

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.

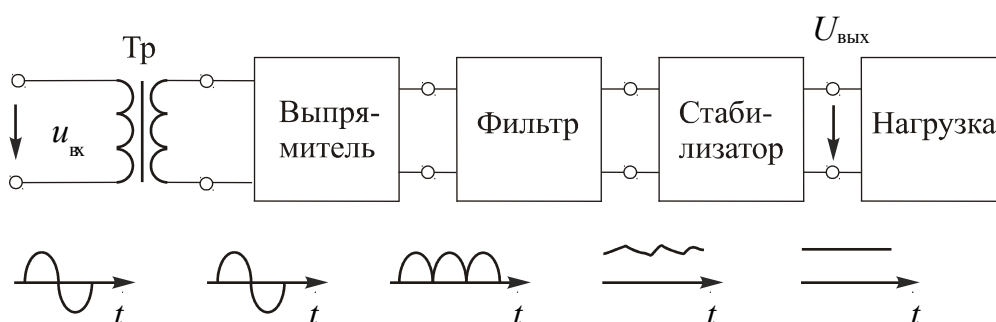


Рис. 7.1

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_{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.

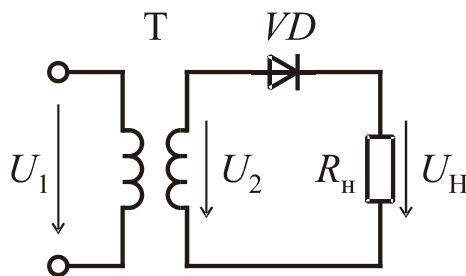


Рис. 7.2

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

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

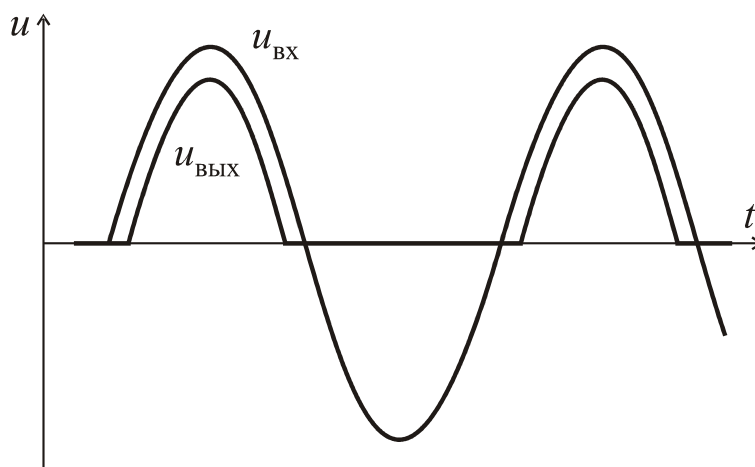


Рис. 7.3

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.

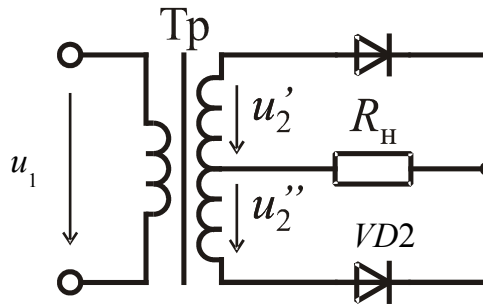


Рис. 7.4

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.

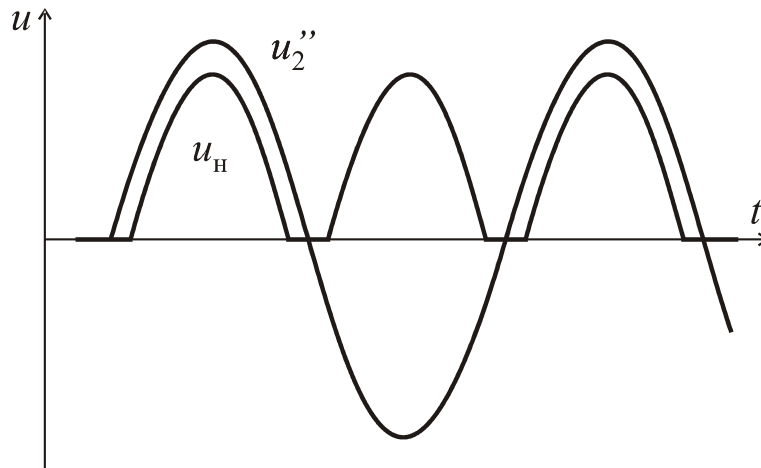


Рис. 7.5

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.

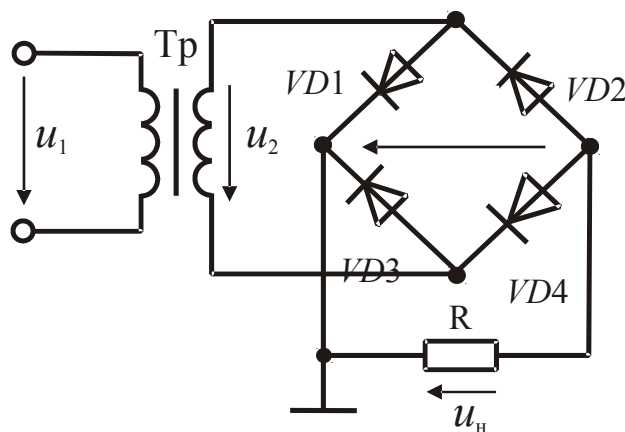


Рис. 7.6

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.

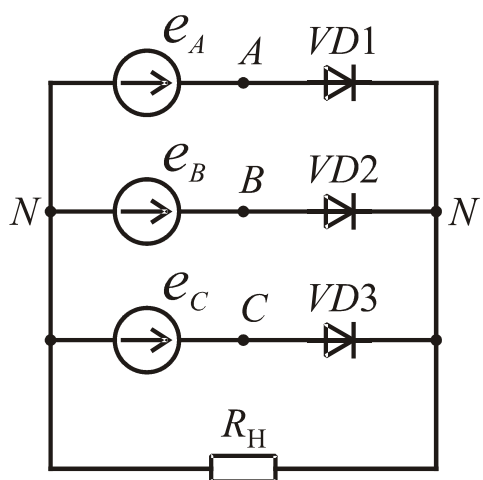


Рис. 7.7

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.

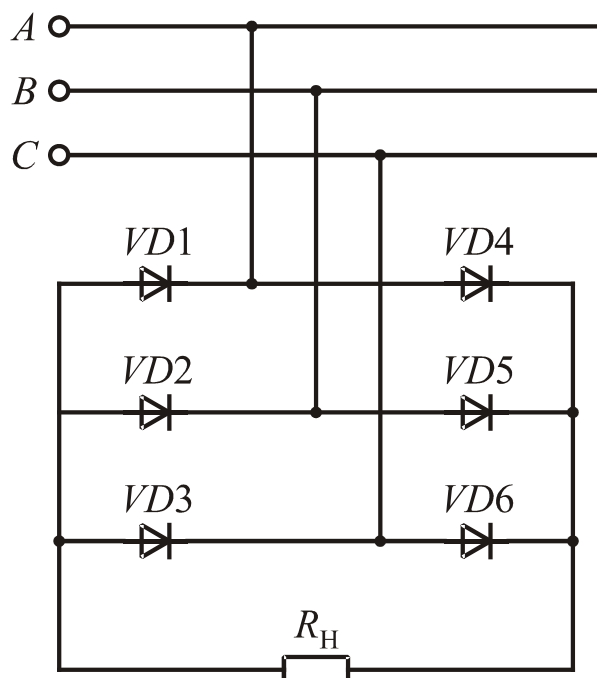


Рис. 7.8

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.