

УДК 62-83: 621.314

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УЗЛА КОММУТАЦИИ  
ТРЕХФАЗНОГО АВТОНОМНОГО ИНВЕРТОРА**

Маренич К.Н. к. т. н., доцент, Ставицкий В.Н. аспирант,  
Донецкий государственный технический университет

*Исследованы коммутационные процессы в оригинальной схеме автономного инвертора. Обоснованы корректные параметры коммутирующего контура.*

*Explored switching processes in original scheme of autonomous inverter. Motivated correct parameters of switching elements.*

Существующие в настоящее время системы привода шахтных электровозов характеризуются недостаточно высокими эксплуатационными показателями. Этим обусловлена актуальность замены применяемых двигателей постоянного тока более надежными и дешевыми асинхронными. При этом возникает необходимость создания преобразователя, согласующего параметры напряжений аккумуляторной батареи и двигателя, и позволяющего осуществлять регулирование скорости привода.

В качестве такого устройства предлагается вентильно-трансформаторная схема трехфазного автономного инвертора (рис.1). Последний состоит из трех идентичных однофазных инверторов работающих со сдвигом по фазе 120 эл. град. друг относительно друга и объединенных общей трансформаторной связью. Использование для формирования трехфазной системы напряжений трехфазного трансформатора вместо трех однофазных [4] позволяет уменьшить габариты инвертора, что является весьма актуальным для привода шахтного электровоза. С целью получения необходимого действующего значения выходного напряжения в данной схеме применено регулирование скважности его импульсов посредством принудительного запираания тиристоров. Источником энергии для этого является предварительно заряженный конденсатор  $C_K$ . Дроссель  $L_K$ , включенный последовательно с ним, обеспечивает необходимые параметры процесса коммутации. Надежное запираание работающих тиристоров, а следовательно и работоспособность схемы в целом непосредственно определяются корректностью величин и соотношений LC-параметров узла коммутации. Этим обусловлена важность обоснования параметров

узла коммутации при проектировании схемы инвертора. При этом необходимо руководствоваться требованиями надежного запираания тиристоров, минимально возможной продолжительности процесса коммутации с целью снижения его влияния на форму выходного напряжения, а также минимизации емкости конденсатора для уменьшения его габаритов и потерь энергии в коммутирующем контуре /1/.

Анализ коммутационных процессов в известных схемах автономных инверторов широко представлен в работах А.С. Сандлера, Ю.М. Гусяцкого, Н.Х. Ситника, А.Я. Бернштейна, Р.С. Сарбатова /1,2,3/. Однако отличия предложенной схемы от известных требуют дополнительного изучения происходящих в ней процессов.

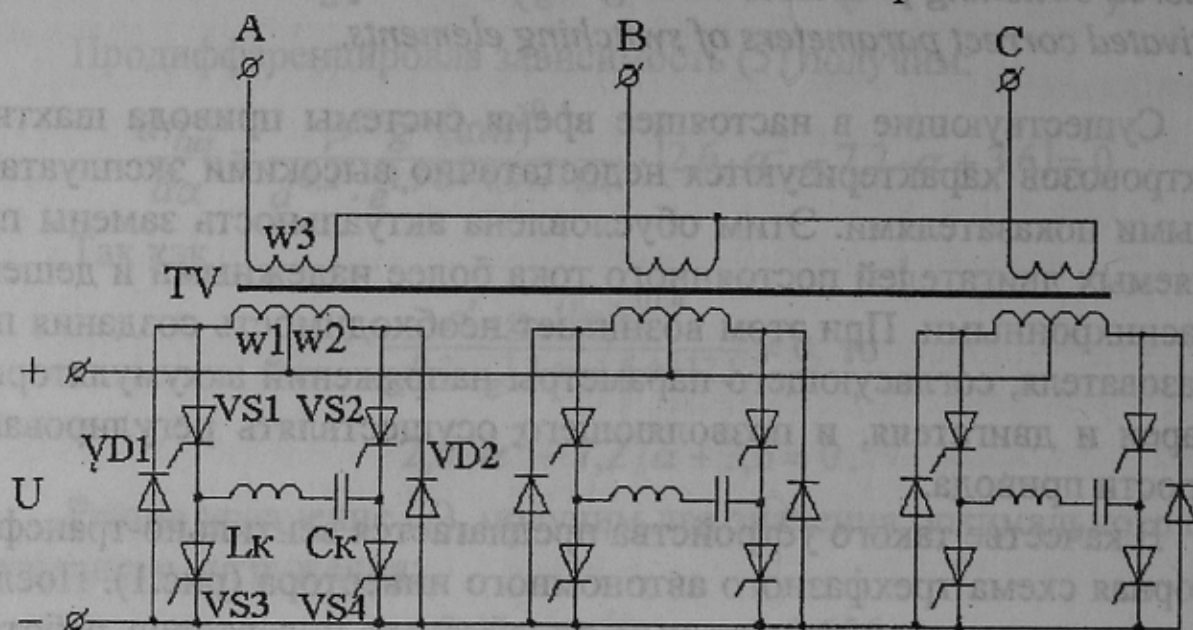


Рисунок 1 - Силовая схема инвертора

В предложенной схеме процесс выключения тиристора состоит из трех этапов (рис.2), соответствующих различному состоянию ветвей. Непосредственно перед началом коммутации в проводящем состоянии находится пара тиристоров  $VS1, VS3$  ( $VS2, VS4$  - для противоположной полуволны). В обмотке  $w1$  ( $w2$ ) трансформатора TV протекает ток  $i=I$ . Конденсатор  $C_K$  заряжен до напряжения  $u_c=U_0$ .

Первый этап коммутации начинается в момент подачи отпирающего импульса на тиристор  $VS4$  ( $VS3$ ), в результате чего в контуре  $L_K-C_K-VS3-VS4$  возникает коммутирующий ток  $i_k$ . В вентиле  $VS3$  ( $VS4$ ) токи  $i$  и  $i_k$  компенсируются, и результирующий ток постепенно снижается до нулевого значения, в связи с чем тиристор переходит в непроводящее состояние. Равенство  $i_k=I$  является условием завершения данного этапа.

После запираания тиристора VS3 (VS4) открывается диод VD1 (VD2). Коммутирующий ток  $i_k$  продолжает нарастать до максимального значения, а затем вследствие колебательного характера процесса начинает снижаться. К тиристорам VS3 (VS4) на данном интервале прикладывается обратное напряжение, достаточное по величине и продолжительности для восстановления запирающих свойств тиристора. Второй этап коммутации заканчивается в момент равенства коммутирующего и рабочего токов, в результате чего запирается диод VS1 (VS2). При этом ток  $i$  на протяжении всего процесса коммутации практически не изменяется вследствие малой продолжительности, а также индуктивного характера нагрузки. Поэтому условием завершения данного этапа является равенство  $i_k = I$ .

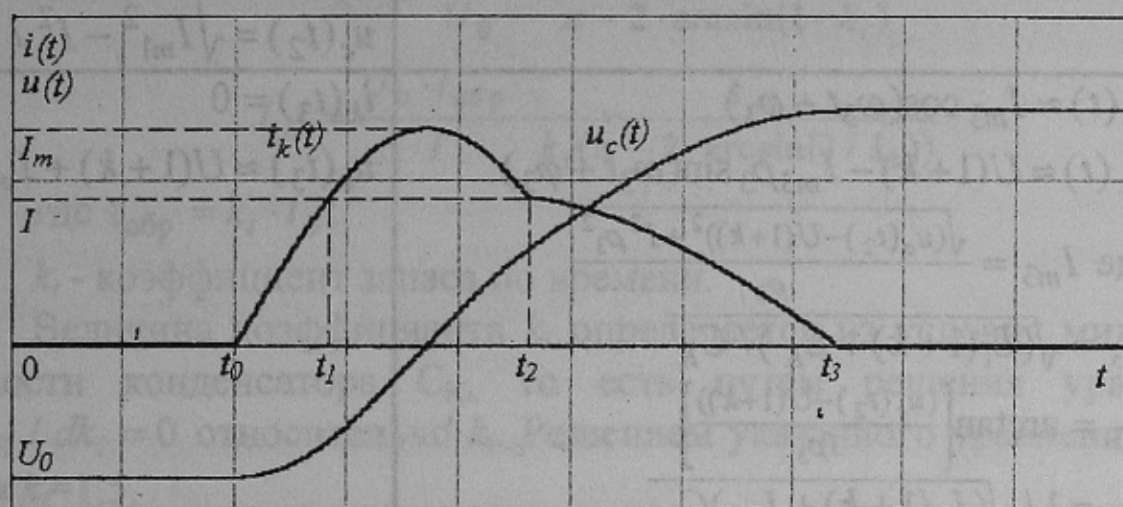


Рисунок 2 - Процесс коммутации

Во время третьего этапа в проводящем состоянии находятся тиристоры VS1, VS4 (VS2, VS3). Ток  $i_k$ , равный на данном этапе рабочему току, снижается вследствие продолжения заряда конденсатора. Поэтому в обмотках  $w_1, w_2$  наводится ЭДС, стремящаяся его поддержать. При этом ее величина превышает напряжения питания  $U$ , имея противоположную полярность. Вследствие этого открывается диод VD2 (VD1), переводя рабочий ток  $i$  из обмотки  $w_1$  ( $w_2$ ) в обмотку  $w_2$  ( $w_1$ ). Заключительный, третий, этап продолжается до тех пор, пока ток  $i_k$ , вследствие завершения заряда конденсатора  $C_K$ , не станет равным нулю. Протекание его в обратном направлении блокируется вентилями VS1, VS4 (VS2, VS3).

На основании изложенного для каждого из трех состояний получены аналитические зависимости, описывающие электромагнитные процессы в схеме вентильно-трансформаторного инвертора (табл.1).

Таблица 1-Аналитическое описание процесса коммутации

№	Зависимости для тока и напряжения на данном этапе коммутации	Конечные значения
1	$i_k(t) \approx I_{m1} \sin(\omega_1 t)$ $u_c(t) \approx -U_0 \cos(\omega_1 t)$ где $I_{m1} = U_0 / \rho_1$ $\rho_1 = \sqrt{L_K / C_K}$ $\omega_1 = 1 / \sqrt{L_K C_K}$	$i_k(t_1) = I$ $u_c(t_1) = -\sqrt{I_{m1}^2 - I^2} / \rho_1$
2	те же	$i_k(t_2) = I$ $u_c(t_2) = \sqrt{I_{m1}^2 - I^2} / \rho_1$
3	$i_k(t) \approx I_{m3} \cos(\omega_3 t + \varphi_3)$ $u_c(t) \approx U(1+k) - I_{m3} \rho_3 \sin(\omega_3 t + \varphi_3)$ где $I_{m3} = \frac{\sqrt{(u_c(t_2) - U(1+k))^2 + I^2 \rho_3^2}}{\rho_3}$ $\rho_3 = \sqrt{(L_1(1+k) + L_K) / C_K}$ $\varphi_3 = \arctan \left[ \frac{(u_c(t_2) - U(1+k))}{I \rho_3} \right]$ $\omega_3 = 1 / \sqrt{(L_1(1+k) + L_K) C_K}$	$i_k(t_3) = 0$ $u_c(t_3) \approx U(1+k) + I_{m3} \rho_3$

При получении этих выражений активное сопротивление цепи коммутации принималось равным нулю, а рабочий ток считался неизменным в течение всех четырех этапов. Такие допущения являются в данном случае оправданными, поскольку длительность процесса коммутации на два порядка меньше продолжительности рабочего интервала. В течение такого времени демпфирующим действием активного сопротивления можно пренебречь.

Полученные зависимости по своему характеру и внешнему виду близки к соотношениям, описывающим процессы запираания тиристоров в известной схеме трехфазного инвертора с индуктивно-емкостным узлом междуфазовой коммутации [2]. Имеющиеся отличия обусловлены наличием в предложенной схеме индуктивно связанных обмоток  $w_1$  и  $w_2$  трансформатора ТВ. Их влияние на процесс коммутации учтено при получении зависимостей, соответствующих третьему этапу.

Из анализа процессов следует, что надежное запираание тиристора определяется, главным образом, продолжительностью второго этапа. Она не должна быть меньше времени  $t_B$ , характеризующего продолжительность восстановления тиристором данного типа своих запирающих свойств /4/:

$$\tau_2 \geq t_B \quad (1)$$

Из этого соотношения могут быть получены зависимости, определяющие взаимосвязь LC-параметров со временем  $t_{обр}$ , в течение которого к тиристорам приложено обратное напряжение, и коэффициентом превышения рабочего тока  $k_i$  /1/:

$$C_K = \frac{I \cdot t_{обр}}{U_0} \cdot \frac{k_i}{\pi - 2 \cdot \arcsin(1/k_i)} \quad (2)$$

$$L_K = \frac{U_0 \cdot t_{обр}}{I} \cdot \frac{1}{k_i(\pi - 2 \cdot \arcsin(1/k_i))} \quad (3)$$

где  $t_{обр} = k_t \cdot t_B$ ;

$k_t$  - коэффициент запаса по времени.

Величина коэффициента  $k_i$  определяется из условия минимума емкости конденсатора  $C_K$ , то есть путем решения уравнения  $dC_K / dk_i = 0$  относительно  $k_i$ . Решением указанного уравнения является  $k_i = 1,5$ .

Таким образом, возвращаясь к соотношениям (2),(3), параметры узла коммутации подчиняются следующим соотношениям:

$$C_K = 0,89 \cdot \frac{I \cdot t_{обр}}{U_0} \quad (4)$$

$$L_K = 0,38 \cdot \frac{U_0 \cdot t_{обр}}{I} \quad (5)$$

Таким образом, в ходе исследования процессов в узле коммутации инвертора, схема которого отличается от известных наличием междофазной трансформаторной связи и дополнительных тиристорных регуляторов скважности импульсов в полуволнах выходного напряжения, учтены основные процессы и характерные состояния элементов схемы. В результате получена аналитическая интерпретация процесса коммутации тиристорных инверторов, отличающаяся от известной учетом влияния трансформатора и позволяющая корректно обосновать требуемые параметры коммутационных элементов, исходя из критерия надежной коммутации.

## Список источников:

1. Сандлер А.С., Гусяцкий Ю.М. Тиристорные инверторы с широтно-импульсной модуляцией для управления асинхронными двигателями. М.: Энергия, 1968. - 96 с.
2. Ситник Н.Х., Некрасов Л.Т., Беркович Е.И., Ягупов С.М. Автономные инверторы на тиристорах с отделенными от нагрузки конденсаторами. М.: Энергия, 1968. - 96 с.
3. Тиристорные преобразователи частоты в электроприводе.// А.Я.Бернштейн, Ю.М.Гусяцкий, А.В.Кудрявцев, Р.С.Сарбатов; Под ред. Р.С.Сарбатова. - М.: Энергия, 1980. - 328 с.
4. Справочник по преобразовательной технике.// И.М.Чиженко и др. Под ред И.М.Чиженко. К.: Техніка, 1978. -447 с.

УДК 622.232.72

## ФОРМИРОВАНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА УГЛЯ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ПЛАСТА ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ ОРГАНОМ КОМБАЙНА

Марков Н.А., канд. техн. наук, МУП Украины

*Рассмотрены вопросы формирования гранулометрического состава угля, добываемого современными очистными комбайнами исходя из режима их работы, параметров схемы набора режущего инструмента и строения пласта.*

*A forming of granulometrie coal's composition that is mined by modern mining combines depends on: combine's working, parameters of a scheme cutting instruments set, stratum's structure.*

При разрушении пласта рабочим (исполнительным) органом очистного комбайна в процессе его разрушения одновременно участвует несколько резцов (как правило, до 25 для одного рабочего органа). Каждый из участвующих в процессе разрушения пласта резцов, занимая «свое» место на органе по его длине, разрушает и «свой» участок по ширине захвата. При этом толщина среза каждым резцом, изменяясь по близкому к синусоидальному закону, принимает значения от 0 при входе (выходе) резца в контакт (из контакта) с пластом, т.е. при угле его поворота 0 и  $\pi$  и  $h_{max} = V_k / (n_{op} n_{pl})$  в так называемой диаметральной плоскости, т.е. при угле поворота  $\pi/2$ . Здесь  $n_{op}$  и  $n_{pl}$  — соответственно частота вращения органа и число резцов в линии резания схемы набора режущего инструмента.

При последовательном резе резцы идут «след в след». Поэтому разрушение пласта производится с параметрами

$$h(\varphi) = h_{max} \sin \varphi, \quad t = t_y,$$