

6.6 Коммутация тока в многофазных «m» импульсных выпрямителях и инверторах

6.6.1 Схема и временные диаграммы управляемого выпрямителя

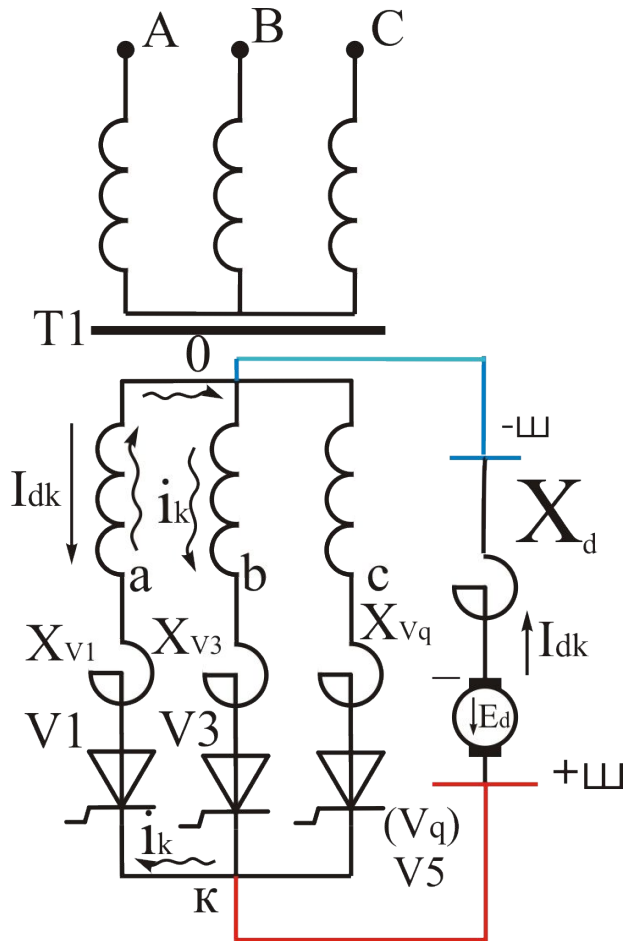


Рисунок 6.6.1 -
Принципиальная схема работы
коммутирующей группы

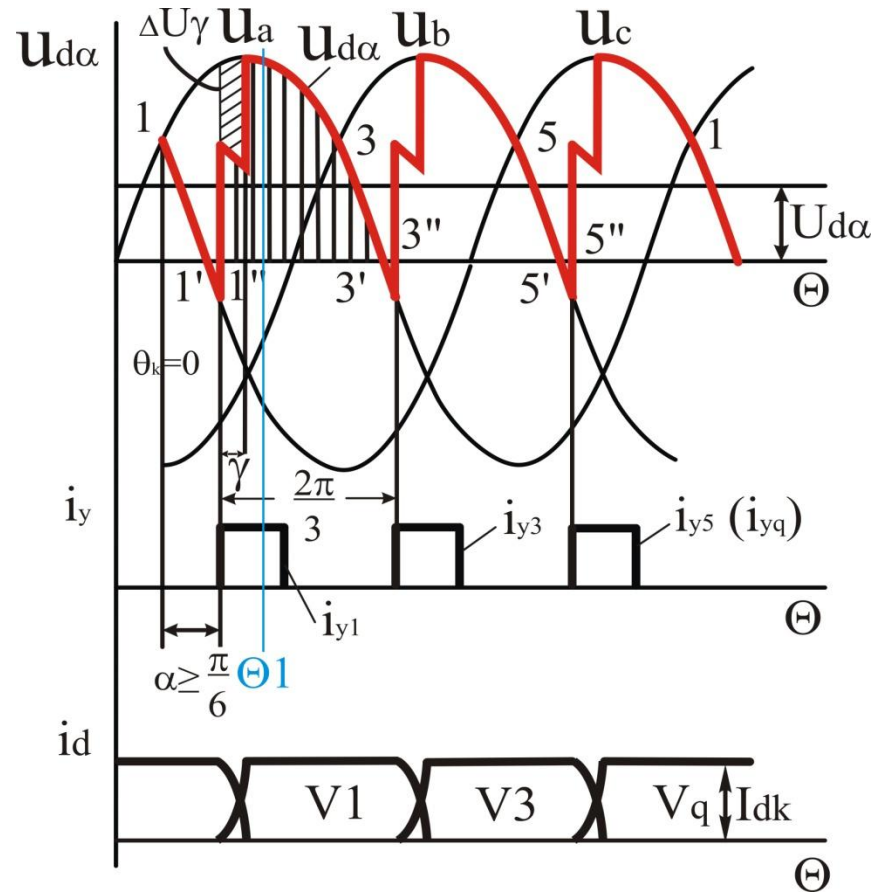


Рисунок 6.6.2 - Временные диаграммы
выпрямленного напряжения $u_{d\alpha}$, тока
управления i_y , тока нагрузки i_d , при работе
трехпульсового управляемого выпрямителя на
активно-индуктивную нагрузку с $X_d=0$ с
учетом угла коммутации

6.6.2 Теория работы выпрямителя с учетом коммутации тока

Принятые допущения:

1. Напряжение в питающей сети, а следовательно в вентильной обмотке синусоидальное

$$u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \Theta \quad (6.6.1)$$

2. Индуктивное сопротивление трансформатора и питающей сети больше 0

$$X_{V1} = \dots = X_{Vm} = X_V > 0,$$

Следовательно угол коммутации $\gamma > 0$

3. Индуктивное сопротивление сглаживающего реактора $X_d = \infty$, поэтому выпрямленный ток идеально сглажен и

$$i_d = I_d$$

Теория работы выпрямителя с учетом коммутации тока

В момент Θ_1 работает V_1 , т.к. $u_{a \max}$ и током $i_{y1} = I_{GT}$ он открыт

Мгновенное значение выпрямленного напряжения

$$u_d = u_a$$

В точке 3'' током i_{y3} открывается V_3 и начинается коммутация (плавный переход) тока с V_1 на V_3 .

Время их совместной работы называется углом коммутации γ .
Найдем напряжение u_k под действием которого возникает ток коммутации i_k .

Напряжение коммутации

Для схемы содержащей q фаз
в коммутирующей группе

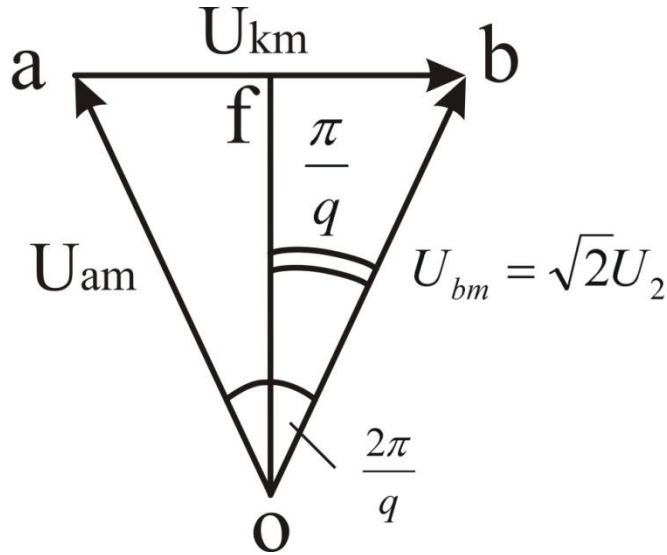


Рисунок 6.6.3 – Векторная диаграмма напряжений коммутирующей группы

Мгновенное значение
напряжения коммутации

$$u_k = u_b - u_a \quad (6.6.2)$$

Амплитуда напряжения коммутации

$$U_{km} = 2\sqrt{2}U_2 \sin \frac{\pi}{q}$$

при $q = 3$; $U_{km} = 2\sqrt{2}U_2 \sin \frac{\pi}{3} = \sqrt{6}U_2 \dots (6.6.3)$

Мгновенное значение u_k с учетом (6.6.3)

$$u_k = 2\sqrt{2}U_2 \sin \frac{\pi}{q} \cdot \sin \Theta \dots (6.6.4)$$

$$\text{или } u_k = U_{km} \sin \Theta \dots (6.6.4')$$

Ток коммутации

По 2 закону Кирхгофа между фазами b и a протекает ток коммутации и для цепи коммутации можно записать

$$u_k = \frac{di_k}{d\Theta} (x_{V1} + x_{V3}) \dots \quad (6.6.5)$$

Из (6.6.5)
$$i_k = \int \frac{u_k}{x_{V1} + x_{V3}} d\Theta = \int \frac{U_{km}}{x_{V1} + x_{V3}} \sin \Theta d\Theta \quad (6.6.6)$$

Решив (6.6.6) получим
$$i_k = \frac{U_{km}}{2x_V} (-\cos \Theta) + C \quad (6.6.7)$$

Начальные условия возникновения коммутации

В начале коммутации когда ток коммутации

$$\left. \begin{aligned} \Theta_k &= \alpha \\ i_k &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (6.6.8)$$

Подставив условия (6.6.8) в (6.6.7) получим

$$C = \frac{U_{km}}{\frac{X_{V1} + X_{V3}}{2X_V}} \cos \alpha \quad (6.6.9)$$

Подставим значение C из (6.6.9) в (6.6.7) получим

$$i_k = \frac{U_{km}}{\frac{X_{V1} + X_{V3}}{2X_V}} [\cos \alpha - \cos \Theta] \quad (6.6.10)$$

Формула действует пока прямой ток через тиристор больше встречного тока коммутации

$$I_{dk} \geq i_k$$

Условия окончания коммутации

В конце коммутации, когда ток коммутации

$$\left. \begin{aligned} \Theta &= \alpha + \gamma \\ i_k &= I_{dk} \end{aligned} \right\} \quad (6.6.11)$$

При $i_k = I_{dk}$ коммутация заканчивается. Подставив из (6.6.11) в (6.6.10)

$$I_{dk} = \frac{U_{km}}{\frac{x_{V1} + x_{V3}}{2x_V}} [\cos \alpha - \cos(\alpha + \gamma)] \quad (6.6.12)$$

откуда

$$\cos(\alpha + \gamma) = \cos \alpha - \frac{I_{dk}(2x_V)}{U_{km}} \quad (6.6.13)$$

Решив 6.6.13 относительно угла γ получим

$$\gamma = \arccos \left(\cos \alpha - \frac{2k_{cx} \cdot I_d \cdot x_V}{\sqrt{6}U_2} \right) \quad (6.6.13')$$

В формулы (6.6.13) и (6.6.13') надо подставлять

$\alpha=0$ для неуправляемых выпрямителей

$0<\alpha\leq 90$ для управляемых выпрямителей

$\alpha=180^\circ-\beta$ для инвертора

из (6.6.13) и (6.6.13') видно, что с изменением тока, протекающего через тиристоры

$$0 \leq I_{dk} \leq I_{dk \max}$$

угол коммутации изменяется в пределах

$$0 \leq \gamma \leq \gamma_{\max} \quad (6.6.14)$$

6.6.3 Влияние коммутации тока на форму и величину выпрямленного напряжения

При одновременной работе $V1$ и $V3$ в период коммутации

Мгновенное значение выпрямленного напряжения

$$u_d = \frac{u_a + u_b}{2} \quad (6.6.15)$$

Мгновенное значение коммутационного падения напряжения

$$\Delta u_\gamma = u_b - u_d = u_b - \frac{u_a + u_b}{2} = \frac{u_b - u_a}{2} \quad (6.6.16)$$

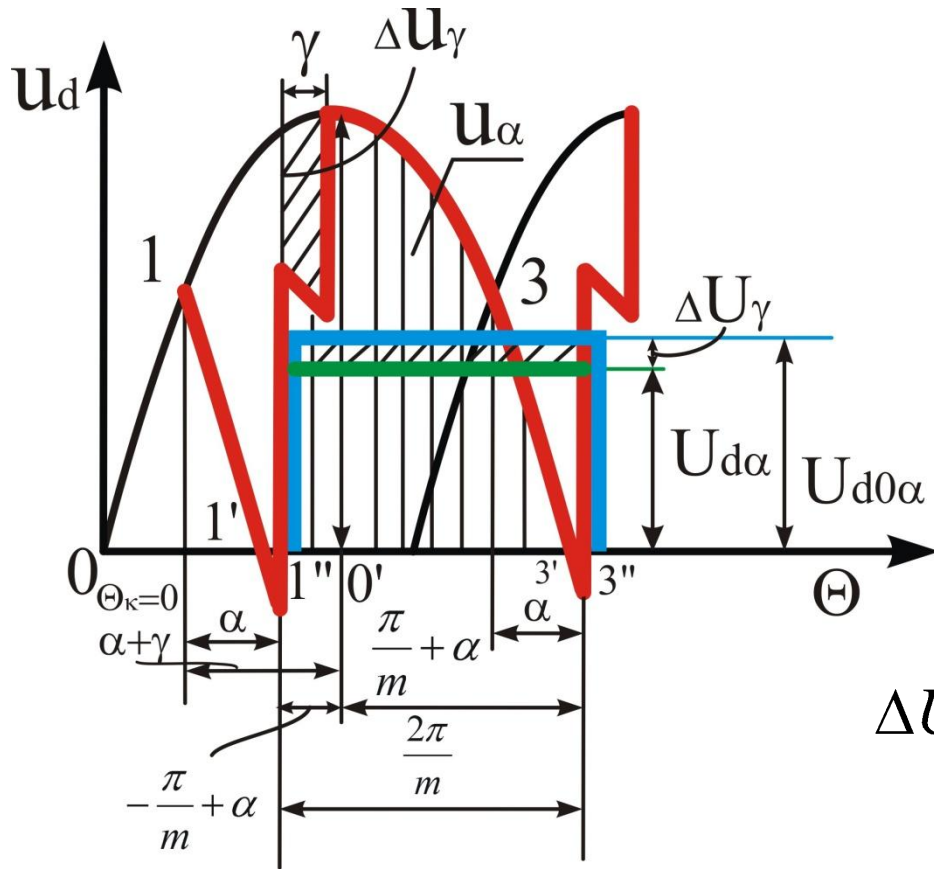
Из (6.6.4) видно, что

$$u_b - u_a = u_k$$

С учетом (6.6.4') мгновенное значение коммутационного падения напряжения будет равно

$$\Delta u_\gamma = \frac{U_{km}}{2} \sin \Theta \quad (6.6.17)$$

Среднее значение коммутационного падения напряжения



Среднее значение коммутационного падения напряжения ΔU_γ из рис.6.6.5

$$\Delta U_\gamma = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\gamma} \frac{U_{km}}{2} \sin \Theta d\Theta \quad (6.6.18)$$

Рисунок 6.6.5 – Временная диаграмма выпрямленного напряжения с учетом коммутации

После решения (6.6.18) и подстановки пределов получим

$$\Delta U_\gamma = \frac{U_{km}}{2 \cdot \frac{2\pi}{q}} [\cos \alpha - \cos(\alpha + \gamma)] \quad (6.6.19)$$

Для удобства расчета и анализа подставим значение $[\cos\alpha - \cos(\alpha + \gamma)]$ из (6.6.12) в (6.6.19)

Тогда среднее значение коммутационного падения напряжения в одной коммутирующей группе будет равно

$$\Delta U_{\gamma} = \frac{I_{dk}(x_V)}{2 \frac{\pi}{q}}$$
$$0 \leq I_{dk} \leq I_{dk \max} \quad (6.6.20)$$

Из 6.6.20 видно, что с изменением тока, протекающего через тиристоры

Коммутационное падение напряжения изменяется в пределах

$$0 \leq \Delta U_{\gamma} \leq \Delta U_{\gamma \max} \quad (6.6.20')$$

Для обобщения (6.6.20) к любой схеме обозначим

$$I_{dk} = k_{cx} \cdot I_d , \quad (6.6.21)$$

Формула для расчета коммутационного падения напряжения примет вид

$$\Delta U_{\gamma} = \frac{k_{cx} I_d x_v}{\frac{2\pi}{q}} \cdot n_k , \quad (6.6.22)$$

где n_k - число последовательно работающих коммутирующих групп;

q – число фаз коммутирующей группы (для шести и двенадцатипульсовых схем $q=3$);

I_d – ток нагрузки выпрямителя

Таблица 6.1 - Коэффициенты схемы

	$k_{сх}$	n_k
12 п. посл.	1	4
12 п. парал.	0,5	2
6 п. м.	1	2
6 п. н.	0,5	1

6.6.4 Внешняя характеристика преобразователей

Выпрямителя

Внешняя характеристика выпрямителя называется зависимостью

$$U_d = f(I_d)$$

С учетом коммутационного и падения напряжения в диодах

$$U_d = U_{d0} - \Delta U_\gamma - \Delta U_\Pi, \quad (6.6.23)$$

где U_{d0} - выпрямленное напряжение Х.Х. выпрямителя;

ΔU_γ - коммутационное падение напряжения

ΔU_Π - падение напряжения в диодах

Инвертора

Входной (внешней) характеристикой инвертора называется

$$U_{и} = f(I_{и})$$

С учетом коммутационного и падения напряжения в тиристорах

$$U_{и} = U_{и0} + \Delta U_\gamma + \Delta U_\Pi \quad (6.6.23')$$

где $U_{и0}$ - входное напряжение Х.Х. инвертора;

ΔU_γ - коммутационное падение напряжения

ΔU_Π - падение напряжения в тиристорах

Через известные параметры схемы и трансформатора можно
записать

внешняя характеристика
выпрямителя

$$U_d = U_{d0} \left[\cos \alpha - A \frac{u_{кз}}{100 I_{дН}} \frac{I_d}{I_{дН}} \right] - \Delta U_{\Pi}$$

(6.6.24)

потеря напряжения в диодах

$$\Delta U_{\Pi} = p \cdot s \cdot \left[U_{ТО} + \frac{k_{сх} \cdot I_d}{3 \cdot a} \cdot r_T \right],$$

(6.6.25)

входная характеристика
инвертора

$$U_{и} = U_{и0(\beta=0)} \left[\cos \beta + A \frac{u_{кз}}{100 I_{иН}} \frac{I_{и}}{I_{иН}} \right] + \Delta U_{\Pi}$$

(6.6.25)

потеря напряжения в тиристорах

$$\Delta U_{\Pi} = p \cdot s \cdot \left[U_{ТО} + \frac{k_{сх} \cdot I_{и}}{3 \cdot a} \cdot r_T \right],$$

(6.6.25')

где p – число последовательно работающих плеч выпрямителя; ($p=n_k$)

α - угол регулирования;

$u_{кз}$ – напряжение короткого замыкания цепи коммутации выпрямителя;

A – коэффициент наклона схемы внешней характеристики выпрямителя;

где p – число последовательно работающих плеч инвертора; ($p=n_k$)

β - угол опережения;

$u_{кз}$ – напряжение короткого замыкания цепи коммутации инвертора;

A – коэффициент наклона схемы внешней характеристики инвертора;

для $m=6$ $A=0,5$;

для $m=12$ $A=0,26$.

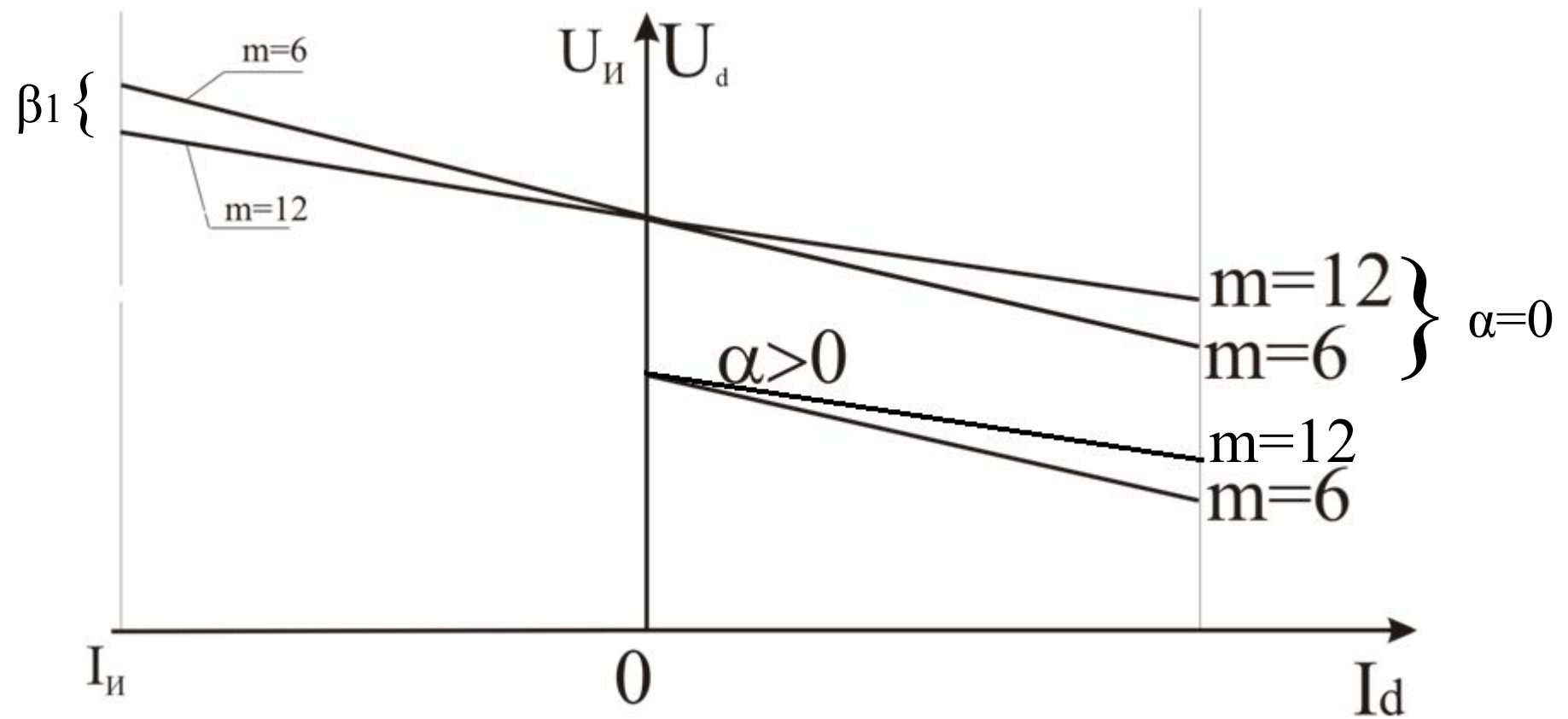


Рисунок 6.6.6 – Внешние характеристики 6 и 12
 пульсовых управляемых выпрямителей и инверторов при

$$U_{2и} = K_{и} \cdot U_{2в}$$