

Управляемые выпрямители.

Управляемые выпрямители позволяют не только выпрямлять напряжение, но и изменять его величину.

Однофазный однополупериодный выпрямитель.

Однофазный однополупериодный выпрямитель при работе на активную нагрузку.

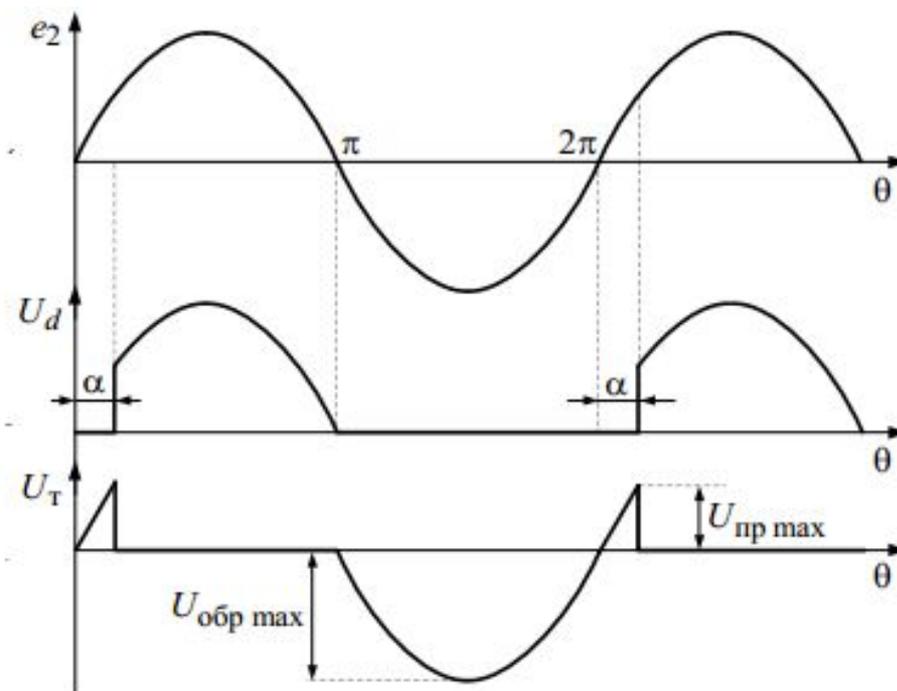
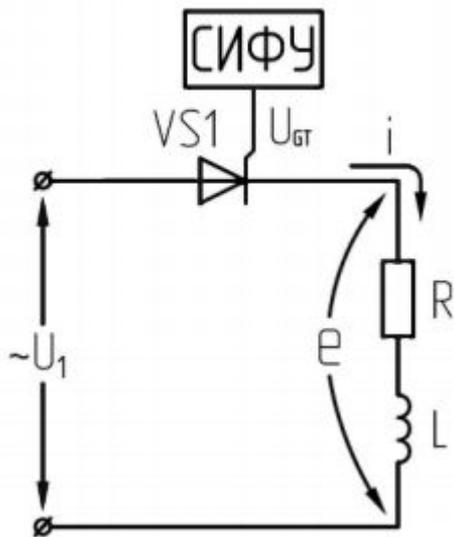
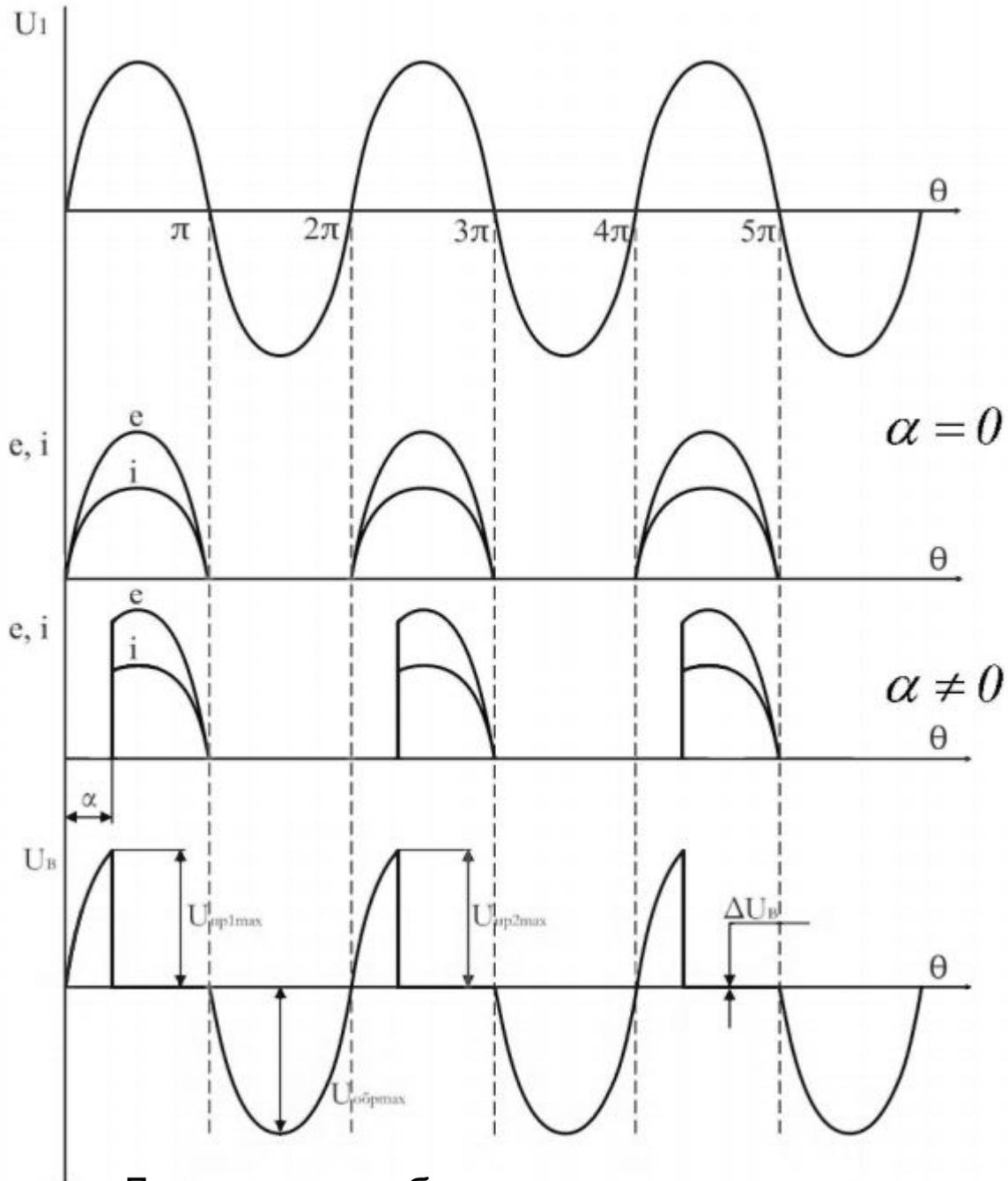
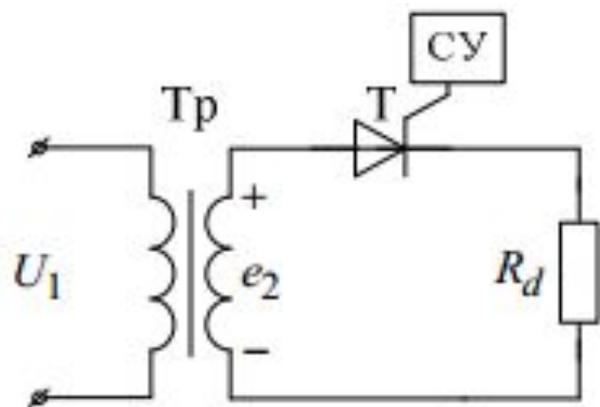


Схема однофазного управляемого однополупериодного

Диagramмы работы выпрямителя на R-нагрузку



Диаграммы работы выпрямителя на R-нагрузку

Схема однофазного управляемого однополупериодного выпрямителя

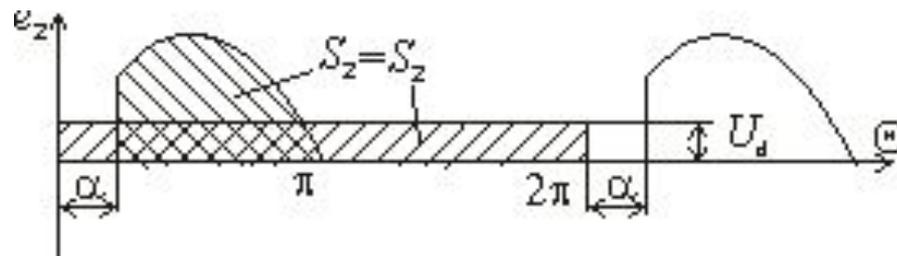
Для перевода тиристора в проводящее состояние необходимо выполнение одновременно двух условий:

1. Наличие положительного потенциала на аноде относительно катода $U_{ак}$.
2. Наличие в цепи управления тока

i_y , достаточного для включения тиристора при данной величине $U_{ак}$.

Формирование тока управления осуществляется специальным устройством– системой управления (СУ).

Пусть в положительный полупериод ЭДС e_2 система управления формирует сигнал на включение тиристора со сдвигом по фазе на угол α относительно точки О. Тогда ток в нагрузке будет протекать на интервале $\alpha \dots \pi$ под действием выпрямленного напряжения U_d . В точке π тиристор закроется, так как полярность ЭДС e_2 изменится на противоположную, и снова тиристор сможет открыться только в точке $(2\pi + \alpha)$, когда система управления снова подаст сигнал на его включение. **Постоянная составляющая (среднее значение) выпрямленного напряжения при этом**



$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2} E_2 \sin \theta d\theta = \frac{\sqrt{2} E_2}{2\pi} (1 + \cos \alpha) = \frac{\sqrt{2} E_2}{\pi} \frac{(1 + \cos \alpha)}{2}$$

Для нерегулируемого режима при $\alpha = 0$

$$U_{d0} = \frac{\sqrt{2}E_2}{\pi} = 0,45E_2.$$

U_{d0} – среднее значение выпрямленного напряжения при $\alpha = 0$, что соответствует выпрямленному напряжению неуправляемого выпрямителя при том же действующем значении напряжения обмотки трансформатора.

При $\alpha \neq 0$

$$U_d = U_{d0} \frac{1 + \cos\alpha}{2}. \quad (1)$$

При $\alpha = \pi$ $U_d = 0$.

Постоянная составляющая выпрямленного тока:

$$I_d = \frac{U_{d0}}{R_d} \frac{1 + \cos\alpha}{2}.$$

Угол α , на который запаздывает включение вентиля Т относительно точки естественной коммутации, называется углом управления или углом включения вентиля.

Максимальные значения выпрямленного напряжения и тока в нагрузке:

$$U_{cp} = \frac{E_{2m}}{\pi}; \quad I_{cp} = \frac{U_{cp}}{R_d} = \frac{I_{2m}}{\pi}.$$

Обычно данные значения задаются при расчете выпрямителя. Поэтому они позволяют рассчитать амплитудные значения тока и напряжения на вторичной обмотке трансформатора:

$$E_{2m} = \pi U_{cp}; \quad I_{2m} = \pi I_{cp}.$$

Действующие значения тока и напряжения в нагрузке

$$U_H = \frac{E_{2m}}{\sqrt{2}} = \frac{\pi U_{cp}}{\sqrt{2}} \approx 2,22U_{cp}$$
$$I_H = \frac{\pi I_{cp}}{\sqrt{2}} \approx 2,22I_{cp}.$$

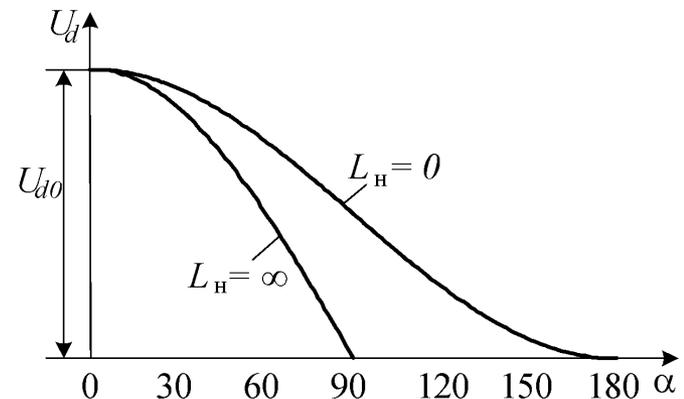
В управляемом выпрямителе к вентилю, кроме обратного(запирающего) напряжения, прикладывается еще и прямое напряжение на участке $2\pi \dots (2\pi + \alpha)$:

$$U_{прmax} = \sqrt{2}E_2 \sin\theta.$$

При $\alpha = 0$ все электромагнитные процессы управляемых выпрямителей и основные расчетные соотношения аналогичны рассмотренным для схем неуправляемых выпрямителей.

Выражение (1) $U_d = f(\alpha)$ представляет собой **регулирующую характеристику** выпрямителя, показывающую зависимость среднего значения напряжения U_d управляемого выпрямителя от угла регулирования α . Для чисто активной нагрузки зависимость $U_d = f(\alpha)$ показана в виде верхней кривой.

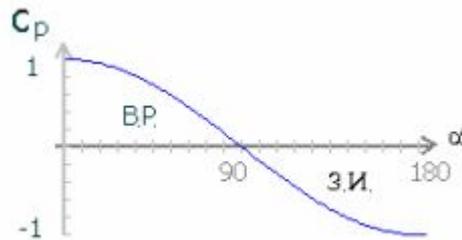
При изменении величины угла регулирования α от 0 до 180 эл. град. происходит плавное уменьшение среднего значения выпрямленного напряжения от U_d до 0, т. е. плавное регулирование напряжения.



Отношение среднего значения выпрямленного напряжения управляемого выпрямителя к среднему значению выпрямленного напряжения неуправляемого выпрямителя называется степенью регулирования выпрямленного напряжения и обозначается C_p . Тогда уравнение регулировочной характеристики в относительных единицах имеет вид

$$C_p = \frac{U_{d\alpha 0}}{U_{d0}} = \cos \alpha$$

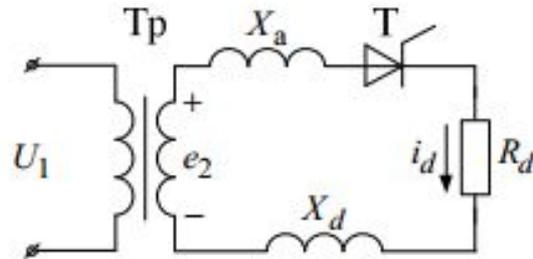
График степени регулирования показан на рисунке



При $0 < \alpha < 90$ имеет место выпрямительный режим работы схемы, при $90 < \alpha < 180$ – режим зависимого инвертирования.

Активно – индуктивная нагрузка.

При активно-индуктивном характере нагрузки справедливо уравнение

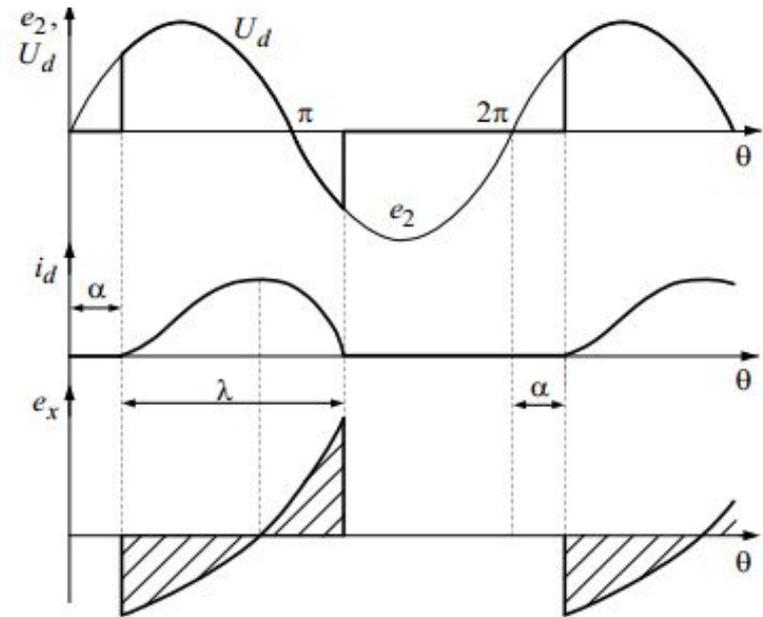


$$i_d R_d + (X_a + X_d) \frac{di_d}{d\theta} = e_2.$$

Обозначая $X_a + X_d = X$ и учитывая, что $e_2 = \sqrt{2}E_2 \sin \theta$, решаем это уравнение относительно i_d :

$$i_d = \frac{\sqrt{2}E_2}{\sqrt{R_d^2 + X^2}} \left[\sin(\theta - \varphi) - \sin(\alpha - \varphi) e^{-(\theta - \alpha) \operatorname{ctg} \varphi} \right],$$

где $\varphi = \operatorname{arctg} \left(\frac{X}{R_d} \right)$.

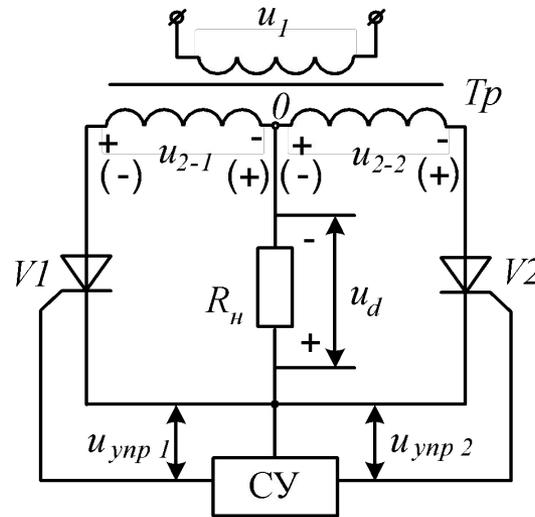


Временные диаграммы при работе на

Однофазный двухполупериодный выпрямитель.

Работа выпрямителя при активной нагрузке.

Схема однофазного двухполупериодного выпрямителя имеет вид



При положительной полуволне u_1 ($0 - \pi$) во вторичных полуобмотках трансформатора действуют напряжения $u_{2-1} > 0$ и $u_{2-2} < 0$ (без скобок). На интервале $0 - \vartheta_1$ оба тиристора находятся в закрытом состоянии поскольку отсутствуют отпирающие импульсы. Следовательно напряжение на выходе выпрямителя $u_d = 0$. В момент времени $\vartheta = \vartheta_1$ на управляющий электрод тиристора $V1$ подается отпирающий импульс $u_{упр1}$. При положительном напряжении u_{2-1} на аноде тиристор открывается и подключает нагрузку R_H к u_{2-1} . На интервале $\vartheta_1 - \pi$ выпрямленное напряжение u_d повторяет форму u_{2-1} . Ток через тиристор повторяет форму тока нагрузки $i_{V1} = i_d = u_d / R_H$. При чисто активной нагрузке выпрямленный ток повторяет форму выпрямленного напряжения. В момент времени $\vartheta = \pi$ с уменьшением до нуля прямого анодного тока i_{V1} вентиля $V1$, происходит его закрытие.

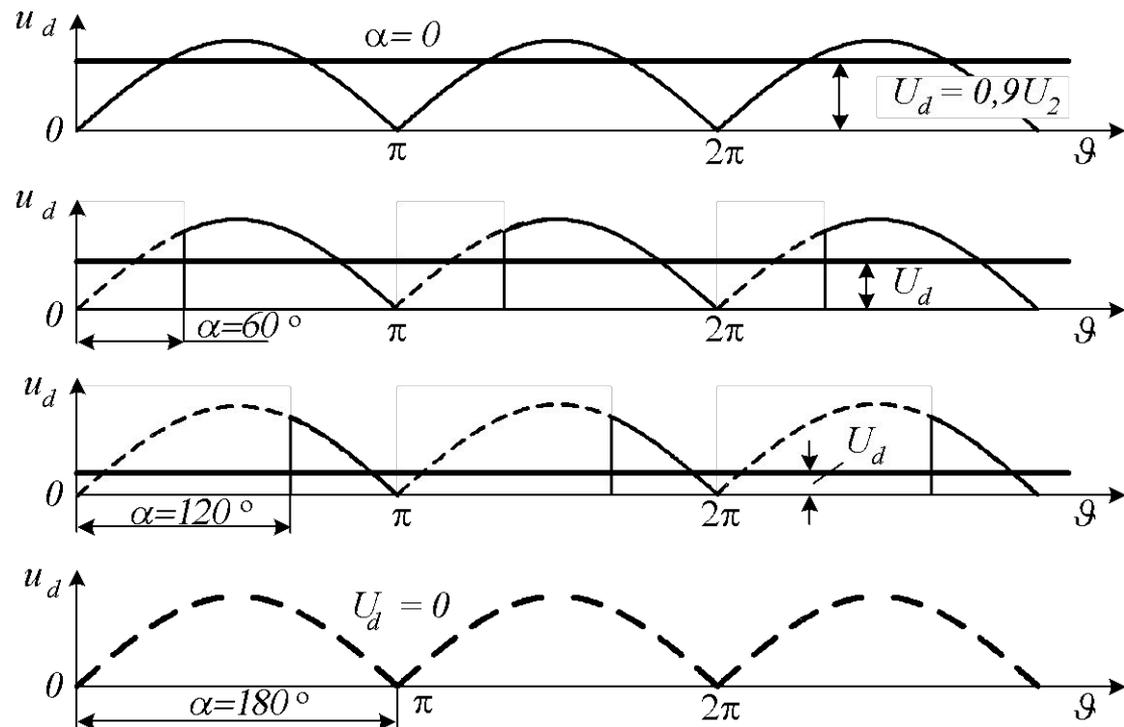
При $\vartheta = \pi$ происходит смена полярности напряжения вторичных обмоток трансформатора и все повторяется для V2.

Выясним форму напряжения. На интервале $0 - \vartheta_1$ оба тиристора находятся в закрытом состоянии, при этом напряжение на V1 положительно, а на V2 – отрицательно. К закрытым тиристорам прикладывается суммарное напряжение двух обмоток трансформатора: $u_a = [u_{2-1}] + [u_{2-2}]$. Следовательно, к каждому закрытому тиристорному будет приложено напряжение $[u_{2-1}] + [u_{2-2}] = 2u_2$, максимальное значение которого:

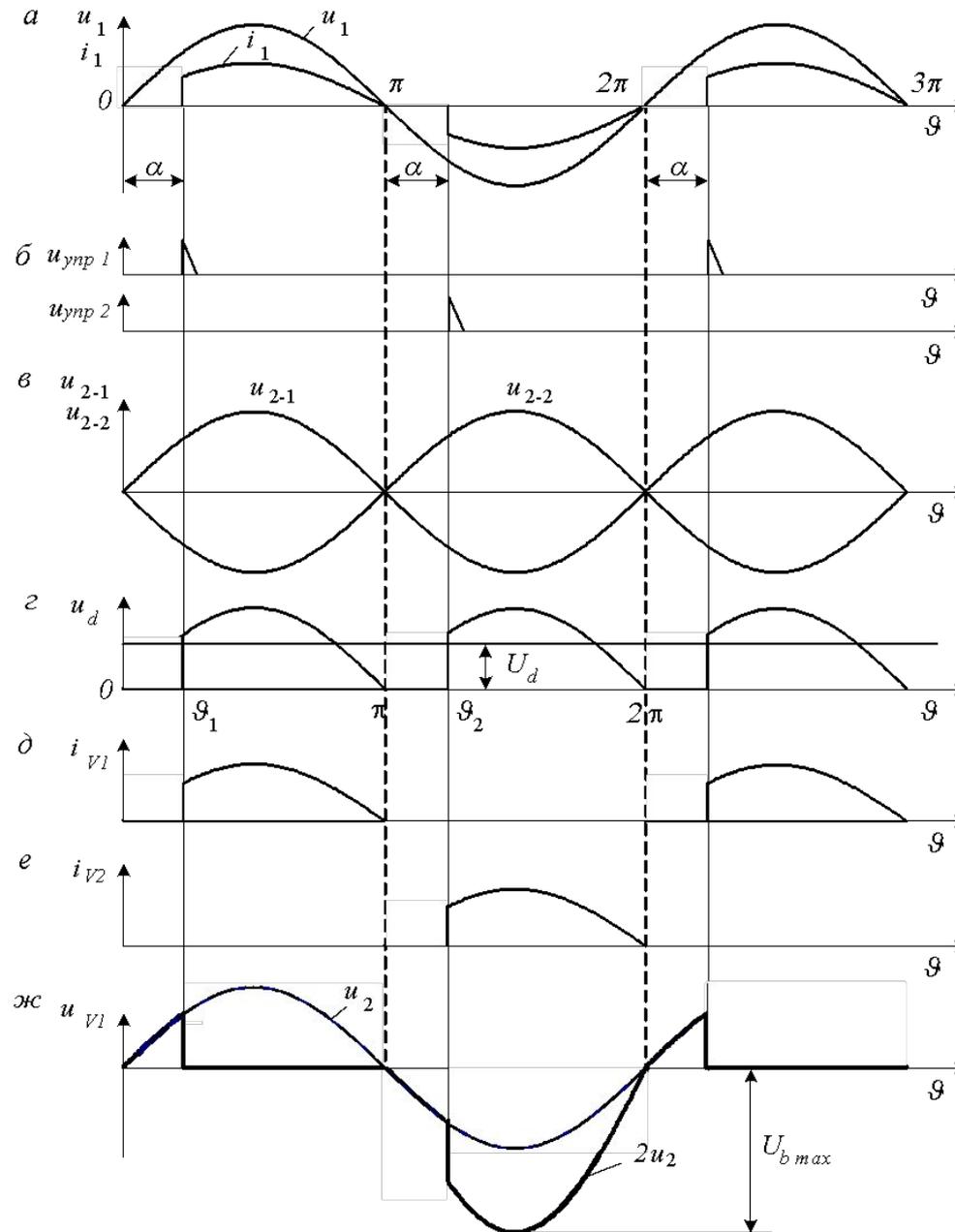
$$U_a = 2\sqrt{2}U_2,$$

где: U_2 - действующее значение напряжения на обмотке трансформатора.

Кривые напряжения u_d при различных углах регулирования α .



Диаграммы работы управляемого выпрямителя с нулевым выводом.



Среднее значение выпрямленного напряжения

$$U_d = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2} E_2 \sin \theta d\theta = \frac{\sqrt{2} E_2}{\pi} (1 + \cos \alpha) = \frac{2\sqrt{2} E_2 (1 + \cos \alpha)}{2\pi}.$$

Для нерегулируемого режима при $\alpha = 0$

$$U_d = U_{d0} = \frac{2\sqrt{2} E_2}{\pi} = 0,9 E_2.$$

U_{d0} – среднее значение выпрямленного напряжения при $\alpha = 0$, что соответствует выпрямленному напряжению неуправляемого выпрямителя при том же действующем значении напряжения обмотки трансформатора.

При $\alpha \neq 0$

$$U_d = U_{d0} \frac{1 + \cos \alpha}{2}.$$

При $\alpha = \pi$ $U_d = 0$.

Постоянная составляющая выпрямленного тока:

$$I_d = \frac{U_{d0}}{R_d} \frac{1 + \cos \alpha}{2}.$$

Максимальные значения выпрямленного напряжения и тока в нагрузке:

$$U_{cp} = \frac{2E_{2m}}{\pi}; I_{cp} = \frac{U_{cp}}{R_d} = \frac{2I_{2m}}{\pi}.$$

Амплитудные значения тока и напряжения на вторичной обмотке трансформатора:

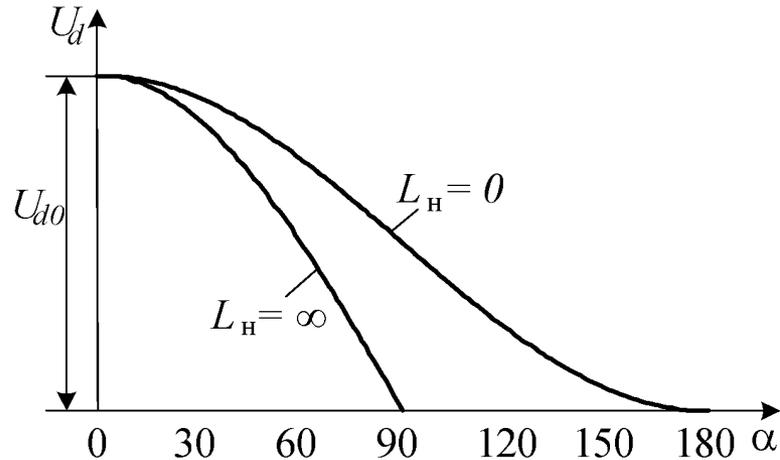
$$E_{2m} = \frac{\pi U_{cp}}{2}; I_{2m} = \frac{\pi I_{cp}}{2}.$$

Действующие значения тока и напряжения в нагрузке

$$U_H = \frac{E_{2m}}{2\sqrt{2}} = \frac{\pi U_{cp}}{\sqrt{2}} \approx 1,11U_{cp}$$

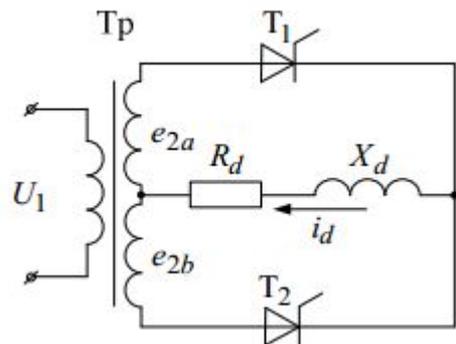
$$I_H = \frac{\pi I_{cp}}{2\sqrt{2}} \approx 1,11I_{cp}$$

Регулировочная характеристика $U_d = f(\alpha)$ выпрямителя.



При изменении угла регулирования α от 0 до 180° происходит плавное уменьшение среднего значения выпрямленного напряжения от U_d до 0 , т. е. плавное регулирование напряжения.

Работа выпрямителя при активно-индуктивной нагрузке.



Если длительность протекания тока $\lambda < \pi$, что имеет место при прерывистом режиме тока нагрузки, и $X = 0$ и $\alpha > 0$ (на рисунке **в** – жирная сплошная линия), то между периодами протекания тока имеет место бестоковая пауза, которая может сохраняться и при активно-индуктивной нагрузке (на рисунке **в** – тонкая линия). Мгновенное значение тока нагрузки в режиме прерывистых токов и в гранично-непрерывном определяется выражением

$$i_d = \frac{\sqrt{2}E_2}{\sqrt{R_d^2 + X^2}} \left[\frac{\sin(\alpha - \varphi)}{e^{-\text{ctg} \varphi \pi} - 1} e^{-\text{ctg} \varphi (\theta - \alpha)} + \sin(\theta - \varphi) \right].$$

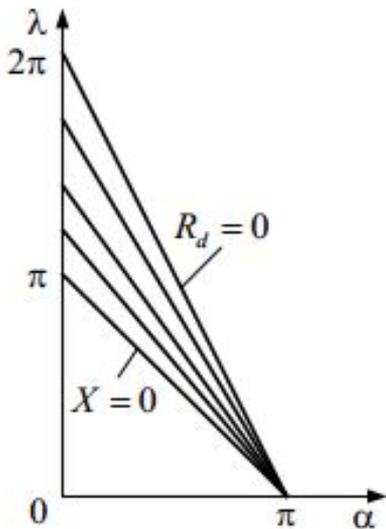
где: $\varphi = \text{arctg} \left(\frac{X}{R_d} \right)$.

$$X_a + X_d = X$$

В режиме прерывистых токов E_d находится по выражению

$$E_d = \frac{1}{\pi} \int_0^{\lambda + \alpha} \sqrt{2}E_2 \sin \theta d\theta = \frac{\sqrt{2}E_2}{\pi} [\cos \alpha - \cos(\alpha + \lambda)],$$

где λ может быть найдено из графика

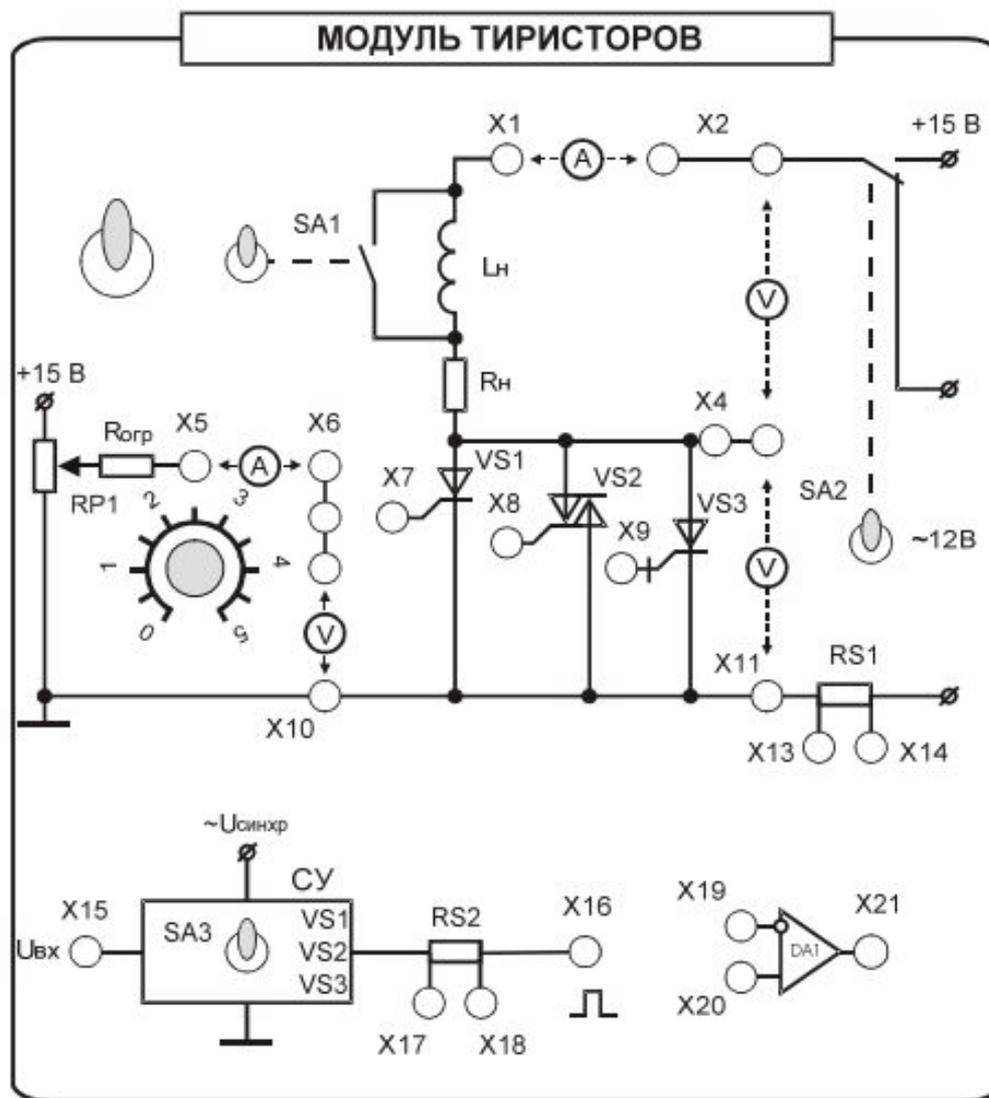


Зависимость длительности проводящего состояния вентиля от угла управления и параметров нагрузки

Как видно из рисунков **б)** и **в)**, при увеличении индуктивности в цепи нагрузки происходит затягивание тока i_d за точку π , в результате чего появляется отрицательный участок в кривой выпрямленного напряжения, что снижает величину его постоянной составляющей E_d . Так, в режимах непрерывного (для наиболее характерного для практики параметра нагрузки с $L \rightarrow \infty$) тока и гранично-непрерывного тока E_d определяется по выражению:

$$E_d = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \sqrt{2}E_2 \sin \theta d\theta = \frac{2\sqrt{2}E_2}{\pi} \cos \alpha .$$

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНЫХ ОДНОПОЛУПЕРИОДНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ



Панель модуля
«Тиристоры»

Схема для исследования однополупериодного управляемого выпрямителя

