

11. Oleschuk V., Blaabjerg F. and Bose B.K. Triphase cascaded converters with direct synchronous pulsewidth modulation // *Automatika*. — 2003. — 44, 1-2. — P. 27 — 33.
12. Oleschuk V., Bose B.K. and Zhe Chen. Synchronized overmodulation techniques for the neutral-clamped inverters // *Proc. of the IEEE Power Electr. Specialists Conf.* — 2003. — P. 41 — 46.
13. Ratnayake K.R.M.N. and Murai Y. A novel PWM scheme to eliminate common-mode voltage in three-level voltage source inverter // *Proc. of the IEEE Power Electr. Specialists Conf.* — 1998. — P. 269 — 274.
14. Stemmler H. and Guggenbach P. Configurations of high power

voltage source inverter drives // *Proc. of European Power Electron. Conf.* — 1993. — P. 7 — 12.

15. Stefanovic V.R. and Vukosavic S.N. Space-vector PWM voltage control with optimized switching strategy // *Proc. of the IEEE Ind. Appl. Soc. Conf.* — 1992. — P. 1025 — 1033.

16. Trzynadlowski A. Introduction to Modern Power Electronics. — John Wiley & Sons, 1998. — 386 p.

17. Zhang H., A. von Jouanne, Dai S., Wallace A.K. and Wang F. Multilevel inverter modulation schemes to eliminate common-mode voltage // *IEEE Trans. on Ind. Appl.* — 36, 6. — P. 1645 — 1653.

Надійшла 20.12.06

УДК 612.314

К.А.Липковскій, докт.техн.наук, А.Г.Можаровскій (Ин-т электродинамики НАН Украины, Киев)

## Обобщенные зависимости токов в обмотках секционированного автотрансформатора дискретного стабилизатора напряжения от параметров поля стабилизации

*Получены обобщенные выражения для токов в обмотках секционированного автотрансформатора одной из возможных конфигураций ТКИС дискретного стабилизатора переменного напряжения и показано, что токовая нагрузка секций обмоток существенно неодинакова в различных режимах работы.*

*Отримано узагальнюючі вирази для струмів в обмотках секціонованого автотрансформатора однієї з можливих конфігурацій ТКВС дискретного стабілізатора змінної напруги та показано, що струмова завантаженість секцій обмоток суттєво неоднакова при різних режимах роботи.*

Одним из классов трансформаторно-ключевых исполнительных структур (ТКИС) дискретных стабилизаторов (ДС) напряжения переменного тока, отличающихся повышенной надежностью работы, которая обеспечивается вынесением ключевых элементов (КЭ) из цепей силового тока, являются структуры с двумя электромагнитными элементами (ЭМЭ) — двухобмоточным вольтодобавочным трансформатором (ВДТ) и автотрансформатором (АТ) с секционными обмотками. Они достаточно давно известны [1,2], нашли практическое применение [3,4], чему, естественно, предшествовали соответствующие расчеты ЭМЭ для конкретных нагрузок и определенных условий работы. Однако в технической литературе до недавнего времени отсутствовали в обобщенном виде сведения о результатах исследований, которые позволяли бы для любого возможного диапазона изменения входного напряжения ( $U_{1\min}, U_{1\max}$ ;  $G=$

$=U_{1\max}/U_{1\min}$ ) с любой требуемой погрешностью стабилизации ( $\delta U_2=(U_{2\max}-U_{2\min})/2U_{2н}$ ) рассчитывать ЭМЭ таких ТКИС. Так в [5] получены только зависимости витковых соотношений обмоток ЭМЭ для нескольких вариантов трех возможных конфигураций ТКИС этого класса. Что касается расчета токов в обмотках ЭМЭ, то в [8] получены соответствующие формулы, справедливые при любых изменениях величины нагрузки и любых задаваемых отклонениях сетевого напряжения, но только для одного значения числа возможных состояний (режимов) ТКИС —  $J=8$ .

Представляется целесообразным проследить влияние повышения требований к стабильности выходного напряжения ДС (увеличение числа  $J$ ) на токовую нагрузку обмоток обоих ЭМЭ в одной из возможных конфигураций таких структур, например, в структуре с размещением ВДТ в первичном контуре ТКИС, которая в [5] обозначена индексом

A1 (рис. 1). Здесь, при общем числе ключей  $N$ , количество КЭ, присоединенных к отпайкам секционированной обмотки АТ и целенаправленно изменяющих напряжение, подаваемое на первичную обмотку ВДТ  $W_{01}$ , равно  $n=N-2$ , а ключи  $V(n+1)$  и  $V(n+2)$  осуществляют реверсирование этого напряжения, т.е. изменение знака вольтдобавки. В такой структуре число возможных состояний и, соответственно, коэффициентов передачи  $K_j$  (см. характеристику вход-выход, рис. 2) равно  $J=2n$ . Когда замкнут  $V(n+1)$ , реализуется  $n$  режимов вольтдобавки (при последовательном переключении  $V1-V(n)$ ), а при замкнутом  $V(n+2)$  —  $n$  режимов вольтдобавки (при том же алгоритме работы ключей  $V1-V(n)$ ).

Пользуясь методами индукции, на основе ряда построенных в процессе исследования таблиц фор-

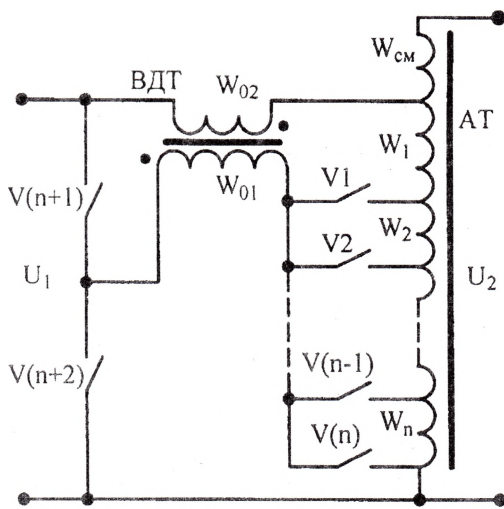


Рис. 1

	U <sub>2max</sub>		U <sub>2min</sub>		U <sub>1min</sub>		U <sub>1max</sub>	
	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	...	K <sub>(n)</sub>	K <sub>(n+1)</sub>	...	K <sub>(2n-1)</sub>	K <sub>(2n)</sub>
V1								
V2								
...								
V(n-1)								
V(n)								
V(n+1)								
V(n+2)								

Рис. 2

мул для определения токов в обмотках АТ при различных  $J$  (в [8] приведена такая таблица для случая  $J=8$ ) сформируем аналогичную таблицу для произвольного числа состояний ТКИС, памятуя только, что  $J$  всегда четное число (табл. 1). В ней формулы для режимов понижения напряжения ( $j=(n+1), 2n$ ) полностью повторяют формулы для режимов повышения напряжения ( $j=1, n$ ). Следует помнить, что токи нормированы по номинальному току нагрузки  $I_{2н}$  ( $I_{Wi}^* = I_{Wi} / I_{2н}$ ),  $\gamma = U_{2max} / U_{2min}$ ,

$\mu = U_{1min} / U_{2н}$ , а приведенные в таблице формулы соответствуют точкам характеристики вход-выход, в которых  $U_2 = U_{2max}$ . При этом  $I_2 = I_{2max} = I_{2н} \cdot 2\gamma / (\gamma + 1) = I_{2н} \cdot 0,5(\gamma + 1)4\gamma / (\gamma + 1)^2 \approx I_{2н} \cdot 0,5(\gamma + 1)$ , так как сомножитель  $4\gamma / (\gamma + 1)^2$  с высокой степенью точности (ошибка менее 0,25%) можно приравнять к единице. Ток, протекающий по обмотке  $W_{cm}$ , равен максимальному току нагрузки в любом режиме, поэтому всегда  $I_{W_{cm}}^* \approx 0,5(\gamma + 1)$ . (Отметим, что подобные таблицы могут быть построены и для других конфигураций ТКИС с двумя ЭМЭ, например, структур Б и В, описанных в [5]).

Анализ этой таблицы показывает, что существуют определенные закономерности в расчете токов обмотк  $W_1 + W_{n+1}$ , которые можно выразить следующим образом:

$$I_{W_{ij}}^* = \begin{cases} \frac{1}{\mu\gamma^{(j-1)}} \cdot \frac{1}{\gamma^n} - \frac{\gamma+1}{2} & \text{при } \begin{cases} j=1 \div n, \\ i=1 \div (n+1-j); \end{cases} \\ \frac{1}{\mu\gamma^{(j-1)}} - \frac{\gamma+1}{2} & \text{при } \begin{cases} j=1 \div n, \\ i=(n+2-j) \div (n+1); \\ j=(n+1) \div 2n, \\ i=1 \div (2n+1-j); \end{cases} \\ \frac{1}{\mu\gamma^{(j-1)}} \cdot \gamma^n - \frac{\gamma+1}{2} & \text{при } \begin{cases} j=(n+1) \div 2n, \\ i=(2n+2-j) \div (n+1). \end{cases} \end{cases}$$

Довольно часто число витков в секции  $W_{(n+1)}$  гораздо меньше, чем в остальных секциях АТ, в связи с чем иногда принимают  $W_{(n+1)} = 0$  (вариант А 2.2 [5]). При этом все строки табл. 1 остаются такими же, кроме последней, которая просто исключается. Несколько изменяются и пределы действия формул для определенных токов:

$$I_{W_{ij}}^* = \begin{cases} \frac{1}{\mu\gamma^{(j-1)}} \cdot \frac{1}{\gamma^n} - \frac{\gamma+1}{2} & \text{при } \begin{cases} j=1 \div n, \\ i=1 \div (n+1-j); \end{cases} \\ \frac{1}{\mu\gamma^{(j-1)}} - \frac{\gamma+1}{2} & \text{при } \begin{cases} j=2 \div n, \\ i=(n+2-j) \div n; \\ j=(n+1) \div 2n, \\ i=1 \div (2n+1-j); \end{cases} \\ \frac{1}{\mu\gamma^{(j-1)}} \cdot \gamma^n - \frac{\gamma+1}{2} & \text{при } \begin{cases} j=(n+2) \div 2n, \\ i=(2n+2-j) \div (n+1). \end{cases} \end{cases}$$

Как видно, величина токов в секциях обмоток определяется всеми параметрами поля стабилизации  $(G, \gamma, \mu)$ , причем их значения различны в различных режимах. В табл. 1 утолщенной линией показана граница применения той или иной формулы для определения этих токов. Максимальное абсолютное значение тока в  $i$ -ой обмотке всегда наблюдается в одном из двух соседних режимов, разделенных этой линией — либо в режиме  $j=(n+1-i)$ , либо в режиме  $j=(n+2-i)$ . При задан-

$j$	$K_1/K_{(n+1)}$	$K_2/K_{(n+2)}$	...	$K_j/K_{(n+j)}$	...	$K_{(n-1)}/K_{(2n-1)}$	$K_n/K_{2n}$
$I_{W_1}^*$	$\frac{1}{\mu} / \frac{1}{\mu\gamma^n}$	$\frac{1}{\mu\gamma} / \frac{1}{\mu\gamma^{n+1}}$	...	$\frac{1}{\mu\gamma^{j-1}} / \frac{1}{\mu\gamma^{n+j-1}}$	...	$\frac{1}{\mu\gamma^{n-2}} / \frac{1}{\mu\gamma^{2n-2}}$	$\frac{1}{\mu\gamma^{n-1}} / \frac{1}{\mu\gamma^{2n-1}}$
$I_{W_1}^*$	$\frac{\gamma+1}{2}$	$\frac{\gamma+1}{2}$	...	$\frac{\gamma+1}{2}$	...	$\frac{\gamma+1}{2}$	$\frac{\gamma+1}{2}$
$I_{W_1}^*$	$\frac{1}{\mu\gamma^n} - \frac{\gamma+1}{2}$	$\frac{1}{\mu\gamma^{n+1}} - \frac{\gamma+1}{2}$	...	$\frac{1}{\mu\gamma^{n+j-1}} - \frac{\gamma+1}{2}$	...	$\frac{1}{\mu\gamma^{2n-2}} - \frac{\gamma+1}{2}$	$\frac{1}{\mu\gamma^{2n-1}} - \frac{\gamma+1}{2}$
$I_{W_2}^*$	$\frac{1}{\mu\gamma^n} - \frac{\gamma+1}{2}$	$\frac{1}{\mu\gamma^{n+1}} - \frac{\gamma+1}{2}$	...	$\frac{1}{\mu\gamma^{n+j-1}} - \frac{\gamma+1}{2}$	...	$\frac{1}{\mu\gamma^{2n-2}} - \frac{\gamma+1}{2}$	$\frac{1}{\mu\gamma^{n-1}} - \frac{\gamma+1}{2}$
	....	....	....	....	....	....	....
$I_{W_i}^*$	$\frac{1}{\mu\gamma^n} - \frac{\gamma+1}{2}$	$\frac{1}{\mu\gamma^{n+1}} - \frac{\gamma+1}{2}$	....	....	....	$\frac{1}{\mu\gamma^{n-2}} - \frac{\gamma+1}{2}$	$\frac{1}{\mu\gamma^{n-1}} - \frac{\gamma+1}{2}$
	....	....	....	....	....	....	....
$I_{W_{(n-1)}}^*$	$\frac{1}{\mu\gamma^n} - \frac{\gamma+1}{2}$	$\frac{1}{\mu\gamma^{n+1}} - \frac{\gamma+1}{2}$	....	$\frac{1}{\mu\gamma^{j-1}} - \frac{\gamma+1}{2}$	....	$\frac{1}{\mu\gamma^{n-2}} - \frac{\gamma+1}{2}$	$\frac{1}{\mu\gamma^{n-1}} - \frac{\gamma+1}{2}$
$I_{W_n}^*$	$\frac{1}{\mu\gamma^n} - \frac{\gamma+1}{2}$	$\frac{1}{\mu\gamma} - \frac{\gamma+1}{2}$	....	$\frac{1}{\mu\gamma^{j-1}} - \frac{\gamma+1}{2}$	....	$\frac{1}{\mu\gamma^{n-2}} - \frac{\gamma+1}{2}$	$\frac{1}{\mu\gamma^{n-1}} - \frac{\gamma+1}{2}$
$I_{W_{(n+1)}}^*$	$\frac{1}{\mu} - \frac{\gamma+1}{2}$	$\frac{1}{\mu\gamma} - \frac{\gamma+1}{2}$	....	$\frac{1}{\mu\gamma^{j-1}} - \frac{\gamma+1}{2}$	....	$\frac{1}{\mu\gamma^{n-2}} - \frac{\gamma+1}{2}$	$\frac{1}{\mu\gamma^{n-1}} - \frac{\gamma+1}{2}$

ных  $G$  и  $\gamma$  переход этой границы происходит при определенном  $\mu$ , то есть при определенном сдвиге нижнего предела диапазона допустимого изменения входного напряжения относительно номинала. Найти эту критическую величину  $\mu_{кр}$  можно даже не переходя к численным примерам. Так для  $W_1$  имеем:

— режим  $j=n$  (слева от границы)

$$I_{W_{1n}}^* = \frac{1}{\mu\gamma^{2n-1}} - \frac{\gamma+1}{2},$$

— режим  $j=n+1$  (справа от границы)

$$I_{W_{1(n+1)}}^* = \frac{1}{\mu\gamma^n} - \frac{\gamma+1}{2}.$$

Приравняв абсолютные значения этих токов и учтя, что на практике в большинстве случаев  $\frac{\gamma+1}{2} > \frac{1}{\mu\gamma^{2n-1}} = \frac{\gamma}{\mu G}$ , определяем первое критическое значение параметра  $\mu_{кр}$ :

$$\mu_{кр1} = (\gamma + \sqrt{G}) / [(\gamma + 1)G].$$

Продлав эту операцию для последующих секций обмотки и обобщая полученные результаты, находим общее выражение для  $i$ -го значения пара-

метра  $\mu_{кри}$ , при котором происходит "перемещение" максимального значения тока в  $i$ -той обмотке из режима  $j=(n+1-i)$  в режим  $j=(n+2-i)$  и наоборот:

$$\mu_{кри} = (\gamma + \sqrt{G})\gamma^{j-1} / [(\gamma + 1)G].$$

Если реальное значение параметра  $\mu_p$  больше  $\mu_{кри}$ , то  $i$ -тая секция обмотки максимально загружена по току в первом из этих режимов, если  $\mu_p < \mu_{кри}$ , то — во втором.

С целью количественной оценки рассчитаем относительные величины токов для случая  $J=12$ ,  $G=280 \text{ В}/140 \text{ В}=2$  ( $\gamma=1,059$ ),  $\mu=140 \text{ В}/220 \text{ В}=0,6363$  (табл. 2). Для полноты картины в этой таблице приведены также относительные значения токов обмоток ВДТ, величины которых несколько снижаются с увеличением  $j$  от 1(6) до 7(12).

Как видно, в отдельных режимах токи в секциях могут изменять свои направления, то есть становиться "отрицательными", однако нас интересуют их абсолютные значения. Рассчитаем критические значения параметра  $\mu$ :

$$\mu_{кр1} = 0,6006 \quad (U_{1\min} = 132,1 \text{ В}); \quad \mu_{кр2} \approx 0,6363$$

$$(U_{1\min} = 140 \text{ В}); \quad \mu_{кр3} = 0,6741 \quad (U_{1\min} = 148 \text{ В});$$

$$\mu_{кр4} = 0,7142 \quad (U_{1\min} = 157,12 \text{ В}); \quad \mu_{кр5} = 0,7567$$



( $U_{1\min} = 166,47$  В);  $\mu_{кр6} = 0,8017$  ( $U_{1\min} = 176,36$  В). вторичной обмоток).

Поскольку

—  $\mu_{кр1} < \mu_p$ , максимальный ток в секции обмотки  $W_1$  будет в режиме  $j=n+1-1=6$ ;

—  $\mu_{кр2} \approx \mu_p$ , практически одинаковый ток, равный максимальному в секции обмотки  $W_2$  будет в двух режимах —  $j=n+1-2=5$  и  $j=n+2-2=6$ ;

—  $\mu_{кр3} > \mu_p$  ( $\mu_{кр4} > \mu_p$ ,  $\mu_{кр5} > \mu_p$ ,  $\mu_{кр6} > \mu_p$ ), в секциях обмоток  $W_3, W_4, W_5, W_6$  максимальные токи будут, соответственно, в режимах  $j=n+2-3=5$ ,  $j=n+2-4=4$ ,  $j=n+2-5=3$ ,  $j=n+2-6=2$ .

Таблица 2

	1(7)	2(8)	3(9)	4(10)	5(11)	6(12)
$I_{\Sigma}^*$	-1,030	-1,030	-1,030	-1,030	-1,030	-1,030
$I_{W1j}^*$	0,081	0,019	-0,040	-0,095	-0,148	-0,197
$I_{W2j}^*$	0,081	0,019	-0,040	-0,095	-0,148	0,148
$I_{W3j}^*$	0,081	0,019	-0,040	-0,095	0,218	0,148
$I_{W4j}^*$	0,081	0,019	-0,040	0,292	0,218	0,148
$I_{W5j}^*$	0,081	0,019	0,370	0,292	0,218	0,148
$I_{W6j}^*$	0,081	0,454	0,370	0,292	0,218	0,148
$I_{W7j}^*$	0,542	0,454	0,370	0,292	0,218	0,148
$I_{W01j}^*$	0,460	0,434	0,410	0,378	0,365	0,345
$I_{W02j}^*$	1,111	1,049	0,990	0,934	0,882	0,832

Как свидетельствуют данные табл. 2, все соображения, касающиеся критических значений параметра  $\mu$ , полностью подтвердились. (Отметим и тот момент, что с ростом  $i$  число витков в секции падает, а максимальный ток — растет).

Представляется целесообразным введение коэффициента загрузки по току  $i$ -ой обмотки в  $j$ -ом режиме

$$K_{ij} = I_{W_{ij}}^* / I_{W_{i\max}}^* \cdot 100\%, \quad 0 \leq K_{ij} \leq 100\%,$$

и построение на основе табл. 2 новой таблицы (табл. 3), наглядно демонстрирующей различие токовой загрузки секций обмотки АТ по режимам, а, значит, и во времени. (В данной таблице, во-первых, опущен коэффициент загрузки по току секции  $W_{\Sigma}$ , поскольку он неизменен и равен 100% во всех режимах, и, во-вторых, в ней приведен единый коэффициент загрузки по току обеих обмоток ВДТ, поскольку он одинаков как для первичной, так и для

Таблица 3

	1(7)	2(8)	3(9)	4(10)	5(11)	6(12)
$K_{1j}$	41,26	9,68	20,17	48,35	74,90	100
$K_{2j}$	55,07	12,92	26,93	64,55	100	99,8
$K_{3j}$	37,42	8,78	18,55	43,86	100	68,76
$K_{4j}$	27,9	6,54	13,64	100	74,56	50,56
$K_{5j}$	21,98	5,15	100	78,77	58,74	39,83
$K_{6j}$	17,95	100	81,65	64,1	47,96	32,52
$K_{7j}$	100	83,77	68,36	53,85	40,15	27,23
$K_{ВДТj}$	100	94,38	89,08	84,09	79,36	74,91

Это обстоятельство, которое впервые было отмечено в [6] и позднее в [7], может существенно изменить подход к расчету многообмоточных электромагнитных элементов ТКЭС. Согласно принятой до сих пор практике, каждая секция регулировочной обмотки рассчитывалась на наибольшее напряжение на ней и наибольший ток, который по ней может протекать. Однако, как видно из приведенных таблиц, он максимален в каком-то одном из режимов, а в остальных режимах загрузка этой секции обмотки по току может быть меньше, причем существенно меньше, вплоть до ее отсутствия. Некая "усредненная" по всем режимам загрузка по току секции регулировочной обмотки лежит в пределах 45—62 %. Максимальные токовые загрузки различных секций оказываются "разнесенными" по различным режимам, т.е. "усредненная" загрузка по току всех секций обмотки АТ для каждого режима также существенно меньше 100% (32—66%). (Естественно, "усредненные" показатели никоим образом не могут быть приняты для расчета, они приведены лишь как еще одно наглядное подтверждение наличия резервов совершенствования АТ).

Влияние снижения нижнего предела диапазона возможных изменений входного напряжения (параметра  $\mu$ ) на величины токов в секциях обмотки АТ для случая  $J=8$  было прослежено в [8]. Очевидно, что аналогичная (в принципе, но не количественно) ситуация будет наблюдаться и при других  $J$ , в частности, при  $J=12$  — варианте, рассматриваемом в данной работе. В табл. 4 для этого варианта приведены коэффициенты загрузки по току секций обмотки АТ для случая  $\mu_p = 0,5909$  ( $U_{1\min} = 130$ В) при тех же, что и выше,  $G=2,0$  (260 В/130 В) и  $\gamma=1,0509$ . Поскольку параметры  $G$  и  $\gamma$  не изменились, то и критические величины параметра  $\mu_{кр}$  ( $\mu_{кр1} \dots \mu_{кр6}$ ) сохранили прежние значения. Так как теперь  $\mu_{кр1} > \mu_p$ , то обмотка  $W_1$  обтекается максимальным током уже

не в шестом (двенадцатом), а в первом (седьмом) режимах. Теперь и  $\mu_{кр2} > \mu_p$ , т.е. наибольший ток в обмотке  $W_2$  наблюдается только в шестом (двенадцатом) режимах. Из-за того, что по-прежнему  $\mu_{кр3} \dots \mu_{кр6} > \mu_p$ , максимальные токи в обмотках  $W_3 \div W_6$  протекают в тех же режимах, что и раньше.

Таблица 4

	1(7)	2(8)	3(9)	4(10)	5(11)	6(12)
$K_{1j}$	<b>100</b>	59,7	21,81	14,08	47,93	79,86
$K_{2j}$	71,0	<b>41,87</b>	15,29	9,87	33,6	<b>100</b>
$K_{3j}$	53,24	31,8	<b>11,61</b>	7,5	<b>100</b>	75,95
$K_{4j}$	42,43	25,35	9,25	<b>100</b>	79,71	60,54
$K_{5j}$	34,92	20,86	<b>100</b>	82,3	65,6	49,82
$K_{6j}$	29,4	<b>100</b>	84,2	69,29	55,23	41,95
$K_{7j}$	<b>100</b>	85,66	72,12	59,36	47,31	35,93
$K_{ВДТj}$	<b>100</b>	94,38	89,08	84,09	79,36	74,91

Несложно построить аналогичные таблицы и для других значений  $\mu_p$ .

Неодинаковость загрузки по току отдельных секций АТ в различных режимах характерна и для других конфигураций ТКИС с двумя электромагнитными элементами, например, для структур типа Б и В [5]. (Как, впрочем, и для обычного АТ с отпайками в простейших ТКИС стабилизаторов напряжения переменного тока с одним электромагнитным элементом, однако этот вопрос требует дальнейшего исследования).

Изложенное выше свидетельствует о том, что расчет секционированного автотрансформатора по максимальным значениям токов в секциях обмоток приводит к завышению реальной установленной мощности электромагнитного элемента, т.е. к недоиспользованию активных материалов — меди и стали. Учет этого обстоятельства, который должен, в конечном счете, положительно сказаться на

массогабаритных показателях ТКИС дискретных стабилизаторов напряжения переменного тока, требует соответствующей корректировки методики расчета автотрансформаторов с секционированными обмотками, загрузка которых по току не является одинаковой во всех режимах работы.

1. Липковский К.А. Трансформаторно-ключевые исполнительные структуры преобразователей переменного напряжения. — Киев: Наук. думка, 1983. — 216 с.

2. Липковский К.А. Синтез трансформаторно-ключевых исполнительных структур с двумя электромагнитными элементами // Техн. электродинамика. — 1983. — № 6. — С. 35–42.

3. Липковский К.А., Халиков В.А., Осадчук А.С. Стабилизатор переменного напряжения промышленной частоты 50 Гц, 220 В // Техн. электродинамика. — 1995. — № 3. — С. 72.

4. Липковский К.А., Сидоренко Ю.В., Халиков В.А., Можсаровский А.Г. Вариативный стабилизатор переменного напряжения "Варс" // Техн. электродинамика. — 1991. — № 6. — С. 112.

5. Липковский К.А., Можсаровский А.Г. Исполнительные структуры стабилизаторов напряжения с двумя электромагнитными элементами // Техн. электродинамика. — 2006. — № 1. — С. 31–38.

6. Липковский К.А. Состояние и перспективы развития теоретических и практических аспектов проблемы регулирования напряжения переменного тока // Техн. электродинамика. Тем. вып. "Слова електроніка та енерго-ефективність". — Ч.1. — 2006. — С. 8–10.

7. Липковский К.А. Предпосылки коррекции методики расчета секционированного автотрансформатора в силовой исполнительной структуре дискретного стабилизатора напряжения переменного тока // Праці ІЕД НАНУ. — 2006. — № 3(15). — С. 53–55.

8. Халиков В.А., Можсаровский А.Г. Расчет установленной мощности двухтрансформаторных стабилизаторов напряжения дискретного действия // Техн. электродинамика. — 2006. — № 4. — С. 35–40.

Надійшла 19.12.2006