

## Лабораторная работа

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ МОСТОВОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

**Цель работы:** Анализ процессов в схемах выпрямительного диодного моста. Исследование осциллограмм входного и выходного напряжения для выпрямительного моста.

#### 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Для питания электронной аппаратуры, электродвигателей постоянного тока, электролизных и других установок возникает необходимость в выпрямлении переменного тока в постоянный. Под выпрямлением понимается процесс преобразования переменного тока в постоянный с помощью устройств, обладающих односторонней проводимостью (электрических вентилей).

Выпрямительные устройства обычно состоят из трех основных элементов (рис. 1): трансформатора, электрического вентиля и сглаживающего фильтра. Трансформатор позволяет изменять значение переменного напряжения, получаемого от источника питания до значения требуемого выпрямленного напряжения. Сглаживающие фильтры предназначены для уменьшения пульсации выпрямленного тока и напряжения на выходе выпрямительных устройств.



Рис. 1. Структура выпрямительного устройства

Выпрямление переменного тока осуществляется электрическим вентиляем. Вентиль преобразует переменное напряжение в пульсирующее, что обеспечивается его свойством односторонней проводимости. При прямом напряжении вентиль имеет сопротивление, близкое к нулю, а при обратном напряжении его сопротивление становится очень большим.

Электрические вентили по своим вольтамперным характеристикам подразделяют на две группы. К первой относят вакуумные электронные и полупроводниковые диоды. Ко второй относят газоразрядные (ионные) приборы. Однако в настоящее время большинство выпрямителей выполняют на полупроводниковых диодах германиевых и кремниевых. Силовые полупроводниковые вентили по сравнению с другими имеют ряд преимуществ: более высокий КПД, постоянная готовность к работе, большой срок службы, малая масса и габариты, высокая надежность.

Вольтамперная характеристика полупроводникового диода (рис. 2,б) отличается от идеальной характеристики вентиля (рис. 2, а), так как при обратном напряжении диод проводит ток. Однако у хороших полупроводниковых диодов обратные токи весьма малы и несущественно влияют на работу выпрямителя.

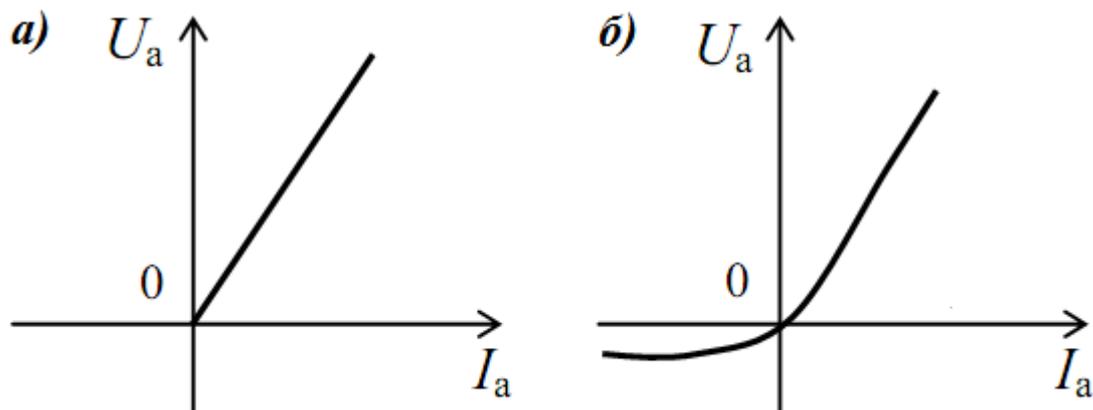


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика:

а) идеальная характеристика вентиля; б) полупроводникового диода

При выпрямлении переменного тока в зависимости от числа фаз сети, питающей выпрямительное устройство, и характера нагрузки, а также требований, предъявляемых к

выпрямленным току и напряжению, электрические вентили могут быть соединены по различным схемам.

На рис. 3 представлена простейшая схема однополупериодного выпрямителя, в состав которой входят трансформатор Тр, вентиль Д и активная нагрузка R. Диаграммы напряжений и тока в схеме однополупериодного выпрямителя показаны на рис. 4.

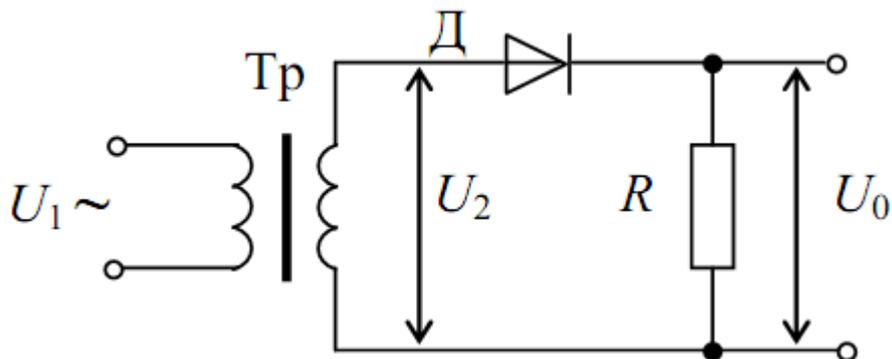


Рис. 3. Схема однополупериодного выпрямителя

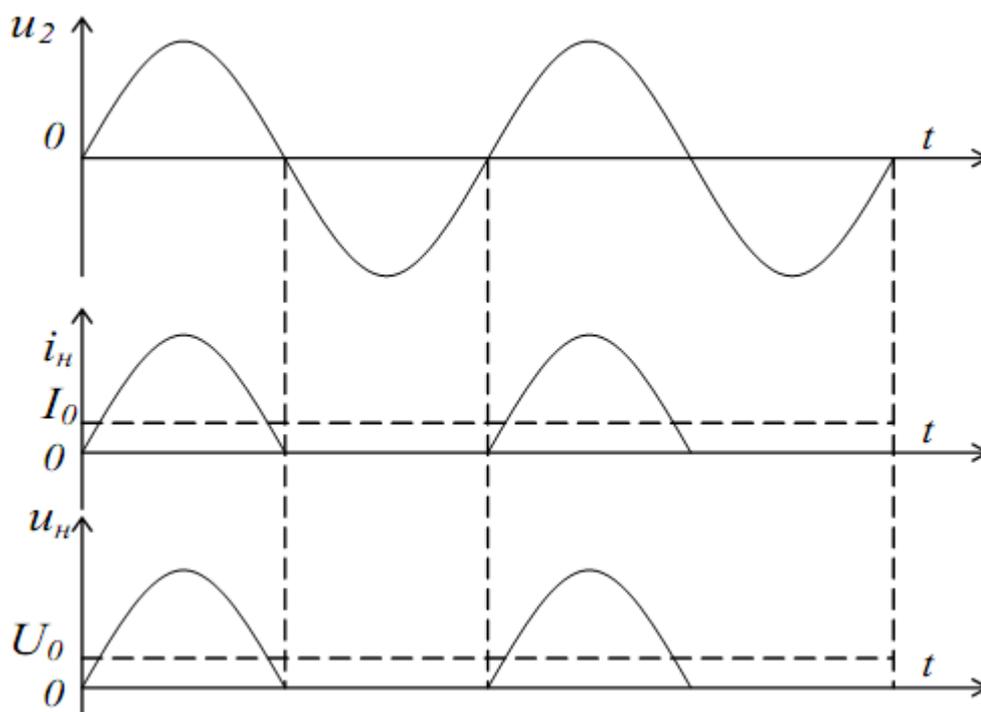


Рис. 4. Диаграммы напряжений и тока в схеме однополупериодного выпрямителя

Ток в цепи нагрузки, включенной последовательно с вентилем, проходит лишь в те моменты времени, когда к вентилю приложено прямое напряжение. Каждые полпериода напряжение вторичной обмотки трансформатора меняет свой знак. Поэтому в течение одной половины периода к вентилю прикладывается прямое напряжение, в течение следующего полупериода — обратное.

Через вентиль и нагрузку ток проходит только в одном (прямом) направлении, т. е. ток в нагрузке получается постоянным по направлению, но пульсирующим. Выпрямленное напряжение совпадает по форме с выпрямленным током. Частота пульсаций выпрямленного напряжения равна частоте сети.

Пульсирующие ток и напряжение содержат постоянные составляющие. Среднее за период значение выпрямленного (пульсирующего) напряжения, т. е. его постоянная составляющая, определяется величиной:

$$U_0 = U_{2m} / \pi$$

$U_{2m}$  - амплитудное значение напряжения во вторичной обмотке трансформатора,

или

$$U_0 = \sqrt{2U_2 / \pi},$$

где  $U_2$  – действующее значение напряжения.

Максимальное значение обратного напряжения, прикладываемого к вентилю, равно амплитудному значению  $U_{2m}$ :

$$U_{\text{обр.м}} = U_{2m} = \pi U_0$$

Качество выпрямителя характеризуется отношением постоянной составляющей выпрямленного напряжения к действующему значению переменного напряжения:  $U_0/U_2$ . Чем больше значение этого отношения, тем выше качество схемы выпрямителя. Для однополупериодного выпрямителя:

$$U_0/U_2 = 0,45.$$

Важным требованием к выпрямителю является снижение переменной составляющей выпрямленного напряжения при получении постоянной составляющей. Выполнение этого требования характеризуется коэффициентом пульсаций  $K_{\text{П}}$ , равным отношению амплитудного значения переменной составляющей выпрямленного напряжения к его постоянной составляющей:

$$K_{\text{П}} = U_{\text{м}} / U_0$$

Коэффициент пульсаций часто определяют по первой гармонике:

$$K_{\text{П1}} = U_{\text{м1}} / U_0$$

где  $U_{\text{м1}}$  – амплитуда первой гармоники выпрямленного напряжения. Для однополупериодного выпрямителя  $K_{\text{П1}} = 1,57$ .

К выпрямителям предъявляется также требование, касающееся режима работы вентиля: обратное напряжение, прикладываемое к закрытым вентилям, не должно намного превышать выпрямленное напряжение. Выполнение этого требования характеризуется отношением максимального значения обратного напряжения к среднему значению выпрямленного:

$$U_{\text{обр.м}} / U_0 = \pi$$

Для однополупериодного выпрямителя:

К недостаткам однополупериодной схемы выпрямления следует отнести значительные пульсации выпрямленного тока и напряжения, а также недостаточно высокое использование трансформатора, так как по его вторичной обмотке при этом протекает ток только в течение полупериода. Выпрямители подобного типа применяют главным образом в маломощных установках, когда выпрямленный ток мал, а достаточно удовлетворительное сглаживание пульсаций может быть обеспечено с помощью фильтра.

На практике часто используют различные схемы двухполупериодных выпрямителей.

На рис. 5, а, б представлены схемы двухполупериодного выпрямителя с выводом от середины вторичной обмотки трансформатора и мостовая схема. Наиболее распространена из них мостовая схема, в которой не требуется трансформатор, имеющий отвод от середины вторичной обмотки, что позволяет получить двухполупериодное выпрямление переменного тока при полном использовании мощности трансформатора. Четыре вентиля схемы образуют мост, к одной диагонали которого присоединяются концы вторичной обмотки трансформатора, а к другой нагрузка выпрямителя. Вентили в схеме работают поочередно парно: при положительной полуволне напряжения  $U_2$  которая соответствует прямому напряжению вентиля Д1, ток проходит через Д1, нагрузку и Д3, а при отрицательной полуволне напряжения  $U_2$  соответствующей прямому напряжению вентиля Д2 ток проходит через Д2, нагрузку и Д4. На рис. 6 представлены диаграммы напряжений и тока в мостовой схеме.

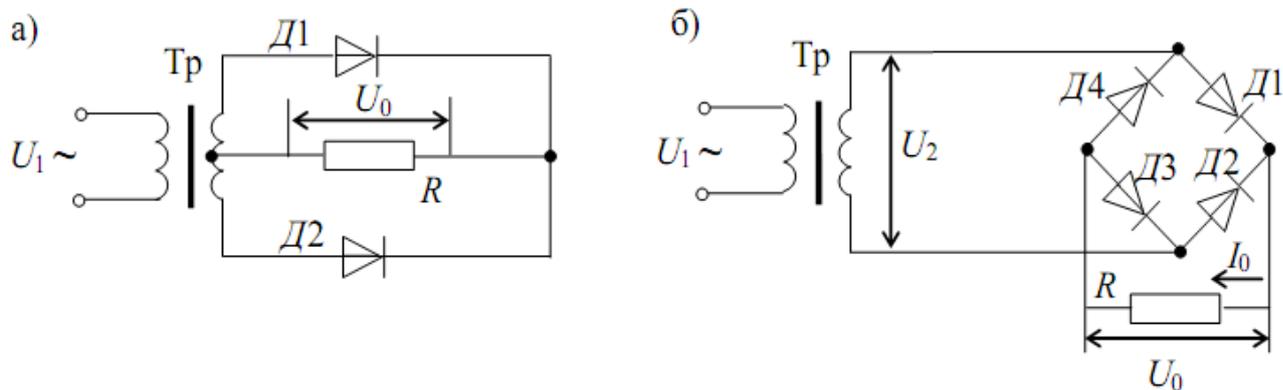


Рис. 5. Схемы двухполупериодного выпрямителя:  
а) с выводом от середины вторичной обмотки трансформатора; б) мостовая схема

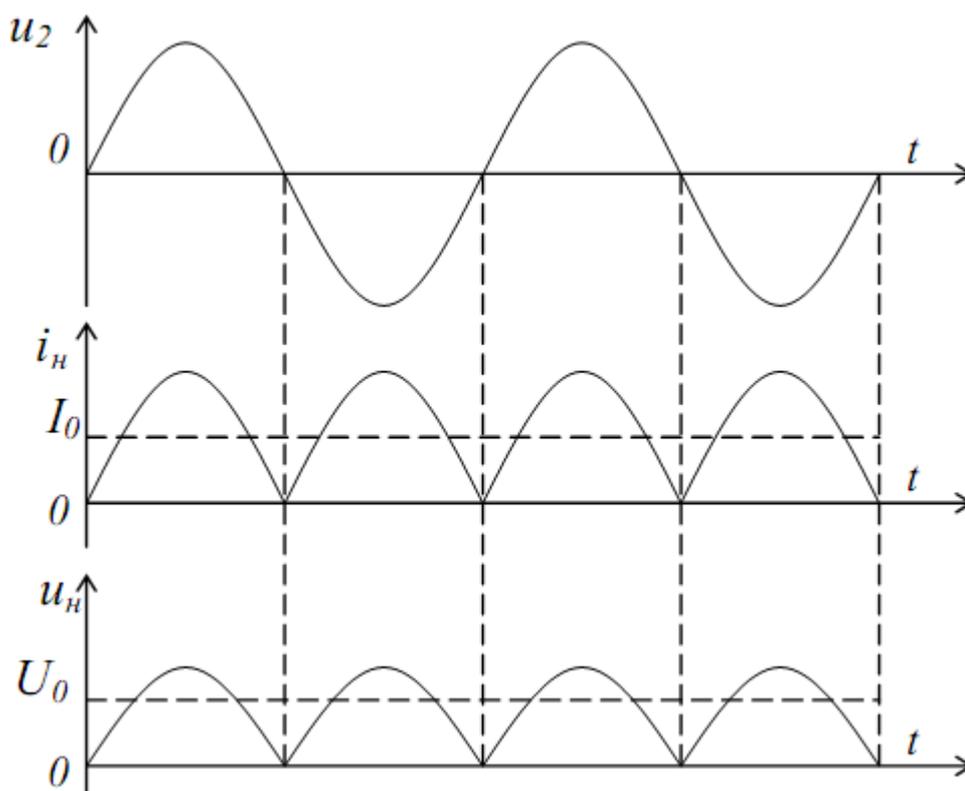


Рис. 6. Диаграммы напряжений и тока в мостовой схеме

Частота пульсаций выпрямленного напряжения здесь в два раза больше, чем в однополупериодной схеме, что увеличивает среднее значение выпрямленного напряжения:

$$U_0 = 2U_{2m} / \pi = 2\sqrt{2}U_2 / \pi$$

Коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения по первой гармонике  $K_{П1} = 0,667$ .

Максимальное значение обратного напряжения, прикладываемого к закрытым вентилям, равно амплитудному значению напряжения  $U_{2m}$ , так как падение напряжения на открытых вентилях близко к нулю, т. е.:

$$U_{обр.м} = U_{2m} = \pi U_0 / 2 = 1,57U_0$$

Простейшие схемы выпрямителей имеют большой коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения. Поэтому далее предусматривают сглаживающие фильтры.

Коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения можно значительно снизить, если на выходе выпрямителя включить сглаживающий электрический фильтр. Простейшими

сглаживающими фильтрами являются конденсатор, включаемый параллельно слаботочной нагрузке (рис. 7, а) и дроссель, включаемый последовательно с сильноточной нагрузкой (рис. 7, б).

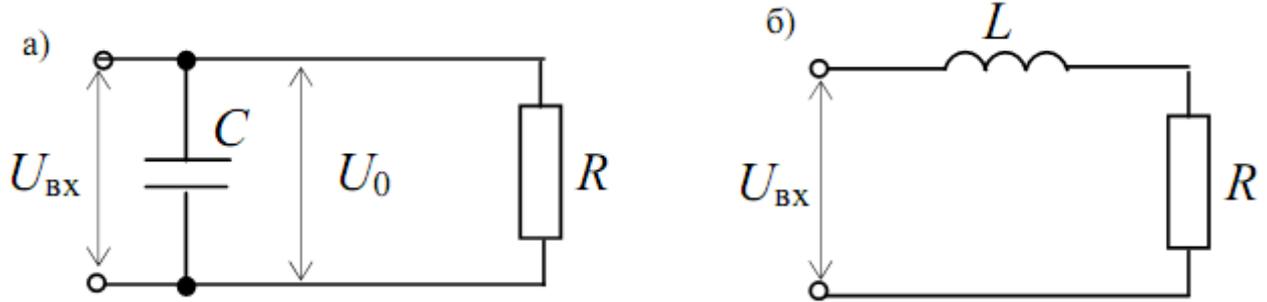


Рис. 7. Схемы простейших сглаживающих фильтров

Другие фильтры (комбинированные), представляющие собой сочетания емкостных и индуктивных элементов, позволяют получить достаточно малые значения коэффициента пульсации.

При использовании простейшего емкостного фильтра сглаживание пульсаций выпрямленного напряжения и тока происходит за счет периодической зарядки конденсатора фильтра «С» (когда напряжение на выходе трансформатора превышает напряжение на нагрузке) и последующей его разрядки на сопротивление нагрузки R.

Конденсатор, как известно, не пропускает постоянной составляющей тока и обладает тем меньшим сопротивлением для переменных составляющих, чем выше их частота. Емкостные фильтры предпочтительно применять в схемах выпрямления с малыми значениями выпрямленного тока, так как при этом возрастает эффективность сглаживания.

Простейший индуктивный сглаживающий фильтр состоит из индуктивной катушки — дросселя, включаемого последовательно с нагрузкой.

В результате пульсаций выпрямленного тока в катушке индуктивности возникает

$$e_L = \pm L \frac{di}{dt}$$

электродвижущая сила самоиндукции, которая в силу закона электромагнитной индукции стремится сгладить пульсации тока в цепи нагрузки, а следовательно, и пульсации напряжения на ее зажимах. Индуктивные фильтры обычно применяют в схемах выпрямления с большими значениями выпрямленного тока, так как в этом случае увеличивается эффективность сглаживания.

Качество фильтра оценивают коэффициентом сглаживания

$$K_{сгл} = K_{п.вх} / K_{п.вых},$$

где  $K_{п.вх}$  и  $K_{п.вых}$  — коэффициенты пульсаций выпрямителя на входе и выходе фильтра. Чем больше  $K_{сгл}$  тем эффективнее работает фильтр.

При работе выпрямителя часть выпрямленного напряжения падает на активном сопротивлении вторичной обмотки трансформатора, на прямом сопротивлении открытого вентиля, на элементах сглаживающего фильтра. С увеличением выпрямленного тока  $I_0$  подобные потери напряжения увеличиваются, а напряжение на нагрузке  $U_0$  уменьшается. Зависимость  $U_0 = f(I_0)$  называют внешней характеристикой выпрямителя (рис. 8). Чем меньше изменяется напряжение на нагрузке  $U_0$  при изменении тока  $I_0$ , тем выше качество выпрямителя.



Рис. 8. Внешняя характеристика выпрямителя

## 2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1) Собрать схему согласно рисунку 9.

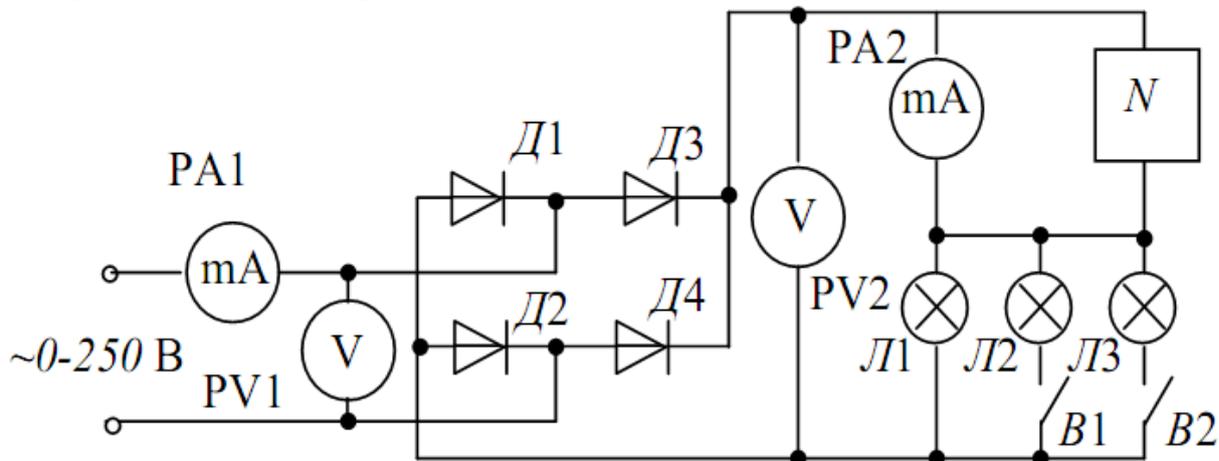


Рис. 9. Схема лабораторной установки:

PA1 — миллиамперметр переменного тока 300 мА; PV1 — вольтметр переменного тока 250 В; PV2 — вольтметр постоянного тока 450 В; PA2 — миллиамперметр постоянного тока 300 мА; D1 — D4 — диоды КД 209А; Л1—Л3 — нагрузочные лампы; В1, В2 — тумблеры

- 2) Установить на блоке питания переключатель ЛАТР в положение « $\sim 0...250$  В».
- 3) Подключить схему к клеммам питания « $\sim 0...250$  В» штатива приборного.
- 4) Изменяя напряжение на входе выпрямителя от 0 до 250 В, снять и построить вольтамперную характеристику однофазного мостового выпрямителя.
- 5) Показания приборов занести в табл. 1

Таблица 1

Параметры	Однофазный выпрямитель										
$U_{П}, В$	0	20	50	100	120	140	160	180	200	220	250
<b>При нагрузке с одной лампой</b>											
$U_{вып}, В$											
$I_{вып}, А$											
$I_{П}, А$											
<b>При нагрузке с двумя лампам</b>											
$U_{вып}, В$											
$I_{вып}, А$											
$I_{П}, А$											
<b>При нагрузке с тремя лампами</b>											
$U_{вып}, В$											
$I_{вып}, А$											
$I_{П}, А$											

### 3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 1) Перечень и номинальные данные используемой аппаратуры.
- 2) Схема лабораторной установки однофазного мостового выпрямителя.
- 3) Таблицы с экспериментальными данными.
- 4) Выводы.

### 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1) Пояснить назначение элементов схемы выпрямителя.
- 2) Изобразить вольтамперную характеристику вентиля.
- 3) Какие элементы можно использовать в качестве вентиля?
- 4) Перечислить известные вам схемы выпрямителей.
- 5) От чего зависит частота пульсаций выпрямленного напряжения?
- 6) Дать определение коэффициентов пульсаций и сглаживания
- 7) Из каких соображений выбирают элементы сглаживающего фильтра?
- 8) Изобразить внешнюю характеристику выпрямителя.