

6.5 Управляемые выпрямители

Теория работы многофазного “m” пульсового управляемого выпрямителя

6.5.1 Схема управляемого выпрямителя (УВ)

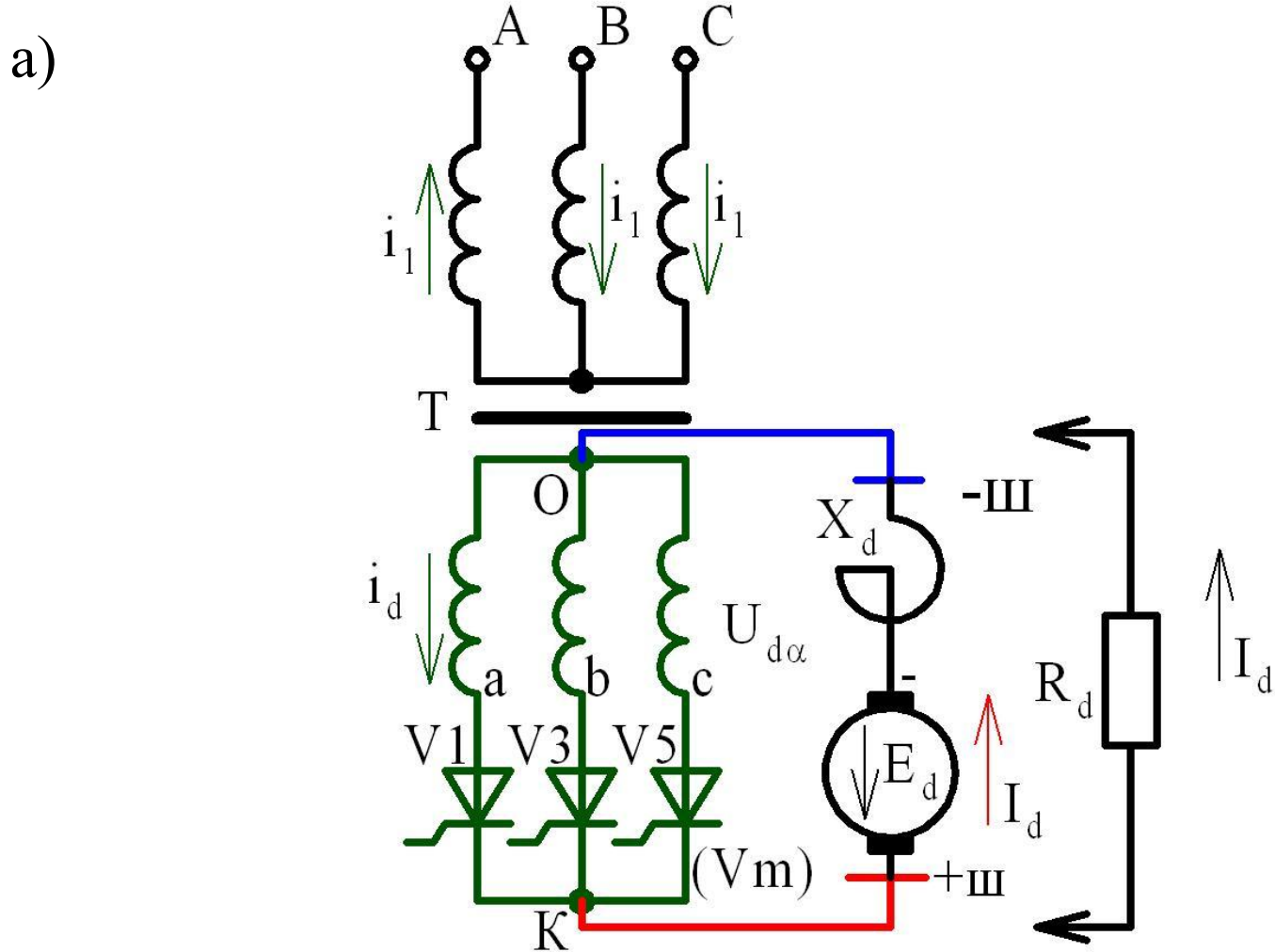


Рисунок 6.5.1, а – Схема трехфазного управляемого выпрямителя

б)

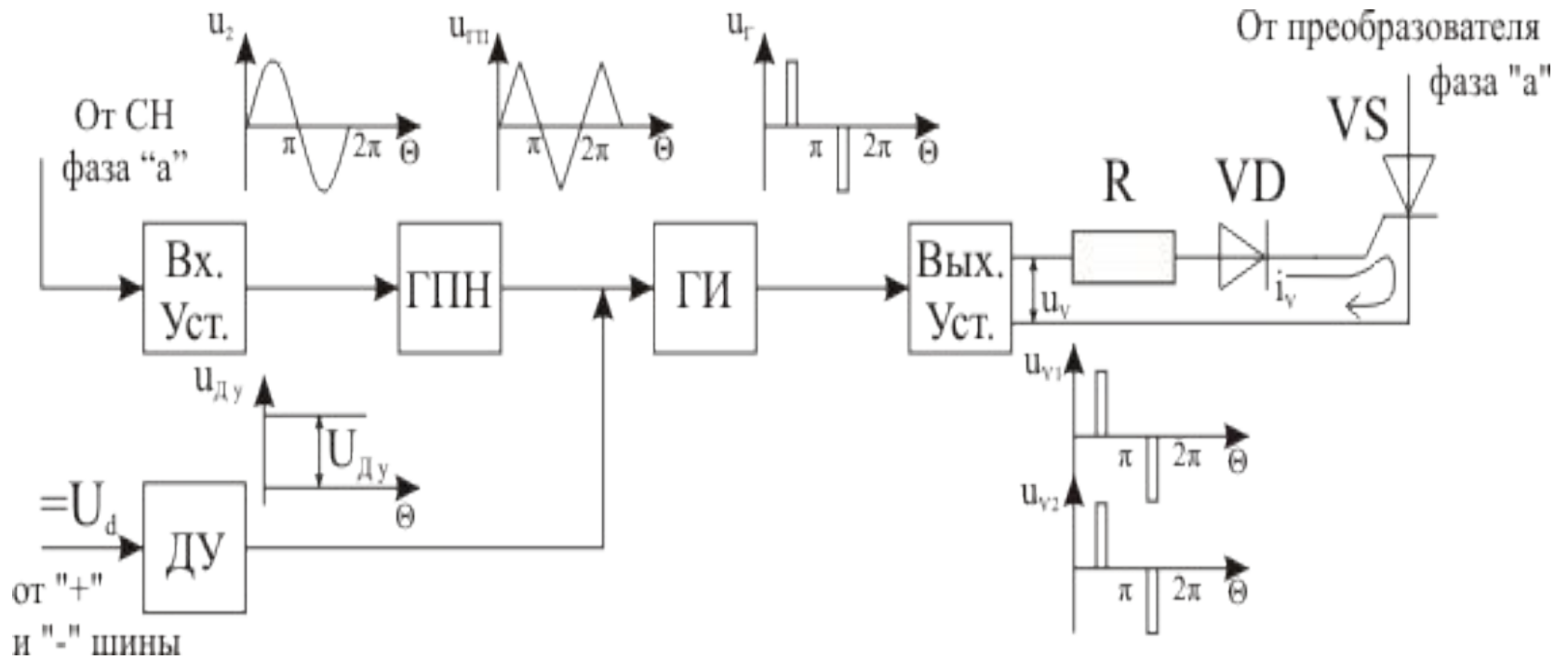
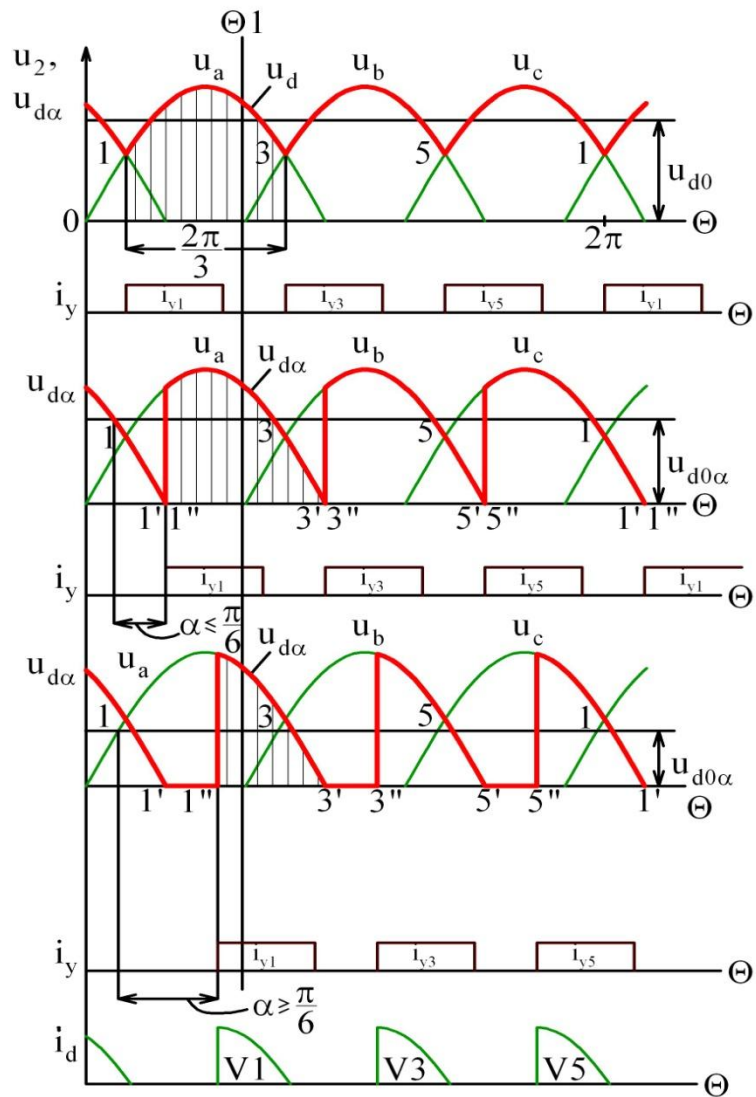


Рисунок 6.5.1, б – Структурная схема управления

а)



б)

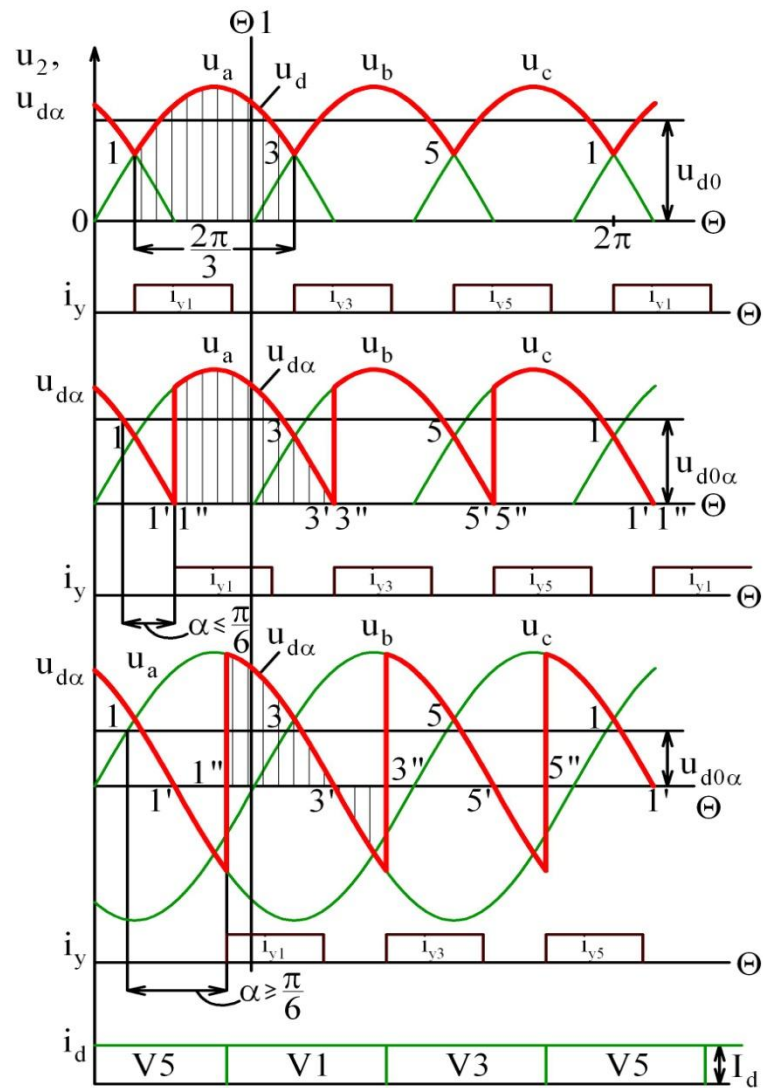


Рисунок 6.5.2 – Временные диаграммы выпрямленного напряжения u_d , тока управления i_y , тока нагрузки i_d , при работе трехпульсового управляемого выпрямителя на активную (а) и активно-индуктивную нагрузку с $X_d = \infty$ (б) с углами регулирования: $\alpha = 0$; $\alpha \leq \pi/6$; $\alpha \geq \pi/6$

Принятые допущения

Напряжение в питающей сети и u_2 синусоидальные

$$1. u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \Theta \quad (6.5.1)$$

Индуктивное сопротивление и сопротивление питающей сети и трансформатора равны 0

$$2. X_c = X_T = X_v = 0, \text{ т.е. } \gamma = 0$$

Влияние характера нагрузки на работу УВ

УВ работают на два вида нагрузки:

а – нагрузка, содержащая чисто активное сопротивление R_d

при $X_d = 0$

б – нагрузка, содержащая противо ЭДС при $X_d = \infty$

6.5.2 Теория работы управляемого выпрямителя

а) На активную нагрузку R_d при $X_d=0$

б) На **противо** ЭДС при $X_d=\infty$

Теория работы зависит от угла регулирования α

Режим 1. Работа УВ при $\alpha=0$

Характер нагрузки на работу схемы влияния не оказывает.

В момент Θ_1 работает V_1 , т.к. $u_a \rightarrow \max$ и током $i_{y1} = I_{GT}$ тиристор V_1 открыт.

Потенциал $u_k = u_a$

$u_k = u_a$

Мгновенное значение выпрямленного напряжения

$u_{d\alpha} = u_a$

$u_{d\alpha} = u_a$

В т.3 включается V3, т.к. $u_b \rightarrow \max$ и током $i_{y3} = I_{GT}$ тиристор V3 открыт

Потенциал $u_k = u_b$

Мгновенное значение выпрямленного напряжения

$$u_{d\alpha} = u_b$$

$$u_{d\alpha} = u_b$$

В т.5 включается V5. т.к. $u_c \rightarrow \max$ и током $i_{y5} = I_{GT}$ тиристор V5 открыт

Потенциал $u_k = u_c$

Мгновенное значение выпрямленного напряжения

$$u_{d\alpha} = u_c$$

$$u_{d\alpha} = u_c$$

При этом $u_{d\alpha}$ следует по вершишкам синусоиды u_a, u_b, u_c .

Режим 2. Работа УВ при $0 < \alpha \leq 30^\circ$

Характер нагрузки на работу схемы влияния не оказывает, но тиристоры включаются на угол α позже точек естественного включения 1,3,5.

В момент $\Theta 1$ работает $V1$, т.к. $u_a \rightarrow \max$ и током $i_{y1} = I_{GT}$ тиристор $V1$ открыт

Потенциал $u_k = u_a$ | $u_k = u_a$

Мгновенное значение выпрямленного напряжения

$u_{d\alpha} = u_a$ | $u_{d\alpha} = u_a$

В т.3 $u_b > u_a$, но $V3$ не включается т.к. $i_{y3} = 0$ поэтому $V1$ продолжает работать до т.3”.

В т.3 $u_b > u_a$, но $V3$ не включается т.к. $i_{y3} = 0$ поэтому $V1$ продолжает работать до т.3''.

Аналогично в т.3'' включается $V3$, т.к. $u_b \rightarrow \max$ и током $i_{y3} = I_{GT}$ тиристор $V3$ открыт.

Потенциал $u_k = u_b$ | $u_k = u_b$
 Мгновенное значение выпрямленного напряжения

$u_{d\alpha} = u_b$ | $u_{d\alpha} = u_b$
 В т.5 $u_c > u_{yb}$, но $V5$ не включается т.к. $i_{y5} = 0$ поэтому $V3$ продолжает работать до т.5''.

Мгновенное значение выпрямленного напряжения

$u_{d\alpha} = u_b$ | $u_{d\alpha} = u_b$
 В т.5'' включается $V5$, т.к. $u_c \rightarrow \max$ и током $i_{y5} = I_{GT}$ тиристор открыт $V5$

$u_{d\alpha} = u_c$ | $u_{d\alpha} = u_c$

Таким образом, мгновенное значение выпрямленного напряжения $u_{d\alpha}$ изменяется по усеченной синусоиде (рис. 6.5.2)

Режим 3. Работа схемы при $\alpha > 30^\circ$

При $\alpha > 30^\circ$ на работу схемы оказывает влияние характер нагрузки.

Рассмотрим особенности работы УВ

В момент Θ_1 работает V_1 , т.к. $u_a \rightarrow \max$ и током $i_{y1} = I_{GT}$ тиристор V_1 открыт.

Потенциал $u_k = u_a$ | $u_k = u_a$

Мгновенное значение выпрямленного напряжения

$u_{d\alpha} = u_a$ | $u_{d\alpha} = u_a$

В т.3 $u_b > u_a$, но V3 не включается т.к. $i_{y3} = 0$ поэтому V1 продолжает работать до т.3'.

Потенциал $u_k = u_a$ $u_k = u_a$
 Мгновенное значение выпрямленного напряжения

$$u_{d\alpha} = u_a$$

$$u_{d\alpha} = u_a$$

При $X_d = 0$

В т.3' $u_a < 0$, то V1 отключается

При $X_d = \infty$

В т.3' $u_a < 0$, но за счет накопленной энергии в $X_d = \infty$ V1 будет продолжать работать.

Мгновенное значение выпрямленного напряжения

$$u_{d\alpha} = 0$$

$$u_{d\alpha} = u_a$$

В точке 3'' током $i_{y3} = I_{GT}$ включается V3

Следовательно мгновенное значение выпрямленного напряжения

$$u_{d\alpha} = u_b$$

$$u_{d\alpha} = u_b$$

Аналогичные процессы будут протекать в точках 5, 5', 5'' при переходе тока с V3 на V5.

В т.5 $u_c > u_b$, но V5 не включается т.к. $i_{y5} = 0$ поэтому V3 продолжает работать до т.5'.

Потенциал $u_k = u_b$ | $u_k = u_b$
Мгновенное значение выпрямленного напряжения

$$u_{d\alpha} = u_b$$

$$u_{d\alpha} = u_b$$

При $X_d = 0$

При $X_d = \infty$

В т.5' $u_b < 0$, то V3 отключается

В т.5' $u_b < 0$, но за счет накопленной энергии в $X_d = \infty$ V3 будет продолжать работать.

Мгновенное значение выпрямленного напряжения

$$u_{d\alpha} = 0$$

$$u_{d\alpha} = u_b$$

В точке 5'' током $i_{y5} = I_{GT}$ включается V5

Следовательно мгновенное значение выпрямленного напряжения

$$u_{d\alpha} = u_c$$

$$u_{d\alpha} = u_c$$

Аналогичные процессы будут протекать в точках 1, 1', 1'' при переходе тока с V5 на V1.

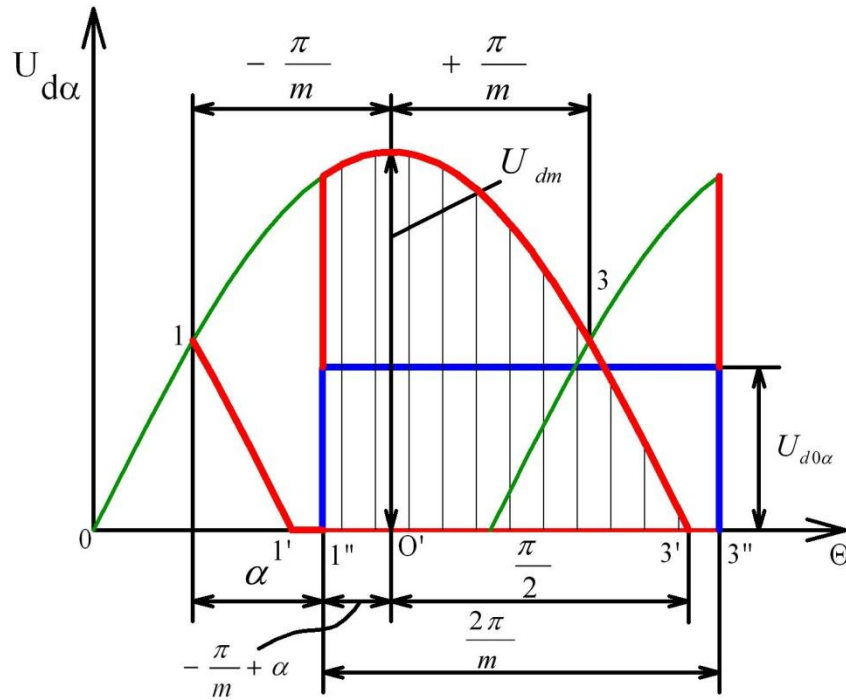
6.5.3 Выпрямленное напряжение управляемого выпрямителя

- Мгновенное значение выпрямленного напряжения относительно оси O' для любой « m » пульсовой схемы

$$u_{d\alpha} = U_{d\max} \cdot \cos \Theta \quad (6.5.2)$$

где $U_{d\max} = D_{CX} \cdot \sqrt{2}U_2 \quad (6.5.3)$

а)



б)

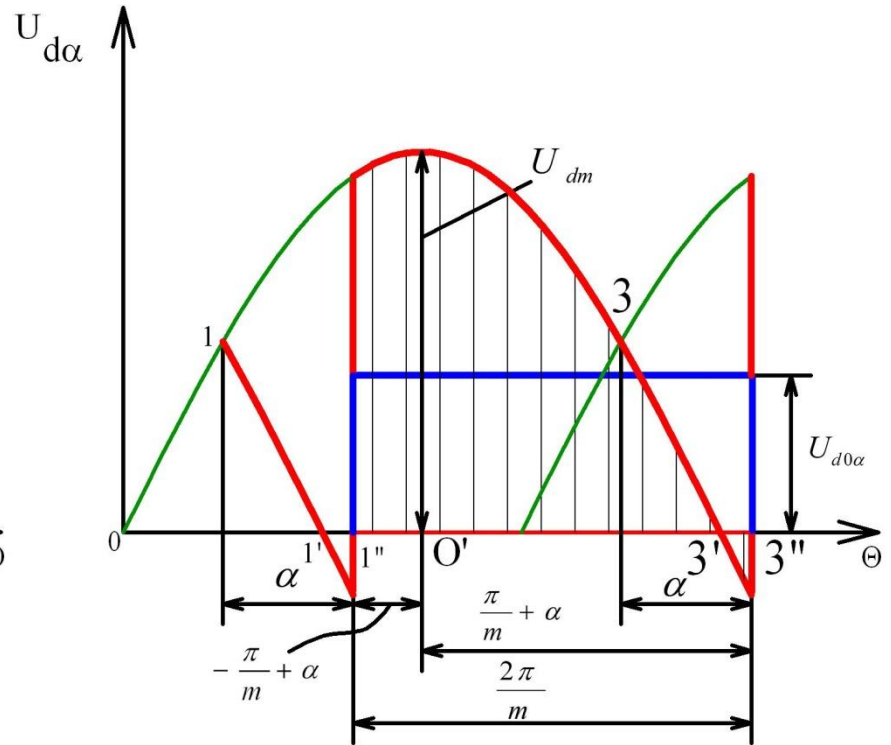


Рисунок 6.5.3 – Временная диаграмма $u_{d\alpha}$ при $\alpha > 30^\circ$ при работе управляемого выпрямителя с $x_d = 0$ (а) и $x_d = \infty$ (б)

Среднее значение выпрямленного напряжения

- Определим среднее значение выпрямленного напряжения из условия при $0 \leq \alpha \leq 30^\circ$ эл

$$U_{d0\alpha} \cdot \frac{2\pi}{m} = \int_{-\frac{\pi}{m} + \alpha}^{\frac{\pi}{m} + \alpha} U_{d\max} \cdot \cos \Theta d\Theta \quad (6.5.4)$$

откуда

$$U_{d0\alpha} = \frac{U_{d\max}}{\frac{2\pi}{m}} \cdot \sin \Theta \Big|_{-\frac{\pi}{m} + \alpha}^{\frac{\pi}{m} + \alpha} = \frac{U_{d\max}}{\frac{2\pi}{m}} \left[\sin \left(\frac{\pi}{m} + \alpha \right) - \sin \left(-\frac{\pi}{m} + \alpha \right) \right]$$

$\underbrace{\hspace{15em}}_{2 \sin \pi/m * \cos \alpha}$

(6.5.5)

с учетом (6.5.2) и (6.5.3) получим

при $\alpha=0$

$$U_{d0} = \frac{U_{d\max}}{\frac{\pi}{m}} \sin \frac{\pi}{m} = \frac{U_{d\max} \cdot \sin \frac{\pi}{m}}{\frac{\pi}{m}} \quad (6.5.6)$$

Для 6 п.м. $D_{CX} = \sqrt{3}$; $m = 6$; $U_{d0} = 2,34U_2$

при $0 < \alpha \leq 30^\circ$ эл.

$$U_{d0\alpha} = \frac{U_{d\max}}{\frac{2\pi}{m}} \left[\frac{\sin\left(\frac{\pi}{m} + \alpha\right) - \sin\left(-\frac{\pi}{m} + \alpha\right)}{2 \sin \frac{\pi}{m} \cdot \cos \alpha} \right] \quad (6.5.7)$$

с учетом (6.5.6)

$$U_{d0\alpha} = U_{d0} \cdot \cos \alpha \quad (6.5.8)$$

• Определим среднее значение выпрямленного напряжения при углах регулирования $\alpha > 30^\circ$

При работе с $x_d = 0$, когда $\alpha > 30^\circ$ эл

$$u_{d\alpha} = U_{d \max} \cos \Theta$$

$$-\frac{\pi}{m} + \alpha \leq \Theta \leq \frac{\pi}{2} \quad (6.5.9)$$

$$U_{d0\alpha} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{m} + \alpha}^{\frac{\pi}{2}} U_{d \max} \cos \Theta d\Theta =$$

$$= \frac{U_{d \max}}{2\pi} \left[\sin \frac{\pi}{2} - \sin \left(-\frac{\pi}{m} + \alpha \right) \right] \quad (6.5.10)$$

При работе с $x_d = \infty$, когда $\alpha > 30^\circ$ эл

$$u_{d\alpha} = U_{d \max} \cos \Theta$$

$$-\frac{\pi}{m} + \alpha \leq \Theta \leq \frac{\pi}{m} + \alpha \quad (6.5.9')$$

$$U_{d\alpha} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{m} + \alpha}^{\frac{\pi}{m} + \alpha} U_{d \max} \cos \Theta d\Theta =$$

$$= \frac{U_{d \max}}{2\pi} \left[\sin \left(\frac{\pi}{m} + \alpha \right) - \sin \left(-\frac{\pi}{m} + \alpha \right) \right]$$

$$= \frac{U_{d \max}}{2\pi} \left[2 \sin \frac{\pi}{m} \cdot \cos \alpha \right] \quad (6.5.10')$$

Умножим (6.5.10) на

$$\frac{2 \sin \frac{\pi}{m}}{2 \sin \frac{\pi}{m}}$$

Тогда с учетом (6.5.6) формулу (6.5.10) можно записать в виде

$$U_{d0\alpha} = U_{d0} \frac{1 - \sin\left(\alpha - \frac{\pi}{m}\right)}{2 \sin \frac{\pi}{m}} \quad (6.5.11)$$

Выводы

Выводы

С учетом (6.5.6) формула (6.5.10') запишется в виде

$$U_{d0\alpha} = U_{d0} \cos \alpha \quad (6.5.11')$$

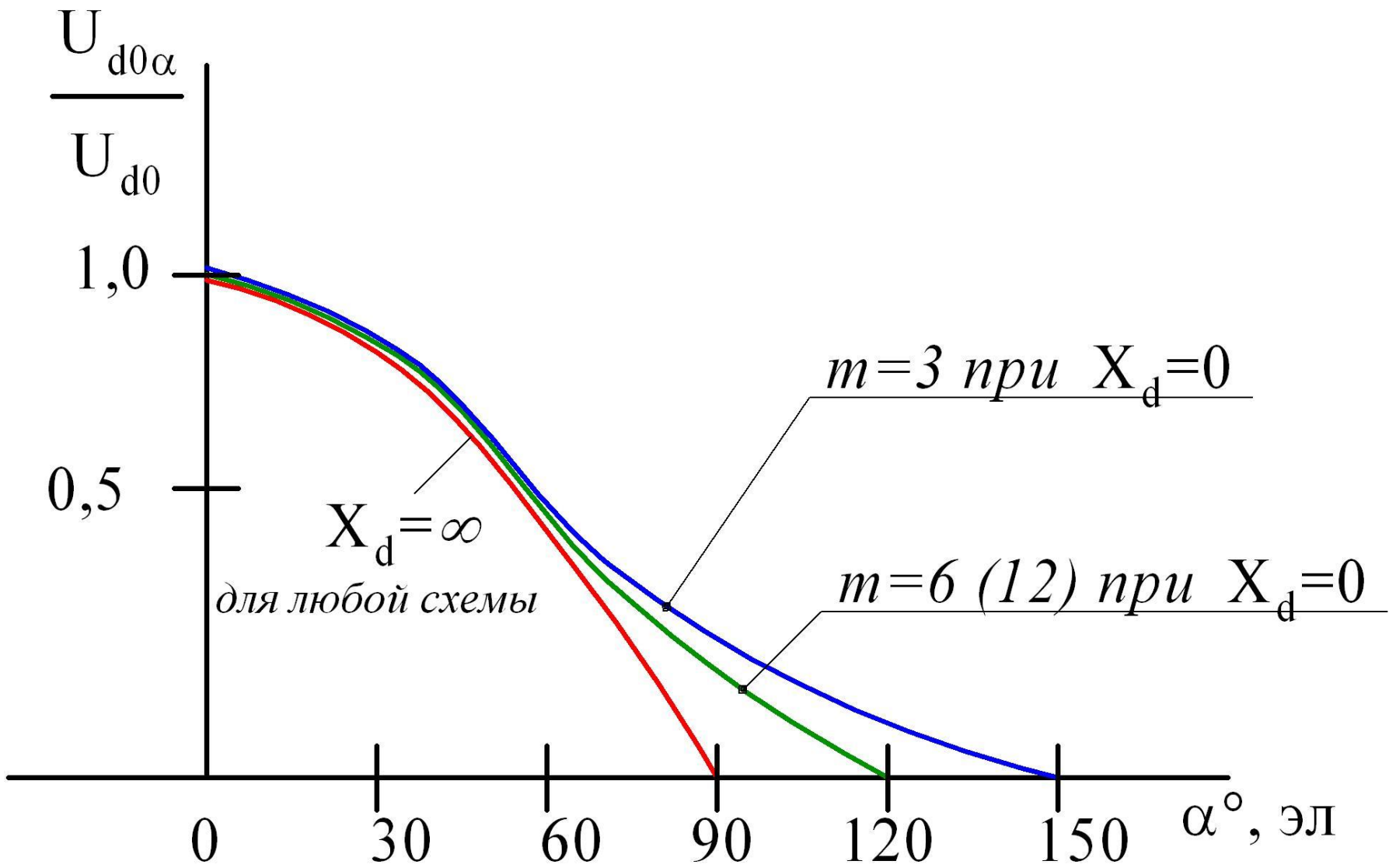


Рисунок 6.5.4 – Регулировочные характеристики управляемых выпрямителей