

**ВНЕШНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПЕНСАЦИОННОГО  
 ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ИСКУССТВЕННОЙ  
 КОММУТАЦИЕЙ**

А. А. КУВШИНОВ

(Представлена научно-техническим семинаром НИИ АЭМ)

Для повышения коэффициента мощности вентиляных преобразователей в последнее время все более широко применяется искусственная коммутация. Наиболее простым узлом двухступенчатой искусственной коммутации для шестифазного преобразователя с уравнивающим реактором является узел, изображенный на рис. 1. В настоящей статье рассматриваются внешние характеристики такого преобразователя.

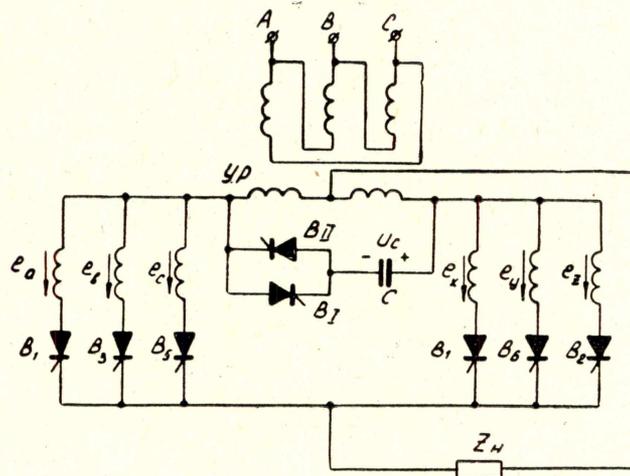


Рис. 1

Принимая за начало отсчета углов момент окончания первой коммутации (выключение очередного вентиля), разобьем один период выпрямленного напряжения на два участка.

1. Участок длительностью  $\vartheta_{\text{п}}$ , когда включен один силовой вентиль. Выпрямленное напряжение в это время равно сумме напряжения работающей фазы анодного трансформатора и напряжения на соответствующей половине уравнивающего реактора.

$$U_{a1} = U_m \cos(\vartheta_r - \gamma_1 - \vartheta) + \frac{1}{2} \left( U_{\text{ск1}} - \frac{U_{\text{ск1}} + U_{\text{ск2}}}{\vartheta_{\text{п}}} \vartheta \right), \quad (1)$$

где  $0 < \vartheta < \vartheta_n$ ,

$U_{ск1}$  — напряжение на коммутирующем конденсаторе в конце первой коммутации [1],

$U_{ск2}$  — напряжение на коммутирующем конденсаторе в начале второй коммутации [1],

$U_m$  — амплитуда вторичного напряжения силового трансформатора,

$\vartheta_r$  — угол гашения, отсчитываемый влево от точки естественного зажигания вентилей,

$\gamma_1$  — длительность первой коммутации.

2. Участок длительностью  $\frac{\pi}{3} - \vartheta_n$ , когда включены два силовых вентиля. Выпрямленное напряжение в это время, как и в обычном преобразователе, равно полусумме выпрямленных напряжений трехфазных групп

$$U_{d2} = \frac{\sqrt{3}}{2} U_m \sin\left(\frac{\pi}{3} - \vartheta_r + \gamma_1 + \vartheta\right), \quad (2)$$

где  $\vartheta_n < \vartheta < \frac{\pi}{3}$ .

Проинтегрировав в соответствующих пределах выражения (1) и (2) и добавив уравнения (15) и (16) из [1] для определения длительностей первой коммутации и включенного состояния одного силового вентиля  $\vartheta_n$ , получим систему уравнений, описывающих внешнюю характеристику компенсационного преобразователя:

$$\begin{aligned} I_d \frac{1 - \sin \varepsilon \gamma_1}{\sin \varepsilon \gamma_1} &= 4 \varepsilon \omega C U_m \cos\left(\vartheta_r - \frac{\gamma_1 + \vartheta_n}{2}\right) \sin\left(\frac{\pi}{6} - \frac{\gamma_1 + \vartheta_n}{2}\right), \\ I_d \frac{\varepsilon \vartheta_n \operatorname{tg} \varepsilon \gamma_1 - 1}{\operatorname{tg} \varepsilon \gamma_1} &= 4 \varepsilon \omega C U_m \sin\left(\vartheta_r - \frac{\gamma_1 + \vartheta_n}{2}\right) \cos\left(\frac{\pi}{6} - \frac{\gamma_1 + \vartheta_n}{2}\right), \\ U_d &= \frac{3}{\pi} U_m \left[ \frac{\vartheta_n}{2} \frac{\sqrt{2} \cos\left(\frac{\pi}{4} - \varepsilon \gamma_1\right) - 1}{1 - \sin \varepsilon \gamma_1} \cos\left(\vartheta_r - \frac{\gamma_1 + \vartheta_n}{2}\right) \sin\left(\frac{\pi}{6} - \frac{\gamma_1 + \vartheta_n}{2}\right) + \right. \\ &\quad \left. \cos\left(\vartheta_r - \gamma_1 - \frac{\vartheta_n}{2}\right) \sin\left(\frac{\pi}{3} + \frac{\vartheta_n}{2}\right) \right] - \Delta U_R - \Delta U_B, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{где } \varepsilon = \frac{1}{\omega \sqrt{2LC}},$$

$I_d$  — ток нагрузки преобразователя,

$C$  — емкость коммутирующего конденсатора,

$\Delta U_R$  — падение напряжения на активных сопротивлениях схемы,

$\Delta U_B$  — падение напряжения в вентилях,

$L$  — индуктивность одной фазы трансформатора, приведенная ко вторичной цепи.

Чтобы ориентировочно оценить крутизну внешних характеристик компенсационного преобразователя, определим значения выпрямленного напряжения на границах внешней характеристики, пренебрегая величинами  $\Delta U_R$  и  $\Delta U_B$ .

1. Режим работы с минимально возможным током нагрузки.

При уменьшении тока нагрузки преобразователя длительность первой коммутации сокращается, а длительность включенного состояния силового вентиля увеличивается и при достаточно малом значении емкости коммутирующего конденсатора будет приближаться к  $\frac{\pi}{3}$ .

Следовательно, выпрямленное напряжение в этом режиме равно

$$U_{d\max} = \frac{3}{\pi} U_m \cos \left( \vartheta_r - \frac{\pi}{6} \right). \quad (4)$$

Формула (4) представляет собой известное выражение напряжения холостого хода шестифазного преобразователя с нулевым выводом, работающего при угле управления  $\alpha = \vartheta_r - \gamma_1$ .

2. Режим работы с максимальным током нагрузки, на который рассчитан компенсационный преобразователь.

В этом режиме временем включенного состояния одного силового вентиля можно пренебречь, и тогда

$$U_{d\min} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} U_m \cos(\vartheta_r - \gamma_1), \quad (5)$$

то есть выпрямленное напряжение в этом режиме равно напряжению холостого хода обычно шестифазного преобразователя с уравнивающим реактором с углом управления  $\alpha = \vartheta - \gamma_1$ .

Из сопоставления выражений (4) и (5) для значений выпрямленного напряжения на границах внешней характеристики видно, что с увеличением угла гашения крутизна внешней характеристики увеличивается.

При небольших углах гашения ( $\vartheta_r < 30^\circ$ ) внешняя характеристика компенсационного преобразователя может быть более жесткой по сравнению с внешней характеристикой преобразователя с естественной коммутацией за счет того, что длительность первой коммутации при соответствующем выборе коммутирующей емкости может быть гораздо меньше длительности коммутации в обычном преобразователе.

Приближенное значение выпрямленного напряжения компенсационного преобразователя можно получить из выражения (26) [1], если допустить, что потери в преобразователе отсутствуют, и активная мощность на стороне переменного тока равна мощности нагрузки

$$U_d \approx \frac{3}{\pi} U_m \cos \left( \vartheta_r - \frac{\vartheta_n}{2} - \frac{3\gamma_1 + \gamma_2}{4} \right) \sin \left( \frac{\pi}{3} + \frac{\vartheta_n}{2} + \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{2} \right). \quad (6)$$

Из выражений (4)–(6) видно, что выпрямленное напряжение компенсационного преобразователя с двухступенчатой искусственной коммутацией всегда выше напряжения преобразователя с естественной коммутацией, работающего с углом управления  $\alpha$ , равным углу гашения  $\vartheta_r$ , за счет того, что часть периода преобразователь работает по схеме «треугольник — шестифазная звезда».

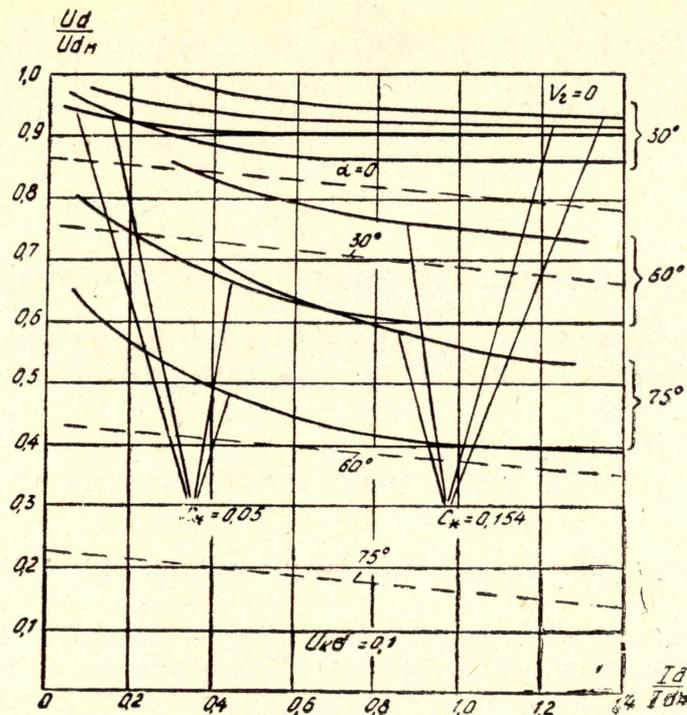


Рис. 2

На рис. 2 построены внешние характеристики компенсационного преобразователя для различных углов гашения и двух значений емкостей коммутирующего конденсатора. Здесь же построены внешние характеристики преобразователя с естественной коммутацией (пунктиром) для углов зажигания  $\alpha$ , равных углам гашения.

Из сопоставления этих характеристик видно, что как по величине диапазона изменения тока нагрузки, так и по жесткости внешних характеристик предпочтение следует отдать тиристорным преобразователям.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Зайцев, А. А. Кувшинов. К расчету шестифазного преобразователя с уравнительным реактором с узлом искусственной коммутации. Доклады к VI научно-технической конференции по вопросам автоматизации производства, т. 1, Томск, 1969.