

## 15.2. ОДНОФАЗНЫЕ НЕУПРАВЛЯЕМЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

Однофазные выпрямители могут быть однополупериодными и двухполупериодными.

**Однополупериодные выпрямители.** Схема однополу-

периодного выпрямителя на полупроводниковом диоде показана на рис. 15.2. Переменное напряжение сети, преобразованное трансформатором  $\Gamma$  до необходимой величины  $U_T$ , подается на конденсатор  $C_\Phi$  и нагрузку  $R_H$ .

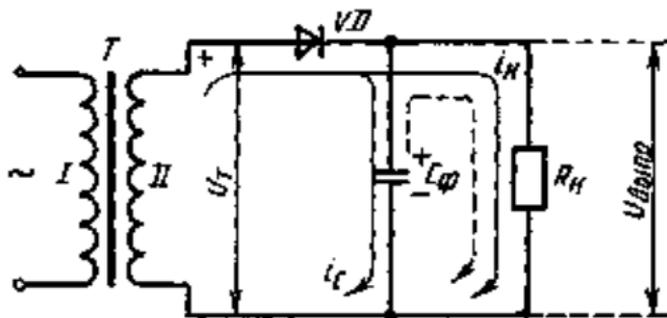


Рис. 15.2. Схема однополупериодного выпрямителя

через диод  $VD$ . В течение полупериода, когда напряжение  $U_T$  становится прямым для диода, через диод и нагрузку протекает ток. Конденсатор  $C_\Phi$  при этом заряжается до значения, близкого к пиковому значению  $U_T$ .

В следующий полупериод напряжение  $U_T$  для диода оказывается обратным, и через него протекает лишь незначительный обратный ток. При этом конденсатор  $C_\Phi$  «отключается» от вторичной обмотки трансформатора и начинает разряжаться через сопротивление нагрузки  $R_H$ . Таким образом, через нагрузку ток протекает в оба полупериода сетевого напряжения в одном и том же направлении.

При большом сопротивлении нагрузки конденсатор  $C_\Phi$  во время второго полупериода напряжения  $U_T$  разряжается незначительно, и можно считать, что напряжение на конденсаторе  $C_\Phi$  остается равным пиковому значению напряжения  $U_T$ . Следовательно, к диоду прикладывается напряжение обратной полярности, равное

$$U_{обр} = U_T + U_{C_\Phi} \approx 2U_T.$$

Качество выпрямления переменного напряжения оценивается коэффициентом выпрямления  $K_B = I_{пр} / I_{обр}$ , где  $I_{пр}$  и  $I_{обр}$  — значения прямого и обратного токов, протекающих через диод. Значение этого коэффициента больше у кремниевых диодов, что является одной из причин их более широкого применения в выпрямителях.

Недостатком однополупериодного выпрямителя является то, что выпрямленное напряжение сильно зависит от сопротивления нагрузки и имеет большую амплитуду

пульсаций. Поэтому такие выпрямители применяются редко и только при высокоомных нагрузках. В остальных случаях используются, как правило, двухполупериодные выпрямители.

**Двухполупериодные выпрямители.** На рис. 15.3, а представлена схема двухполупериодного выпрямителя с выводом от средней точки вторичной обмотки трансформатора.

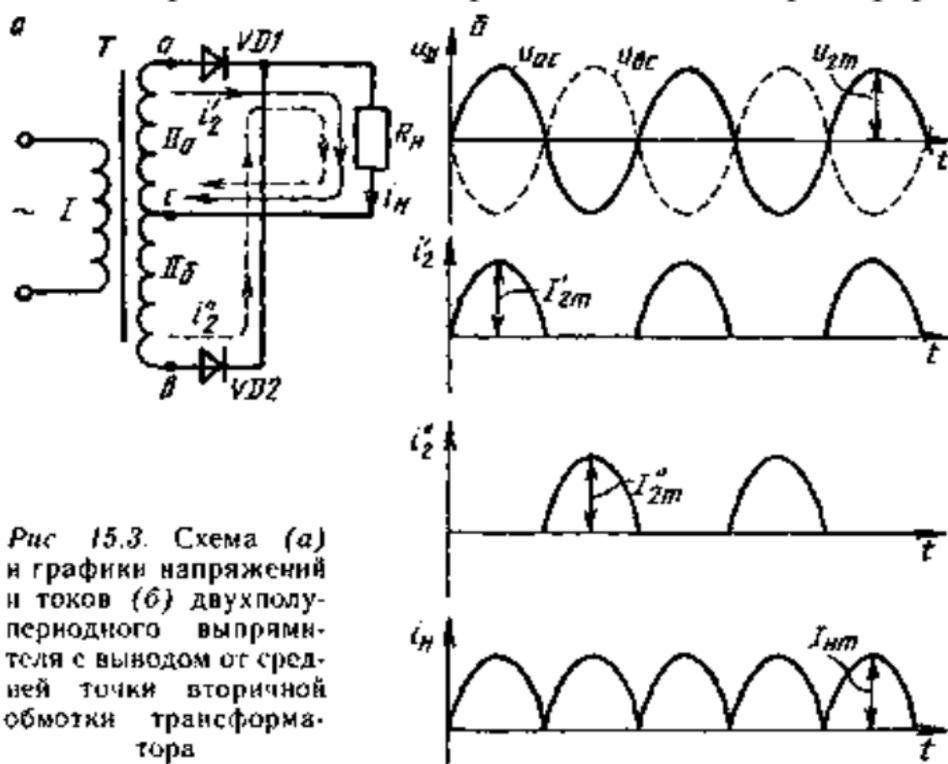


Рис 15.3. Схема (а) и графики напряжений и токов (б) двухполупериодного выпрямителя с выводом от средней точки вторичной обмотки трансформатора

тора. Обычно эта точка соединяется с проводом нулевого потенциала. Работает такой выпрямитель следующим образом.

Напряжения  $u_{ac}$  и  $u_{bc}$ , измеренные на концах  $a$  и  $b$  вторичной обмотки трансформатора относительно средней точки  $c$ , являются противофазными (рис. 15.3, б). Во время положительного полупериода напряжения  $u_{ac}$  открывается диод  $VD1$ , а диод  $VD2$  оказывается закрытым. Поэтому через нагрузку  $R_n$  протекает только ток  $i_2'$ , создаваемый верхней половиной вторичной обмотки трансформатора.

В следующий полупериод сетевого напряжения положительным относительно точки  $c$  оказывается напряжение  $u_{bc}$ , а  $u_{ac}$  — отрицательным. Открытым окажется диод  $VD2$ , а  $VD1$  — закрытым. Через нагрузку потечет ток  $i_2''$ , создаваемый напряжением  $u_{bc}$ . Таким образом, ток через нагрузку протекает в каждый полупериод сетевого напря-

жения в одном и том же направлении, создавая на ней пульсирующее напряжение с частотой пульсаций, равной удвоенной частоте сетевого напряжения.

Средние значения выпрямленного тока и выпрямленного напряжения в нагрузке

$$I_{\text{ср}} = \frac{2}{\pi} I_{2m}; \quad U_{\text{ср}} = \frac{2}{\pi} U_{2m}. \quad (15.1)$$

Обычно значения  $I_{\text{ср}}$  и  $U_{\text{ср}}$  задаются при расчете выпрямителя, поэтому выражения (15.1) позволяют определить амплитудные значения токов и напряжений, действующих во вторичных обмотках  $ac$  и  $bc$  трансформатора и нагрузке:

$$I_{2m} = \frac{\pi}{2} I_{\text{ср}}; \quad U_{2m} = \frac{\pi}{2} U_{\text{ср}}. \quad (15.2)$$

Выражение (15.2) позволяет определить действующие значения тока и напряжения в нагрузке

$$I_n = \frac{I_{2m}}{\sqrt{2}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} I_{\text{ср}} \approx 1,11 I_{\text{ср}}, \quad (15.3)$$

$$U_n = \frac{U_{2m}}{\sqrt{2}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} U_{\text{ср}} \approx 1,11 U_{\text{ср}}. \quad (15.4)$$

Через каждую половину вторичной обмотки и через диоды  $VD1$  и  $VD2$  ток протекает лишь в течение одного полупериода, поэтому его среднее значение

$$I_{2\text{ср}} = 0,5 I_{\text{ср}}, \quad (15.5)$$

а действующее значение

$$I_2 = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} [i_2(\omega t)]^2 d\omega t} = \frac{I_{2m}}{2} = \frac{\pi}{4} I_{\text{ср}}. \quad (15.6)$$

Действующее значение напряжения в каждой половине вторичной обмотки на основании (15.2) определяется по формуле

$$U_2 = \frac{U_{2m}}{\sqrt{2}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} U_{\text{ср}} \approx 1,1 U_{\text{ср}}. \quad (15.7)$$

Выражения (15.6) и (15.7) позволяют рассчитывать мощность  $P'_2$ , развиваемую каждой половиной вторичной обмотки трансформатора:

$$P'_2 = I_2 U_2 = \frac{\pi^2}{8\sqrt{2}} P_{\text{ср}} \approx 0,86 P_{\text{ср}}. \quad (15.8)$$

Из рис. 15.3, *a* видно, что к аноду закрытого диода прикладывается отрицательное напряжение соединенной с ним половины вторичной обмотки, а к его катоду —

положительное напряжение другой половины. Следовательно, обратное напряжение, прикладываемое к закрытому диоду,

$$U_{обр\ max} = 2U_{2m} = \pi U_{ср}.$$

Для определения коэффициента пульсаций пульсирующее напряжение на выходе выпрямителя  $u(t)$  представляют рядом Фурье, который при числе пульсаций выпрямленного напряжения  $p \geq 2$  имеет вид

$$u(t) = \frac{p}{\pi} U_m \sin \frac{\pi}{p} + \frac{2}{p^2 - 1} \cdot \frac{p}{\pi} U_m \sin \frac{\pi}{p} \cos(p\omega t + \varphi_1) + \dots$$

В этом выражении

$$\frac{p}{\pi} U_m \sin \frac{\pi}{p} = U_{ср} - \text{постоянная составляющая,}$$

$$\frac{2}{p^2 - 1} \cdot \frac{p}{\pi} U_m \sin \frac{\pi}{p} = U_{1m} - \text{амплитуда первой гармоники.}$$

Для рассматриваемого выпрямителя  $p = 2$  и коэффициент пульсаций

$$K_u = \frac{U_{1m}}{U_{ср}} = \frac{2}{p^2 - 1} = 0,67.$$

Недостатками двухполупериодного выпрямителя с выводом от средней точки вторичной обмотки трансформатора являются высокое обратное напряжение, прикладываемое к выпрямительным диодам, и усложненная конструкция трансформатора.

На рис. 15.4, а показана схема однофазного двухполупериодного мостового выпрямителя, а на рис. 15.4, б — графики токов и напряжений в его цепях. В выпрямителе

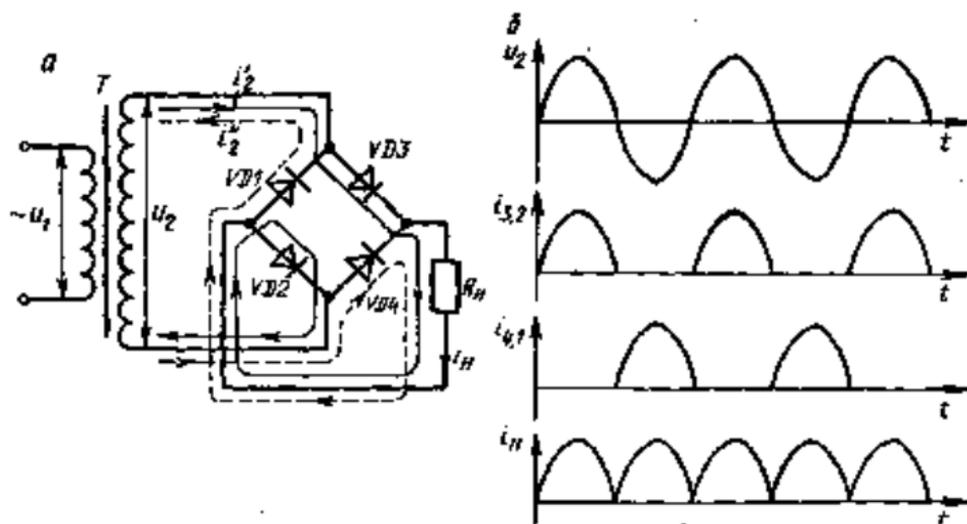


Рис. 15.4. Схема (а) и графики напряжения и токов (б) двухполупериодного мостового выпрямителя

используются четыре диода  $VD1 \dots VD4$ , которые включаются в проводящее направление попарно: в один полупериод открыты диоды  $VD3$  и  $VD2$ , в другой —  $VD4$  и  $VD1$ . Напряжение на каждом закрытом диоде равно напряжению  $u_2$ , поэтому обратное напряжение на диоде не превышает значения  $U_{2,обр} = \sqrt{2}U_2$ , что в 2 раза меньше, чем в двухполупериодном выпрямителе с выводом от средней точки вторичной обмотки трансформатора. В этом одно из достоинств мостового выпрямителя. Кроме того, он имеет более простую конструкцию трансформатора: не нужно делать дополнительного вывода от вторичной обмотки. Значения  $I_{ср}$ ,  $U_{ср}$  в нагрузке и среднего тока, протекающего через выпрямительные диоды, такие же, как и в выпрямителе со средним выходом от вторичной обмотки. Поэтому коэффициент пульсаций в мостовом двухполупериодном выпрямителе также равен 0,67, или 67 %.