

## Лекция 7

## ВЫПРЯМИТЕЛИ

## План

1. Источники вторичного электропитания
2. Однополупериодный выпрямитель
3. Двухполупериодные выпрямители
4. Трехфазные выпрямители

## 1. Источники вторичного электропитания

Источники вторичного электропитания (ИВЭП) предназначены для получения напряжения, необходимо для питания различных электронных устройств. Как известно, действующее значение напряжения сети переменного тока составляет 220 В. В то же время для работы электронных приборов необходимо постоянное напряжение, величина которого обычно не превышает нескольких вольт. Вторичные источники получают энергию от первичных источников: сети переменного тока, аккумуляторов и т. д.

Структурная схема ИВЭП, получающего энергию от сети переменного тока, показана на рис. 7.1.

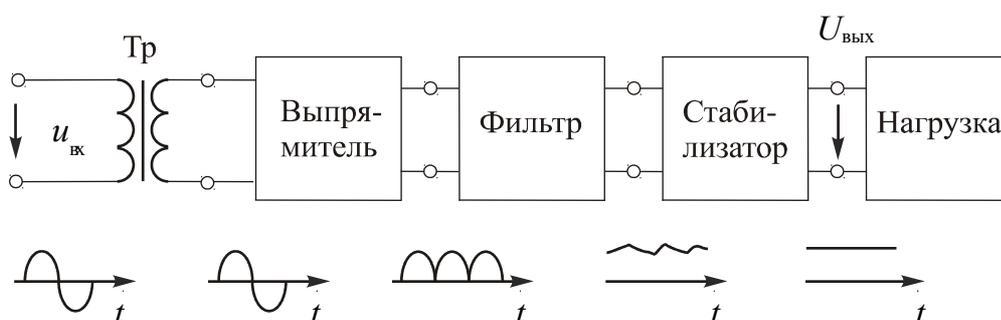


Рис. 7.1

Трансформатор  $Tr$  предназначен для изменения уровня переменного напряжения и гальванической развязки выпрямителя и питающей сети.

Выпрямитель преобразует переменное напряжение синусоидальной формы в пульсирующее напряжение одной полярности. Основными компонентами выпрямителя являются вентили – элементы с явно выраженной нелинейной вольт-амперной характеристикой. В качестве таких элементов используют диоды и тиристоры.

Сглаживающий фильтр уменьшает пульсации напряжения на выходе выпрямителя. Стабилизатор уменьшает колебания напряжения на нагрузке.

Рассмотренный источник питания имеет большие вес и габариты, определяемые прежде всего размерами трансформатора и сглаживающего фильтра. В настоящее время такие ИВЭП вытесняются импульсными преобразовательными устройствами, работающими на частотах, составляющих десятки и сотни кГц. При этом удается значительно уменьшить размеры и вес устройства.

## 2. Классификация и основные параметры выпрямителей

В преобразовательной технике используют большое число разнообразных схем выпрямителей, которые различаются формой напряжения и тока на выходе, коэффициентом мощности на стороне питающей сети, видом и числом вентилях. Выпрямители классифицируют следующим образом.

1. По управлению выходным напряжением. Различают управляемые и неуправляемые выпрямители. В неуправляемых выпрямителях в качестве вентилях используют диоды. Выходное напряжение таких выпрямителей регулировать невозможно. В управляемых выпрямителях сопротивление нелинейного элемента зависит не только от полярности напряжения, но и от управляющих сигналов. В качестве вентилях в таких выпрямителях используют тиристоры либо комбинации тиристоров и диодов.

2. По форме напряжения на выходе различают однополупериодные и двухполупериодные выпрямители. Однополупериодным называют выпрямитель, выходное напряжение которого соответствует только одному полупериоду входного. Выпрямитель, выходное напряжение которого соответствует положительному и отрицательному полупериодам входного напряжения, называют двухполупериодным.

3. По числу фаз входного напряжения. Напряжение на входе выпрямителя может быть однофазным, трехфазным или многофазным. Соответственно, различают однофазные, трехфазные и многофазные выпрямители.

Перечислим основные параметры выпрямителей.

1. Среднее значение выпрямленного напряжения

$$U_{\text{ср}} = \frac{1}{T} \int_0^T u_{\text{вых}} dt .$$

Здесь  $T$  – период питающей сети.

## 2. Среднее значение выходного тока

$$I_{\text{cp}} = \frac{1}{T} \int_0^T i_{\text{вых}} dt .$$

## 3. Выходная мощность выпрямителя

$$P = U_{\text{cp}} I_{\text{cp}} .$$

## 4. Коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения

$$\varepsilon = \frac{U_{\text{ml}}}{U_{\text{cp}}}$$

Здесь  $U_{\text{ml}}$  – амплитуда первой (основной) гармоники.

Важным параметром является мощность идеального выпрямителя – мощность, которая может быть отдана выпрямителем при идеальном выпрямленном напряжении  $U_{\text{н0}}$  и полностью сглаженном токе  $I_{\text{н0}}$ :

$$P_{\text{н0}} = U_{\text{н0}} I_{\text{н0}} .$$

### 3. Однополупериодный выпрямитель

Простейшим является однополупериодный выпрямитель. Его схема показана на рис. 7.2. Напряжение и ток нагрузки имеют форму, показанную на рис. 7.3. Выходное напряжение меньше входного на величину падения напряжения на открытом диоде.

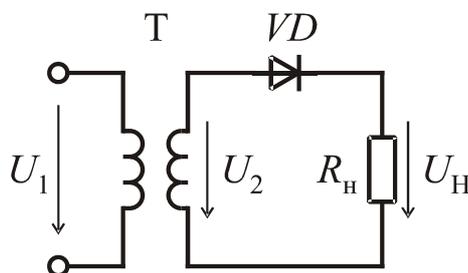


Рис. 7.2

Среднее значение выпрямленного напряжения

$$U_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{ex m}}}{\pi} = \frac{\sqrt{2} U_{\text{ex}}}{\pi} \approx 0.45 U_{\text{ex}} . \quad (7.1)$$

Здесь  $U_{\text{вх}}$  – действующее значение входного напряжения. С помощью формулы (7.1) по заданному значению напряжения  $U_{\text{вых}}$  можно найти входное напряжение выпрямителя.

Максимальное обратное напряжение на диоде  $U_{\text{обр max}} = \sqrt{2}U_{\text{вх}} = \pi U_{\text{cp}}$ .

Максимальный ток диода

$$I_{\text{д max}} = \frac{\sqrt{2}U_{\text{вх}}}{R} = \pi I_{\text{cp}}.$$

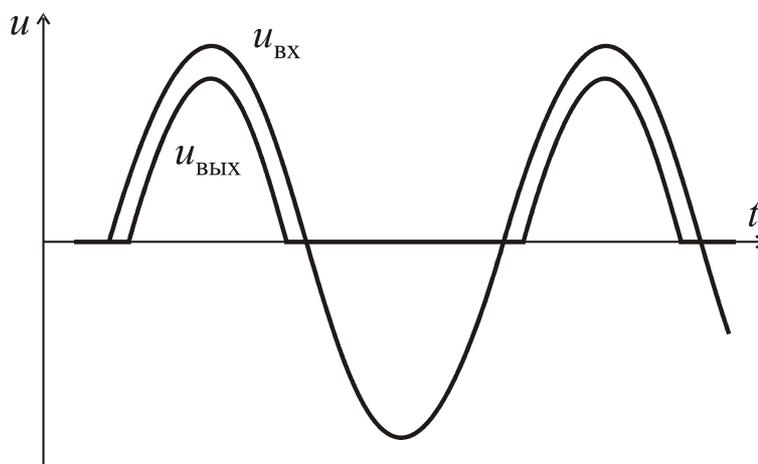


Рис. 7.3

Важным параметром выпрямителя является коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения, равный отношению амплитуды первой (основной) гармоники выпрямленного напряжения к его среднему значению. Для однополупериодного выпрямителя коэффициент пульсаций  $\varepsilon = \pi/2 \approx 1.57$ .

Выпрямленное напряжение и ток в схеме на рис. 7.2 имеют большой уровень пульсаций. Поэтому на практике такую схему применяют в маломощных устройствах в тех случаях, когда не требуется высокая степень сглаживания выпрямленного напряжения.

**Двухполупериодные выпрямители.** Меньший уровень пульсаций выпрямленного напряжения можно получить в двухполупериодных выпрямителях. На рис. 7.4 показана схема выпрямителя с выводом от средней точки вторичной обмотки трансформатора.

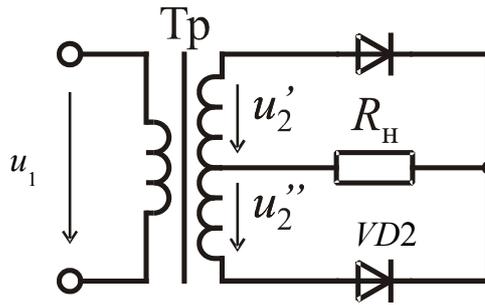


Рис. 7.4

Во вторичной обмотке трансформатора индуцируются напряжения  $u_2'$  и  $u_2''$ , имеющие противоположную полярность. Диоды проводят ток поочередно, каждый в течение полупериода. В положительный полупериод открыт диод  $VD1$ , а в отрицательный – диод  $VD2$ . Ток в нагрузке имеет одинаковое направление в оба полупериода, поэтому напряжение на нагрузке имеет форму, показанную на рис. 7.5. Выходное напряжение на рис. 7.5 меньше входного на величину падения напряжения на диоде.

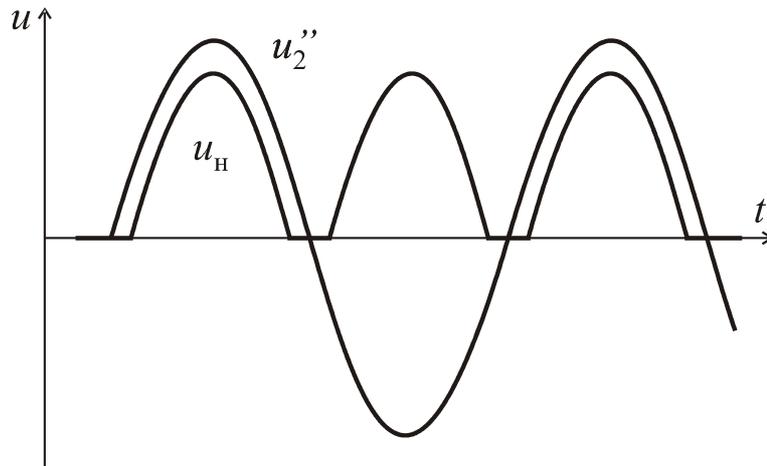


Рис. 7.5

В двухполупериодном выпрямителе постоянная составляющая тока и напряжения увеличивается вдвое по сравнению с однополупериодной схемой:

$$I_H = \frac{2}{\pi} I_{2m}; \quad U_H = \frac{2U'_{2m}}{\pi} = \frac{\sqrt{2}U'_2}{\pi} \approx 0.9U_2.$$

Из последней формулы определим действующее значение напряжения вторичной обмотки трансформатора:

$$U'_2 = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} U_H \approx 1.1 U_H .$$

Коэффициент пульсаций в данном случае значительно меньше, чем у однополупериодного выпрямителя:

$$\varepsilon = \frac{2}{3} \approx 0.67 .$$

Так как ток во вторичной обмотке трансформатора двухполупериодного выпрямителя синусоидальный, а не пульсирующий, он не содержит постоянной составляющей. Тепловые потери при этом уменьшаются, что позволяет уменьшить габариты трансформатора.

Существенным недостатком схемы на рис. 7.4 является то, что к запертому диоду приложено обратное напряжение, равное удвоенной амплитуде напряжения одного плеча вторичной обмотки трансформатора:

$$U_{\text{обр}} = 2U_{2m} .$$

Поэтому необходимо выбирать диоды с большим обратным напряжением. Более рационально используются диоды в мостовом выпрямителе. Мостовая схема двухполупериодного выпрямителя показана на рис. 7.6.

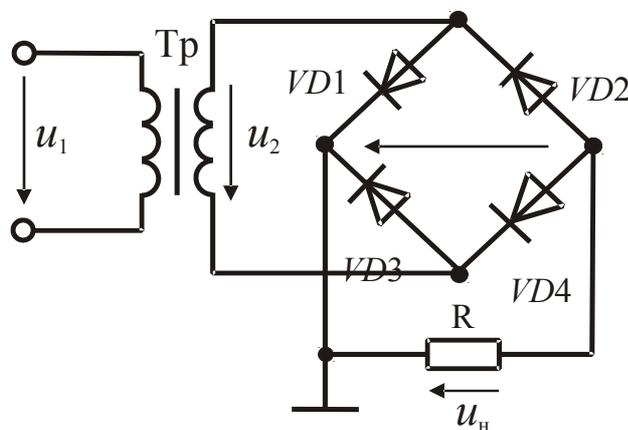


Рис. 7.6

Эта схема имеет такие же значения среднего напряжения и коэффициента пульсаций, что и схема выпрямителя с выводом от средней точки трансформатора. Ее преимущество в том, что обратное напряжения на диодах меньше. Кроме того, вторичная обмотка трансформатора содержит вдвое меньше витков, чем вторичная обмотка трансформатора в схеме на рис. 7.20. Часто все четыре диода размещают в одном корпусе.

Двухполупериодные выпрямители имеют большое значение в энергетической электронике. Они применяются для питания устройств небольшой мощности от однофазной сети переменного тока.

#### 4. Трехфазные выпрямители

**Трехфазный выпрямитель с нулевым выводом.** Схема выпрямителя показана на рис. 7.7.

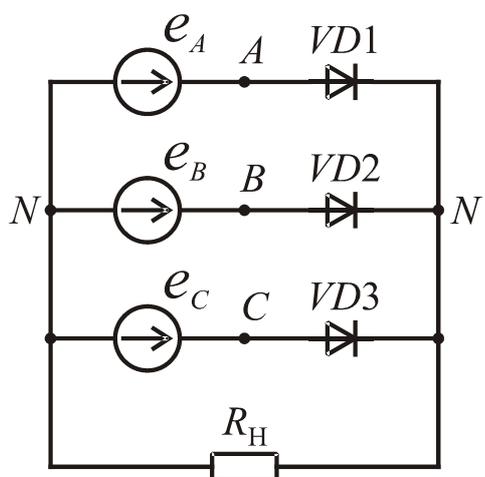


Рис. 7.7

Напряжение на выходе выпрямителя в любой момент времени равно напряжению той фазы, в которой диод открыт. Таким образом, выпрямленное напряжение равно огибающей фазных ЭДС. Коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения составляет 0.25, тогда как у однофазного двухполупериодного выпрямителя этот коэффициент равен 0.67. Частота пульсаций в трехфазном выпрямителе в три раза выше частоты питающей сети.

В трехфазном выпрямителе с нулевым выводом на рис. 8.6 каждая фаза работает один раз за период в течение трети периода. Ток в работающей фазе равен току нагрузки. Обратное напряжение на закрытых диодах равно линейному. Максимальное обратное напряжение в 2.09 раза превышает постоянную составляющую выпрямленного напряжения.

Недостатком схемы на рис. 8.6 является вынужденное намагничивание сердечника трансформатора.

**Трехфазный мостовой выпрямитель.** Схема мостового выпрямителя изображена на рис. 7.8. В отечественной литературе ее называют схемой Ларионова. Этот выпрямитель является аналогом однофазного мостового выпрямителя.

Правую группу диодов называют катодной, а левую – анодной. В мостовом выпрямителе одновременно открыты два диода: один из катодной и один из анодной группы. Каждый диод работает треть периода.

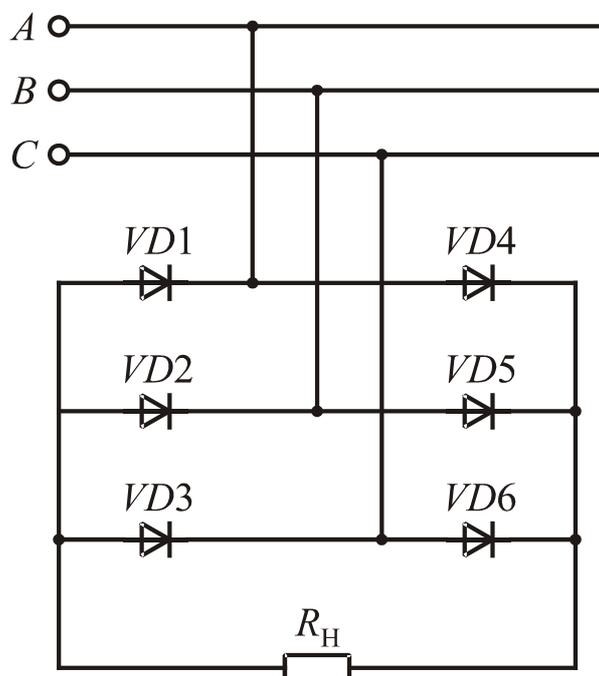


Рис. 7.8

Схема Ларионова характеризуется высокими технико-экономическими показателями и широко используется на практике. Коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения  $\varepsilon \approx 0.057$ , а частота пульсаций в шесть раз выше частоты сети. Это позволяет во многих случаях не использовать сглаживающий фильтр. Обратное напряжение на закрытых диодах ненамного превосходит постоянную составляющую выпрямленного напряжения ( $U_{обр\ max} = 1.045 U_n$ ). В трехфазном мостовом выпрямителе нет вынужденного намагничивания сердечника трансформатора.