпрямители исполняются на полупроводниковых диодах.

Основные схемы выпрямителей, применяемых в источниках питания:

– однофазная, однополупериодная схема;
– двухполупериодная схема со средней точкой;
– мостовая схема.

Однофазная, однополупериодная схема.

Однофазную, однополупериодную схему (рисунок 1, а) обычно применяют для выпрямления токов до нескольких десятков миллиампер и в тех случаях, когда не требуется высокой степени сглаживания выпрямленного напряжения. Эта схема характеризуется низким коэффициентом использования трансформатора по мощности и большими пульсациями выпрямленного напряжения.

Диаграммы напряжений и токов, поясняющие работу однополупериодного выпрямителя на активную нагрузку с учетом потерь в трансформаторе и вентиле, представлены на рисунке 1,б.

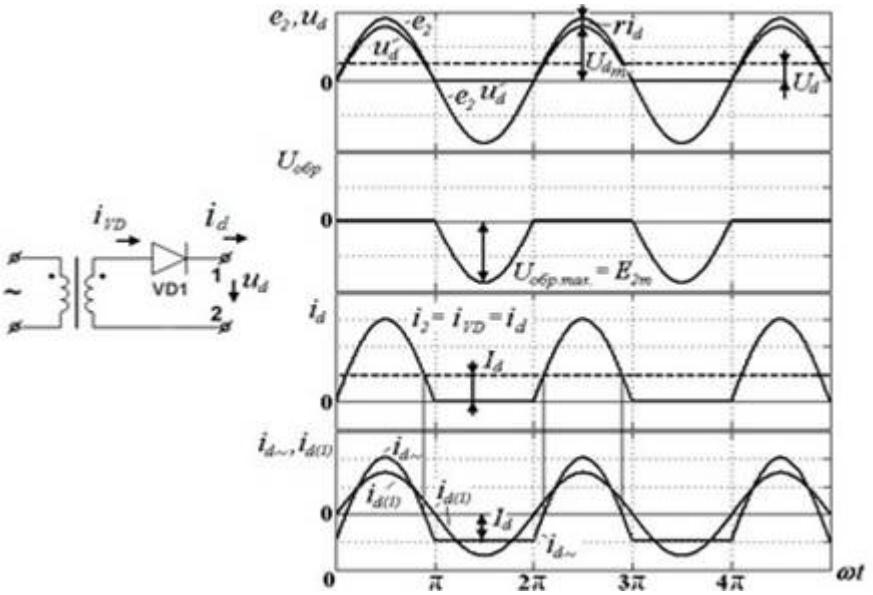


Рисунок 1 – Однофазная, однополупериодная схема выпрямления (а) и диаграммы напряжений и токов в ней при работе на активную нагрузку (б).

Под действием ЭДС вторичной обмотки e_2 ток в цепи нагрузки i_d может проходить только в течение тех полупериодов, когда анод диода имеет положительный потенциал относительно катода. Диод пропускает ток i_{vd} в первый полупериод, во второй полупериод, когда потенциал анода становится отрицательным, ток в цепи равен нулю. Выпрямленное напряжение u_d в любой момент времени меньше ЭДС вторичной обмотки e_2, так как часть напряжения теряется на активных сопротивлениях трансформатора и открытого вентиля

(учитывается сопротивлением r). Максимальное обратное напряжение на вентиле $U_{обрmax}$, как видно из рисунка 1,б, достигает амплитудного значения ЭДС вторичной обмотки E_{2m}.

Диаграмма первичного тока трансформатора подобна диаграмме вторичного тока, если пренебречь током намагничивания и исключить из него постоянную составляющую I_d, которая в первичную обмотку *не трансформируется*. В сердечнике трансформатора за счет постоянной составляющей тока вторичной обмотки создается добавочный постоянный магнитный поток, насыщающий сердечник. Это явление называют – *вынужденное подмагничивание сердечника трансформатора* постоянной составляющей тока, которое является главным недостатком этой схемы. В результате насыщения намагничивающий ток трансформатора возрастает в несколько раз по сравнению с током в нормальном режиме намагничивания сердечника. Возрастание намагничивающего тока обусловливает увеличение сечения провода первичной обмотки, следствием чего являются завышенные размеры трансформатора и габариты выпрямителя в целом.

Двухполупериодная схема со средней точкой (схема Миткевича).

Однофазный двухполупериодный выпрямитель со средним (нулевым) выводом вторичной обмотки трансформатора (рисунок 2, а) применяют в низковольтных устройствах. Он позволяет уменьшить вдвое число диодов и тем самым понизить потери, но имеет более низкий коэффициент использования трансформатора и, следовательно, большие габариты по сравнению с однофазным мостовым выпрямителем, который рассмотрен ниже. Обратное напряжение на диодах выше в этой схеме, чем в мостовой.

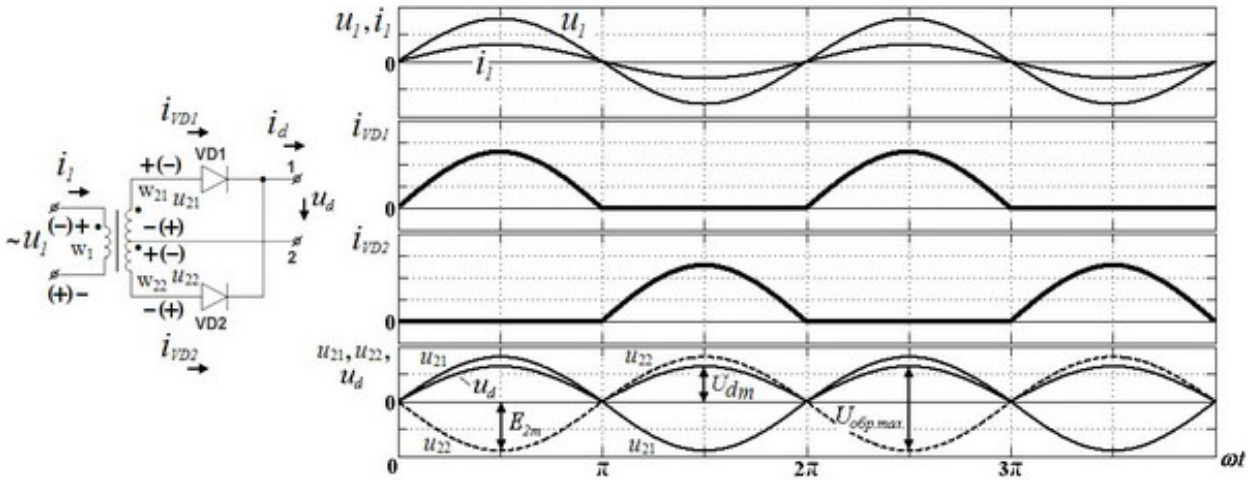


Рисунок 2 – Двухполупериодная схема выпрямления со средней точкой (а) и диаграммы напряжений и токов в ней при работе на активную нагрузку (б).

Необходимым элементом данного выпрямителя является трансформатор с двумя вторичными обмотками. Выпрямитель со средней точкой является по существу двухфазным, так как вторичная обмотка трансформатора со средней точкой создает две ЭДС, равные по величине, но противоположные по направлению. Таким образом, схема соединения обмоток такова, что одинаковые по величине напряжения на выводах вторичных обмоток относительно средней точки сдвинуты по фазе на 180º.

Диаграммы напряжений и токов, поясняющие работу двухполупериодного выпрямителя со средним выводом на активную нагрузку с учетом потерь в трансформаторе и вентилях, представлены на рисунке 2,б.

Вторичные обмотки трансформатора подключены к анодам вентилей VD_1 и VD_2. Напряжения на вторичных обмотках трансформатора w_{21} и w_{22} находятся в противофазе. Поэтому диоды схемы VD_1 и VD_2 проводят ток поочередно, каждый в соответствующий полупериод питающего напряжения. В течение первого полупериода положительный потенциал имеет анод диода VD_1 и ток i_{vd1} проходит через него, нагрузку и вторичную

полуобмотку w_{21} трансформатора. В течение второго полупериода положительный потенциал имеет анод диода VD_2, ток i_{vd2} проходит через него, нагрузку и вторичную полуобмотку w_{22} трансформатора, причем в цепи нагрузки ток i_d проходит в том же направлении, что и в первый полупериод.

Таким образом, в отличие от простейшего однополупериодного выпрямителя в выпрямителе со средней точкой выпрямленный ток проходит через нагрузку в течение обоих полупериодов переменного тока, но *каждая из половин вторичной обмотки трансформатора оказывается нагруженной током только в течение полупериода*. В результате встречного направления м.д.с. постоянных составляющих токов вторичных обмоток i_{21} и i_{22} в сердечнике трансформатора *нет вынужденного подмагничивания.*

Мостовая схема (схема Греца).

Однофазная мостовая схема (рисунок 3, а) характеризуется высоким коэффициентом использования трансформатора по мощности и поэтому может быть рекомендована для использования в устройствах повышенной мощности при выходных напряжениях от десятков до сотен вольт; пульсации такие же, как в предыдущей схеме. По сути, работа мостовой схемы в течение каждого полупериода ничем не отличается от схемы со средней точкой трансформатора, только здесь пропускает ток не один вентиль, а два вентиля, соединенных последовательно, и для каждого полупериода используются не отдельные половины вторичной обмотки, а одна обмотка, что повышает эффективность использования трансформатора.

Достоинства – меньшее обратное напряжение на диодах в 2 раза, меньшие габариты, выше коэффициент использования трансформатора, чем в схеме со средней точкой.

Недостаток – на диодах падение напряжения в 2 раза больше.

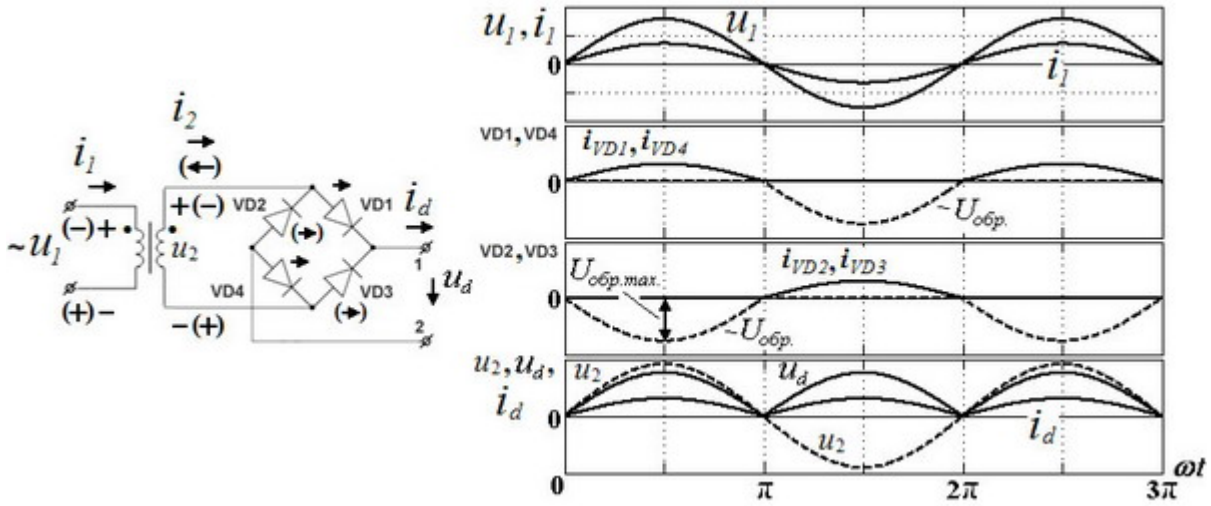


Рисунок 3 – Однофазная мостовая схема выпрямления (схема Греца) (а) и диаграммы напряжений и токов в ней при работе на активную нагрузку (б).

Диаграммы напряжений и токов, поясняющие работу однофазного мостового выпрямителя на активную нагрузку с учетом потерь в трансформаторе и вентилях, представлены на рисунке 3, б. Выходное напряжение u_d при чисто активной нагрузке, как и в схеме с выводом средней точки трансформатора, имеет вид однополярных полуволн напряжения u_2 (рисунок 2, б). Это получается в результате поочередного отпирания диодов VD_1, VD_4 и VD_2, VD_3. Диоды VD_1 и VD_4 открыты при полуволне напряжения u_2 положительной полярности (показана на рисунке 3,а без скобок), обеспечивая связь вторичной обмотки трансформатора с нагрузкой и создавая на ней напряжение u_d той же полярности, что и напряжение u_2. На полуволне напряжения u_2 отрицательной полярности

(показана на рисунке 3,а со скобками) открыты диоды VD_2 и VD_3, подключающие напряжение u_2 к нагрузке с той же полярностью, что и на предыдущем интервале.

Ввиду идентичности кривых u_d для *выпрямителей без потерь* (мостового и со средней точкой) действительны те же соотношения между выпрямленным напряжением U_d и действующим значением напряжения U_2.

Методика расчета диодных выпрямителей

При выборе диодов выпрямителя необходимо учитывать целый набор факторов, определяемых: принципиальной схемой выпрямителя, частотой и величиной входного переменного напряжения, величинами напряжения и тока нагрузки, условиями эксплуатации (температура, влажность, устойчивость входного напряжения и т.п.), характером нагрузки (емкостная, индуктивная), наличием коммутационных перегрузок в цепи нагрузки, параметрами применяемого трансформатора и т.д.

В первую очередь необходимо рассчитать **значение максимального обратного напряжения**, прикладываемого к силовым диодам при работе выпрямителя выбранного типа, а также оценить **среднее значение протекающего через них прямого тока**. Полученные таким образом значения необходимо откорректировать в зависимости от характера нагрузки.

Тип выпрямителя	Режим работы диодов	
	$U_{обр\ max}$	$I_{пр\ ср}$
Однофазный однополупериодный	$\pi \cdot U_{н\ ср}$, $U_{вх\ max}$	$I_{н\ ср}$
Однофазный двухполупериодный со средней точкой	$\pi \cdot U_{н\ ср}$, $2 \cdot U_{вх\ max}$	$\frac{1}{2} I_{н\ ср}$
Однофазный мостовой	$\frac{\pi}{2} \cdot U_{н\ ср}$, $U_{вх\ max}$	$\frac{1}{2} I_{н\ ср}$

*2.1 О*днофазная однополупериодная схема

Для однофазной однополупериодной схемы расчет проводится в следующем порядке. Вначале определяется среднее значение напряжения на нагрузке:

$$U_{H\,CP} = \sqrt{2}\,\frac{U_{BX}}{3{,}14}, \qquad (1)$$

где Uвх д – действующее значение переменного напряжения на входе выпрямителя.

Определяется средний ток нагрузки:

$$I_{H\,CP} = 0{,}318 \cdot I_{MAX} \qquad (2)$$

где Imax - амплитуда выпрямленного тока.

Действующее значение тока нагрузки Iнд (через диод протекает такой же ток):

$$I_{НД} = 0,5 \cdot I_{MAX} \quad (3)$$

Отношение среднего значения выпрямленного напряжения Uн.ср к действующему значению входного переменного напряжения Uвх.д называется коэффициентом выпрямления Kвып.

Максимальное обратное напряжение на диоде определяется по формуле:

$$U_{обр\ max} = U_{вх\ max} = 3,14\ U_{н.ср}, \quad (4)$$

т.е. более чем в три раза превышает среднее выпрямленное напряжение (это следует учитывать при выборе диода для выпрямителя).

На основании выше рассчитанных параметров выбирается соответствующий выпрямительный диод.

*2.2 О*днофазная двухполупериодная схема

Для однофазной двухполупериодной схемы расчет проводится в следующем порядке. Вначале определяется среднее значение напряжения на нагрузке:

$$U_{H\,CP} = 0,637 \cdot U_{BX\,MAX}, \quad (5)$$

где Uвх max – амплитудное значение входного переменного напряжения

Определяется средний ток нагрузки:

$$I_{H\,CP} = 0,637 \cdot I_{BX\,MAX} \quad (6)$$

где Iвх max – амплитудное значение входного тока выпрямителя.

Отрицательным свойством двухполупериодной схемы выпрямления со средней точкой является то, что во время прохождения тока через один из диодов обратное напряжение на другом (закрытом) диоде в пике достигает удвоенного максимального входного напряжения поэтому:

$$U_{обр\ max} = 2\ U_{вх\ max}. \quad (7)$$

Этого нельзя забывать при выборе диодов для выпрямителя. На основании выше рассчитанных параметров выбирается соответствующие выпрямительные диоды.

2.3 Мостовая схема

Так же, как и в двухполупериодной схеме выпрямления со средней точкой, в мостовой схеме напряжение прикладывается к нагрузке в течение всего периода изменения напряжения Uвх. При этом его значение два раза превышает выходное напряжение схемы. Поэтому, при одном и том же напряжении нагрузки в мостовой схеме к обратно смещенным диодам прикладывается напряжение в два раза меньшее. В связи с этим расчет параметров выпрямительных диодов аналогичен п.2.2

2.4 Выбор выпрямительных диодов

При конструировании блоков питания для выбора выпрямительных диодов используют следующие параметры, которые всегда указаны в справочниках:

- максимальное обратное напряжение диода – Uобр;
- максимальный ток диода – Imax;
- прямое падение напряжения на диоде – Uпр.

Необходимо выбирать все эти перечисленные параметры с запасом, для исключения выхода диодов из строя.

Максимальное обратное напряжение диода Uобр должно быть в два раза больше реального выходного напряжения трансформатора. В противном случае возможен обратный пробой p-n, который может привести к выходу из строя не только диодов выпрямителя, но и других элементов схем питания и нагрузки.

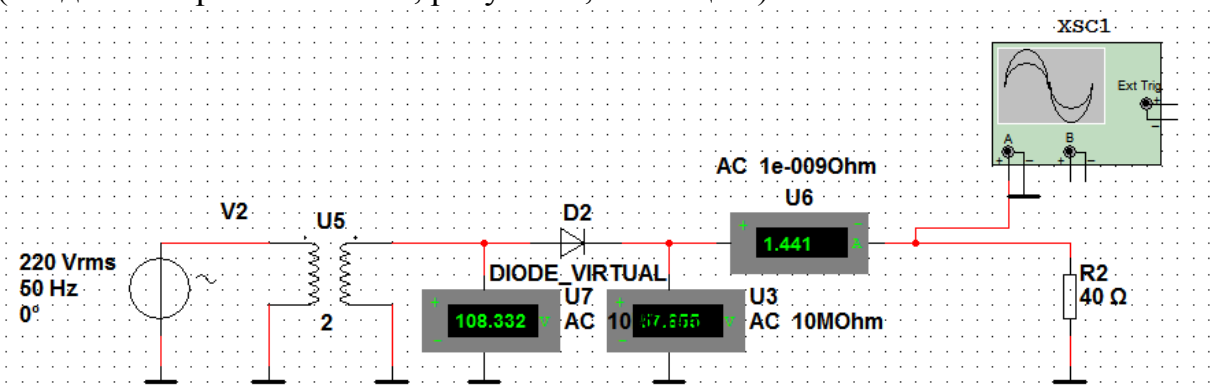
Значение максимального тока Imax выбираемых диодов должно превышать реальный ток выпрямителя в 1,5 – 2 раза. Невыполнение этого условия, также приводит к выходу из строя сначала диодов, а потом других элементов схем.

Прямое падение напряжения на диоде – Uпр, это то напряжение, которое падает на кристалле p-n перехода диода. Если по пути прохождения тока стоят два диода, значит это падение происходит на двух p-n переходах. Другими словами, напряжение, подаваемое на вход выпрямителя, на выходе уменьшается на значение падения напряжения.

Учебные задания и методические указания к их выполнению

Задание 1. Выбор диода для однополупериодного выпрямителя.

1. Соберите схему однополупериодного выпрямителя с виртуальным диодом (входное напряжение 220В, рисунок 5, таблица 1).



2. Произведите необходимые измерения и расчет основных параметров диода.
3. По полученным параметрам осуществите подбор диода (справочник).
4. Разместите выбранный диод в схеме и снимите осциллограмму выходного сигнала. Прикрепите скриншот с показаниями измерительных приборов.

Таблица 1 – Варианты заданий

	Коэффициент трансформации	Сопротивление нагрузки $R_н$, Ом
1.	1	20
2.	1	30
3.	1	40
4.	1	60
5.	1	100
6.	1,5	20
7.	1,5	30
8.	1,5	40
9.	1,5	60
10.	1,5	100
11.	2	20
12.	2	30
13.	2	40

14.	2	60
15.	2	100
16.	2,5	20
17.	2,5	30
18.	2,5	40
19.	2,5	60
20.	2,5	100
21.	3	20
22.	3	30
23.	3	40
24.	3	60
25.	3	100
26.	3,5	20
27.	3,5	30
28.	3,5	40
29.	3,5	60
30.	3,5	100

Задание 2. Выбор диода для двухполупериодного выпрямителя.

1. Соберите схему однополупериодного выпрямителя с виртуальным диодом (входное напряжение 220В, таблица 1).
2. Произведите необходимые измерения и расчет основных параметров диодов.
3. По полученным параметрам осуществите подбор диодов (справочник).
4. Разместите выбранные диоды в схеме и снимите осциллограмму выходного сигнала. Прикрепите скриншот с показаниями измерительных приборов.

Задание 3. Выбор диода для мостового выпрямителя.

1. Выполните задания, аналогично пунктам 1-4 задания 2, для мостовой схемы выпрямителя.

Требования к отчёту

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Результаты работы (скриншоты и таблицы).
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое выпрямительный диод?
2. Какие схемы схем выпрямления существуют?
3. Недостатки однофазной двухполупериодной схемы.
4. Достоинства и недостатки мостовой схемы.
5. Какими основными параметрами характеризуется выпрямительный диод?

6. Можно ли применить диод Шоттки в качестве выпрямительного диода?