

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

*На правах рукописи*



**Мурад Ахмед Али ТАХЕР**  
(Йемен)

**ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ТРАНЗИСТОРНЫХ  
ОДНОТАКТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ**

Специальность 05.09.12 – “Полупроводниковые преобразователи  
электроэнергии”

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание  
ученой степени  
кандидата технических наук

КИЕВ • 1997



00751995 (-)

Работа выполнена на кафедре промышленной электроники Национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт".

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент  
АРТЕМЕНКО Михаил Ефимович.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
КОМАРОВ Николай Сергеевич;

кандидат технических наук, старший  
научный сотрудник ПОНОМАРЕВ  
Игорь Григорьевич.

Ведущая организация – Государственная академия легкой  
промышленности Украины МОУ,  
г. Киев.

Защита диссертации состоится 23 апреля 1997 г. в 11<sup>00</sup> на заседании специализированного ученого совета Д 01.98.02 в Институте электродинамики НАН Украины по адресу: 252680, Киев – 57, пр. Победы, 56. Тел. 446-91-15.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института электродинамики НАН Украины.

Автореферат разослан "18". 03 1997 г.

Ученый секретарь  
специализированного  
ученого совета

Федий В.С.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы и степень исследования тематики диссертации. Синтез схем преобразователей представляет собой одну из сложных и наименее решенных проблем преобразовательной техники. Применительно к транзисторным одноктактным преобразователям напряжения (ТОПН) эта задача, с одной стороны, упрощается, поскольку известен алгоритм коммутации вентиляей, а с другой стороны, усложняется при увеличении числа вентиляей и реактивных элементов для достижения требуемых качественных показателей преобразователей. Работы в этом направлении ведутся различными научными коллективами: ИЭД НАН Украины, ИПЭС НАН Украины, Национальным техническим университетом Украины "КПИ", в США, в России и ряде других стран. Однако существующие методы синтеза не позволяют проводить целенаправленный поиск структуры ТОПН с заранее заданными свойствами. На их основе невозможно подтвердить или опровергнуть полноту существующих классов ТОПН, поскольку они используют априорную неформализованную информацию о соединении элементов, продукты синтеза содержат изоморфные варианты схем. В методах анализа, применяемых для ТОПН, описываемых системами дифференциальных уравнений до 6 порядка, отсутствует сочетание простоты и точности получаемых результатов. Отсутствуют общие аналитические выражения для таких важных характеристик преобразователя, как к.п.д., регулировочная характеристика, непосредственно связанные с параметрами активных потерь элементов и способом их соединения.

Целью настоящей диссертации является развитие и разработка взаимосвязанных матрично-топологических методов анализа и структурного синтеза силовой части ТОПН, генерация полных наборов представителей классов ТОПН с заранее заданными свойствами, выявление и разработка патентоспособных схемных вариантов, выбор оптимальных вариантов по заданному критерию.

Для достижения поставленной цели в работе решаются научно-технические задачи:

- развитие и разработка матрично-топологического метода анализа и синтеза ТОПН;
- вывод на основе разработанного метода анализа общих аналитических выражений для токов и напряжений ключей и реактивных элементов, регулировочной характеристики и к.п.д. с учетом активных статических потерь в ключевых и реактивных элементах и способа их соединения;
- нахождение топологических критериев работоспособности и установление топологических аналогов задаваемых свойств ТОПН;
- генерация на основе разработанного метода синтеза с учетом указанных критериев и аналогов полных наборов схемных вариантов перспективных ТОПН;

- выявление и разработка патентоспособных схем;
- выбор оптимальных вариантов по заданному критерию.

Объектом исследования являются транзисторные одноконтурные преобразователи постоянного напряжения в переменное.

Методы исследования. Описание ТОПН базируется на теории ориентированных и неориентированных графов. Метод анализа ТОПН основывается на использовании законов Кирхгофа в матрично-топологической форме записи. Для получения аналитических выражений для токов и напряжений ключевых и реактивных элементов, к.п.д. использован аппарат линейной алгебры. Синтез ТОПН производится на основе главной топологической матрицы (ГТМ) с использованием алгебры логики, метода структурных чисел. Проверка результатов анализа ТОПН с повышающей регулировочной характеристикой проводилась методом физического моделирования.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- разработанный метод анализа и синтеза ТОПН на основе главной топологической матрицы, в отличие от известных, не использует априорную информацию о соединении элементов, позволяет генерировать полные наборы схем ТОПН с заранее заданными свойствами, причем продуктами синтеза являются только работоспособные, неизоморфные варианты, а также позволяет получить аналитические выражения для токов и напряжений ключей, регулировочной характеристики и статического к.п.д., непосредственно связанные со способом соединения элементов и параметрами активных потерь;
- выведенные формулы для числа основных контуров и числа основных сечений графа схемы ТОПН в зависимости от списка элементов силовой части однозначно устанавливают размерность ГТМ при синтезе ТОПН;
- найденные топологические аналоги таких важнейших свойств ТОПН, как гальваническая развязка входных и выходных цепей, симметричное перематывание сердечника трансформатора, токовая компенсация пульсаций выходного напряжения, повышающая регулировочная характеристика, совместно с топологическими критериями работоспособности позволяют осуществлять целенаправленный синтез ТОПН с заданными свойствами;
- методом топологического анализа установлено, что суммарная расчетная мощность транзисторов двухинтервальных ТОПН равна суммарной расчетной мощности диодов.

Теоретическая и практическая ценность работы состоит в следующем:

- получены общие аналитические выражения для токов и напряжений ключей, статического к.п.д. и регулировочной характеристики двухин-

тервальных ТОПН, непосредственно связанные с топологией схемы и параметрами активных потерь;

- разработан алгоритм построения матрицы инцидентности по известной ГТМ, позволяющий строить схему ТОПН по ее описанию в виде ГТМ;
- получены полные наборы представителей перспективных классов ТОПН с симметричным перемагничиванием сердечников трансформаторов, с токовой компенсацией пульсаций выходного напряжения, с повышающей регулировочной характеристикой, которые могут быть использованы как полная база данных при автоматизированном проектировании преобразователей;
- выявлены схемы ТОПН, обладающие новизной и преимуществами по сравнению с известными аналогами, на которые оформлены заявки на патенты Украины;
- установлены области сочетания параметров предпочтительного применения и условие целесообразности увеличения коэффициента трансформации ТОПН с повышающей регулировочной характеристикой, что позволяет обоснованно выбирать конкретную схему в зависимости от заданных условий эксплуатации.

Конкретный личный вклад диссертанта в разработку новых научных результатов, которые выносятся на защиту:

- развитие и применение метода анализа и синтеза на основе ГТМ для получения полных наборов представителей перспективных классов ТОПН;
- аналитические выражения для к.п.д. и регулировочной характеристики двухинтервальных ТОПН с учетом активных статических потерь элементов силовой части и способа их соединения;
- топологические аналоги задаваемых свойств синтезируемых схем;
- оригинальные схемы ТОПН с токовой компенсацией пульсаций выходного напряжения и повышающей регулировочной характеристикой;
- области сочетания параметров предпочтительного применения и условие целесообразности увеличения коэффициента трансформации ТОПН с повышающей регулировочной характеристикой.

Реализация результатов исследований. Разработанный метод анализа и синтеза ТОПН на основе ГТМ внедрен в учебный процесс кафедры промышленной электроники Национального Технического Университета Украины "КПИ" и используется при чтении лекционных курсов.

Апробация результатов научных исследований. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на научном семинаре "Полупроводниковые преобразователи в устройствах промышленной электроники", проводимом Научным советом НАНУ по комплексной программе "Научные основы электроэнергетики" в г. Киеве в 1994 г. и 1996 г.

Публикации. По результатам работы опубликованы четыре статьи и одна заявка на патент Украины.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, заключения. Содержит 101 страницу основного машинописного текста, 3 таблицы, 50 рисунков, список литературы из 61 наименования и одно приложение. Общий объем диссертации составляет 109 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность работы, ставится цель и перечисляются методы исследования, формулируются научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

В первой главе, носящей постановочный характер, произведен обзор существующих методов анализа и синтеза преобразовательных устройств, применимых к ТОПН, а также рассмотрены перспективные схемные решения одноконтурных преобразователей.

В общем случае ТОПН относятся к нелинейным импульсным системам с переменной структурой, для описания происходящих в них электромагнитных процессов используются дифференциальные уравнения до 6-го порядка включительно. Среди методов решения дифференциальных уравнений с кусочно-постоянными коэффициентами и постоянной воздействующей функцией выделены точные и приближенные.

Из точных методов рассмотрены метод разностных уравнений и его модификации, а также методы нахождения интегральных характеристик переменных состояния без проведения в явном виде операции интегрирования мгновенных значений. Этим методам присуща высокая точность получаемых результатов, большая степень формализации, возможность использования стандартных подпрограмм при машинной реализации.

Приближенные методы расчета обладают простотой реализации и наглядностью результатов, но учитывают лишь первые производные изменения переменных состояния либо первые гармоники разложения периодических функций токов и напряжений в ряд Фурье. Рассмотрены методы, основанные на балансе вольт-секундного интеграла на обмотках индуктивных элементов и ампер-секундного интеграла на обкладках конденсаторов и их модификации, метод усреднения переменных состояния и спектральный метод расчета.

В целом в рассмотренных методах отсутствует сочетание простоты и точности получаемых результатов. Для преобразователей, содержащих более, чем два реактивных элемента, отсутствуют общие аналитические выражения для таких важных характеристик, как к.п.д., регулировочная характеристика, непосредственно связанные с параметрами активных потерь элементов и способом их соединения.

Для выяснения преимуществ и недостатков существующих методов структурного синтеза каждый из них был применен для генерации полного набора простейших ТОПН, содержащих два ключа и два реактивных элемента.

Процедуры синтеза показали, что все рассмотренные методы на первоначальных этапах синтеза используют априорную неформализованную информацию о соединении элементов (структура графа в методе геометрического синтеза, структура базовой ячейки в методе "converter cells", схема с постоянной структурой в методе на основе графа изменения состояния). Их применение сопровождается генерацией изоморфных вариантов. Ни один из существующих методов не позволяет осуществлять целенаправленный поиск структуры ТОПН с заранее заданными свойствами.

Обзор схемных решений ТОПН показал, что к перспективным направлениям совершенствования схемотехники ТОПН следует отнести: организацию непрерывного токопотребления во входной цепи, осуществление симметричного перемагничивания сердечника трансформатора, токовую компенсацию пульсаций выходного напряжения. Актуальным является выявление полных наборов схем ТОПН с указанными свойствами.

Вторая глава обосновывает применение главной топологической матрицы (ГТМ) в качестве универсального инструмента описания, анализа и синтеза ТОПН.

Как известно, электрическую схему, содержащую  $n$  элементов, можно представить в виде связанного графа, содержащего  $n$  ребер и  $v < n$  вершин. После построения дерева ребра графа разбиваются на  $u = v - 1$  ветвей дерева и  $k = n - u$  хорд.

Так, преобразователю Кука-Поликарпова, изображенному на рис.1,а, соответствует ориентированный граф на рис.1,б, в котором жирными линиями выделены ветви дерева, а тонкими линиями - хорды.

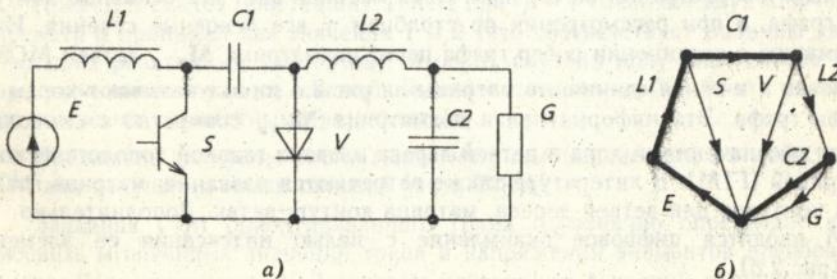


Рис. 1.

Топологические связи между элементами описываются взаимосвязанными между собой матрицей основных контуров (МОК) и матрицей основных сечений (МОС). Для ориентированного графа эти матрицы соответственно имеют вид:

$$\begin{aligned} B_{k \times n} &= [E_{k \times k} \quad M_{k \times u}] \\ Q_{n \times u} &= [-M_{u \times k}^T \quad E_{u \times u}], \end{aligned} \quad (1)$$

где  $E_{k \times k}$ ,  $E_{u \times u}$  — единичные матрицы, относящиеся соответственно к хордам и ветвям дерева;  $T$  — знак транспонирования.

Для неориентированного графа подматрица ветвей дерева МОК и подматрица хорд МОС совпадают с точностью до транспонирования, поэтому может быть построена единая топологическая матрица, описывающая основные (главные) контуры и сечения графа. Для рассматриваемого примера такая матрица приведена на рис.2,а.

S	V	L2	G	E	L1	C1	C2
1				1	1		
	1			1	1	1	
		1		1	1	1	1
			1				1

S							
V							
L2							
G							
E				1			
L1					1		
C1						1	
C2							1

	E	L1	C1	C2	
S	1	1			1
V	1	1	1		2
L2	1	1	1	1	3
G				1	4
	1	2	3	4	

Рис. 2.

При рассмотрении по строкам такая матрица дает все основные контуры графа, а при рассмотрении по столбцам — все основные сечения. Информацию о соединении ребер графа несет подматрица  $M_{k \times u}$  ветвей МОК, а левая и нижняя единичные матрицы на рис.2,а лишь указывают хорды и ветви графа. Эта информативная подматрица  $M_{k \times u}$  совместно с символьными обозначениями хорд и ветвей дерева названа главной топологической матрицей (ГТМ). В литературе также встречаются названия: матрица главных контуров для ветвей дерева, матрица контур-ветвь. Дополнительно в ГТМ вводится цифровое окаймление с целью индексации ее элементов (рис.2,б).

Удобство применения ГТМ для синтеза ТОПН обусловлено тем, что изоморфные варианты графов имеют одинаковые ГТМ.

При рассмотрении наиболее распространенных двухинтервальных регулируемых ТОПН, рабочий период которых состоит из двух интервалов постоянства структуры, ребра графа силовой части преобразователя образуют  $n$  элементов:

- $E$  - источник входного напряжения;
- $L1, L2, \dots, L\ell$  - индуктивные элементы (трансформаторы и одно- либо многообмоточные дроссели) с общим числом обмоток  $w = \sum_{i=1}^{\ell} w_i$ ;
- $C1, C2, \dots, Cc$  - конденсаторы;
- $S1, S2, \dots, Ss$  - ключи первого вида, к которым относятся регулирующий транзистор, передающий энергию от входного источника в первом интервале постоянства структуры, и все синхронно коммутируемые с ним ключевые элементы;
- $V1, V2, \dots, Vv$  - ключи второго вида, к которым относятся рекуперационный диод, передающий энергию в нагрузку во втором интервале постоянства структуры, и все синхронно коммутируемые с ним ключевые элементы;
- нагрузка, которая моделируется источником тока  $Y = U_Y G$ , где  $U_Y$  - среднее значение выходного напряжения,  $G$  - проводимость нагрузки.

Установлено, что для двухинтервальных ТОПН:

- число конденсаторов равно числу дросселей ( $\ell = c = q$ );
- число ключей первого вида равно числу ключей второго вида ( $s = v = p$ );
- число основных контуров графа схемы  $k = p + q + l$ ;
- число основных сечений графа схемы  $u = n - k = p + w + 1$ .

Эти соотношения позволяют однозначно определить размерность ГТМ при синтезе ТОПН и не использовать априорную информацию о соединении элементов.

Проведен синтез простейших ТОПН при  $p = 1$  (наличие двух ключей), параметр  $q$  принимал два значения 1 и 2 (что соответствует наличию двух и четырех реактивных элементов). В обоих случаях получены полные наборы схем данного класса, состоящие, соответственно, из 3 и 9, что полностью совпадает с известными результатами.

Предложен алгоритм составления матрицы инциденции по известной ГТМ для получения схемы силовой части ТОПН.

Заданная ГТМ ориентированного графа однозначно определяет взаимосвязь мгновенных значений токов и напряжений элементов преобразователя. Если обозначить  $V, I$  векторы мгновенных значений напряжений и токов ребер графа, то на основании законов Кирхгофа в топологической форме можно записать:

$$\begin{aligned} BV &= 0 \\ QI &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где структура матриц **B** и **Q** раскрыта в (1).

При проведении анализа следует учесть, что напряжения и токи в многообмоточных индуктивных элементах при принятых допущениях являются взаимозависимыми. Как известно, при отсутствии активных потерь и потоков рассеяния в  $m$ -обмоточном трансформаторе напряжения обмоток связаны между собой через коэффициенты трансформации

$$\frac{u_j}{u_i} = \sqrt{\frac{L_j}{L_i}} = \frac{W_j}{W_i} = n_{ji}, \quad (3)$$

а выражение для тока намагничивания, приведенного к  $i$ -ой обмотке, имеет вид:

$$i_{\text{ш}} = \frac{u_i}{pL_i} = i_i + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m i_j n_{ji} \quad (4)$$

Для того, чтобы соотношения (3), (4) соответствовали форме записи (2), их коэффициенты должны вписываться в столбец ГТМ, соответствующий индуктивности намагничивания  $L_i$ . Заполнение столбца производится по следующим правилам. Если в рассматриваемый основной контур входит обмотка  $W_i$ , то на соответствующей позиции в столбце  $L_i$  проставляется 1; если в рассматриваемый основной контур входит обмотка  $W_j$ , то на соответствующей позиции в столбце  $L_i$  проставляется  $n_{ji}$ . ГТМ, в которой связи между токами и напряжениями обмоток трансформаторов (многообмоточных дросселей) выражены коэффициентами трансформации, названа сокращенной. Поскольку трансформатор описывается в сокращенной ГТМ в виде ветви дерева, в качестве хорд выбираются ключи обоих видов.

В общем случае сокращенная ГТМ при  $p = q = r$  имеет следующий вид:

$$M = \begin{matrix} & L_r & C_r & E \\ \begin{matrix} S_r \\ V_r \\ Y \end{matrix} & \begin{array}{|c|c|c|} \hline M_{SL} & M_{SC} & m_S \\ \hline M_{IL} & M_{IC} & m_I \\ \hline 0 & m_I^T & 0 \\ \hline \end{array} \end{matrix} \quad (5)$$

При использовании уравнений (1) и (2) для установившегося режима с учетом блочной структуры матрицы  $\mathbf{M}$  (5) получены выражения для средних значений переменных состояния:

$$\begin{aligned} U_C/E &= U_{CE} = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{b} \\ \mathbf{J}_L^T/Y &= \mathbf{J}_{LY}^T = -\mathbf{m}_Y^T \mathbf{A}^{-1}, \end{aligned} \quad (6)$$

регулирующей характеристики при отсутствии потерь:

$$U_Y/E = U_{YE} = -\mathbf{m}_Y^T \mathbf{A}^{-1}\mathbf{b} = \mathbf{J}_{LY}^T \mathbf{b}, \quad (7)$$

средних значений токов и напряжений ключей:

$$\mathbf{J}_S^T = \mathbf{J}_L \mathbf{M}_{SL}^{-1}; \quad U_S = \mathbf{M}_{SL} \mathbf{p}; \quad \mathbf{J}_V^T = \mathbf{J}_L \mathbf{M}_{VL}^{-1}; \quad U_V = -\mathbf{M}_{VL} \mathbf{p}. \quad (8)$$

Здесь приняты обозначения

$$\mathbf{A}_1 = \mathbf{M}_{SL}^{-1} \mathbf{M}_{SC}; \quad \mathbf{b}_1 = -\mathbf{M}_{SL}^{-1} \mathbf{m}_S; \quad \mathbf{A}_2 = \mathbf{M}_{VL}^{-1} \mathbf{M}_{VC}; \quad \mathbf{b}_2 = -\mathbf{M}_{VL}^{-1} \mathbf{m}_V,$$

$$\mathbf{A} = \mathbf{A}_1 d + \mathbf{A}_2 (1-d), \quad \mathbf{b} = \mathbf{b}_1 d + \mathbf{b}_2 (1-d), \quad \Delta \mathbf{A} = \mathbf{A}_1 - \mathbf{A}_2; \quad \Delta \mathbf{b} = \mathbf{b}_1 - \mathbf{b}_2.$$

$\mathbf{p} = \Delta \mathbf{b} E - \Delta \mathbf{A} U_C$ ,  $d$  — относительная величина интервала проводимости

ключей первого вида.

Алгебраическая сумма расчетных мощностей всех ключей

$$P_\Sigma = \sum_{i=1}^{2r} P_i = \mathbf{J}_S^T U_S + \mathbf{J}_V^T U_V = 0 \quad (9)$$

Поскольку в транзисторе направление тока для открытого состояния совпадает с направлением напряжения для закрытого состояния, а в диоде эти направления — противоположны, то положительные слагаемые в (9) относятся к транзисторам, а отрицательные — к диодам. Следовательно, суммарная расчетная мощность транзисторов равна суммарной расчетной мощности диодов. Полученные расчетные выражения для токов и напряжений реактивных и ключевых элементов позволяют выяснить их направления, определить тип ключей, переориентировать, если это необходимо, направления ветвей графа, и скорректировать знаки ненулевых элементов ГТМ.

Уточненный анализ ТОПН учитывает активные сопротивления индуктивных и ключевых элементов, задаваемые диагональными матрицами  $\mathbf{R}_S$ ,  $\mathbf{R}_V$ , ненулевые элементы которых отображают активные потери в контурах, определяемых хордами  $S_1 \dots S_r$  и  $V_1 \dots V_r$  соответственно.

Уточненное значение регулировочной характеристики

$$U_{YE} = \mathbf{J}_{LY}^T \mathbf{b} / (1 + \mathbf{J}_{LY}^T \mathbf{R}_G \mathbf{J}_{LY}), \quad (10)$$

отличается от выражения (7) на величину

$$\eta = \frac{1}{1 + \mathbf{J}_{LY}^T \mathbf{R}_G \mathbf{J}_{LY}}$$

соответствующую статическому к.п.д. преобразователя. Приняты обозначения  $\mathbf{R} = \mathbf{R}_1 d + \mathbf{R}_2 (1 - d)$ ,  $\mathbf{R}_1 = \mathbf{M}_{SL}^{-1} \mathbf{R}_S (\mathbf{M}_{SL}^T)^{-1}$ ,  $\mathbf{R}_2 = \mathbf{M}_{TL}^{-1} \mathbf{R}_T (\mathbf{M}_{TL}^T)^{-1}$ ,  $\mathbf{R}_G = \mathbf{R} \mathbf{G}$ .

Третья глава посвящена синтезу ТОПН с заданными свойствами на основе ГТМ. Сформулированы правила заполнения ГТМ, обеспечивающие работоспособность соответствующих им схем ТОПН.

Установлены топологические аналоги следующих свойств ТОПН:

- гальваническая развязка входных и выходных цепей – при вычеркивании столбцов, соответствующих индуктивностям намагничивания дросселей-трансформаторов, участвующих в развязке входной и выходной подсхем, ГТМ приобретает квазидиагональную структуру, содержащую нулевые подматрицы, отображающие отсутствие связей между подсхемами;
- симметричное перемагничивание сердечника трансформатора – сечение, определяемое конденсатором размагничивающей цепи, состоит только из ключей второго вида;
- токовая компенсация пульсаций выходного напряжения – наличие сечения, состоящего из индуктивностей намагничивания трансформатора и дросселя, а также выходного конденсатора;
- повышающая регулировочная характеристика – наличие сечения, состоящего из источника питания и одной либо двух индуктивностей намагничивания дросселей-трансформаторов.

Указанные правила и аналоги накладывают ограничения на заполнение определенных позиций ГТМ. Комбинаторный перебор нулей и единиц на оставшихся позициях дает полный набор неизоморфных представителей задаваемого класса.

Применение этой процедуры синтеза для перспективных классов ТОПН при  $p = q = 2$  показало, что они содержат следующие полные наборы схем:

- с симметричным перемагничиванием сердечников трансформаторов и LC-фильтром в выходной подсхеме – семь, все из которых опубликованы либо получаются известными преобразованиями;
- с токовой компенсацией пульсаций выходного напряжения – шесть, две из которых ранее не публиковались;
- с повышающей регулировочной характеристикой – четыре, одна из которых ранее не публиковалась.

ГТМ выявленных оригинальных схем приведены на рис.3 (здесь коэффициенты трансформации приняты равными 1).

	<i>E</i>	<i>C</i>	<i>C'</i>	<i>L'</i>	<i>L</i>	
<i>S</i>	1	0	0	1	1	1
<i>V</i>	0	0/1	1	0	1	2
<i>S'</i>	0	1/0	1	0	1	3
<i>V'</i>	0	1/0	1	1	0	4
	1	2	3	4	5	

a), б)

	<i>E</i>	<i>L</i>	<i>L'</i>	<i>C</i>	<i>C'</i>	
<i>S</i>	1	1	0	0	0	1
<i>V</i>	1	1	1	0	0	2
<i>S'</i>	0	0	1	1	0	3
<i>V'</i>	0	0	1	0	1	4
	1	2	3	4	5	

в)

Рис. 3.

В четвертой главе рассмотрено практическое применение методов анализа и синтеза ТОПН на основе ГТМ.

Полученные при синтезе топологические матрицы оригинальных схем использованы для упрощенного анализа соответствующих им ТОПН, результаты которого сведены в таблице.

ГТМ	$U_{CE}$	$J_{LY}$	$U_{SE}$	$U_{VE}$	$J_{SY}$	$J_{VY}$
Рис.3, а	$nd/(1-d)$ $nd^2/(1-d)$	$n/(1-d)$ $nd/(1-d)$	$1/(1-d)$ $nd/(1-d)$	$-nd/(1-d)$ $-n$	$nd/(1-d)$ 1	$1/(1-d)$ $d/(1-d)$
Рис.3, б	$nd/(1-d)$ $nd$	0 $n$	$1/(1-d)$ $-nd/(1-d)$	$\pm nd/(1-d)$ $-n$	$n$ 1	0 1
Рис.3, в	$n/d$ $n/(1-d)$	$n/d(1-d)$ $n/d$	$1/(1-d)$ $-n/d(1-d)$	$1/d$ $-n/d(1-d)$	$n/d(1-d)$ $1/d$	$n/d(1-d)$ $1/(1-d)$

Полные схемы преобразователей приведены на рис. 4 под буквами, соответствующими ГТМ на рис. 3.

Проведенный анализ показал, что эти ТОПН обладают преимуществами по сравнению с известными аналогами, что является основанием для оформления заявок на патенты Украины. Произведено описание работы каждого из преобразователей.

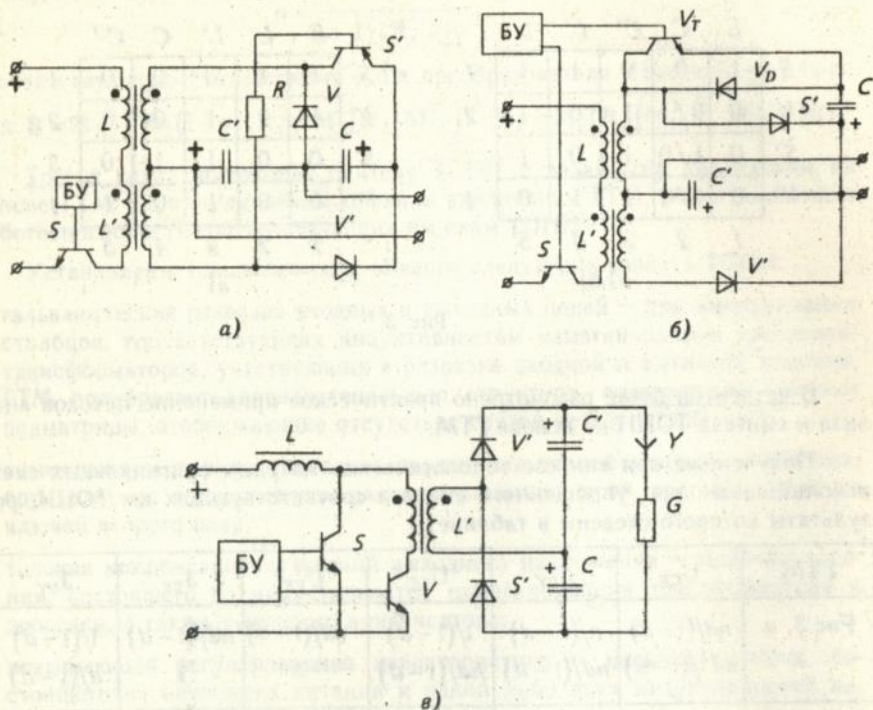


Рис. 4.

Наличие полной совокупности схем ТОПН с набором заданных свойств дает возможность поставить задачу выбора оптимального варианта схемного решения по заданному критерию либо при заданных условиях эксплуатации. Рассмотрен выбор оптимальной схемы повышающих ТОПН, синтезированных в главе 3, обеспечивающей максимум выходного напряжения. Упрощенный анализ показывает, что при отсутствии активных потерь регулировочные характеристики всех четырех преобразователей одинаковы и соответствуют выражению  $U_{YE} = n/d(1-d)$ . Следовательно, для решения поставленной задачи необходим уточненный анализ по формуле (10).

Уточненная регулировочная характеристика преобразователя на рис. 4, в имеет вид

$$U_{YE} = \frac{nd(1-d)}{d^2(1-d)^2 + \{n^2[r_3 + r(1-d)] + r_4d(1-d)\}G}, \quad (11)$$

где  $r_{S1} + r_L = r_{11} + r_L = r_3$ ;  $r_{w1} = r$ ;  $r_{S2} + r_{w2} = r_{12} + r_{w2} = r_4$ .

Сравнительный анализ регулировочных характеристик всех повышающих преобразователей позволил выделить области предпочтительного применения заявленного преобразователя, изображенные на рис. 5.

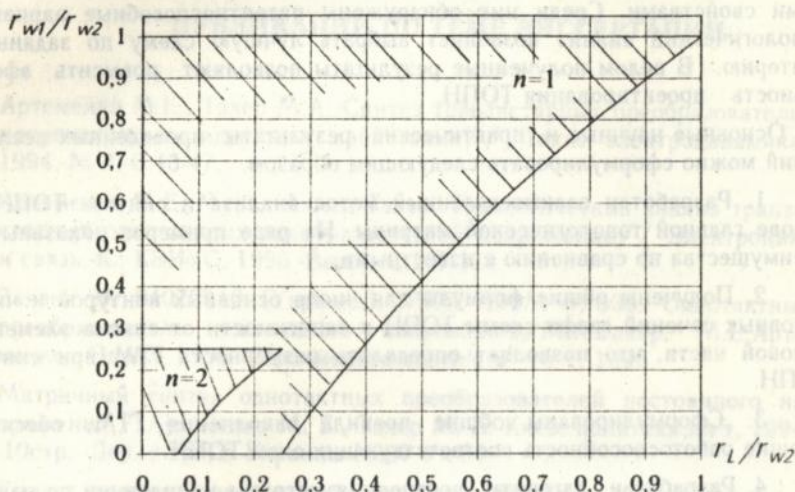


Рис. 5.

С возрастанием коэффициента трансформации  $n$  эта область уменьшается. Однако, как показали дальнейшие исследования, увеличение  $n$  приводит к увеличению выходного напряжения лишь при выполнении условия:

$$d(1-d)[d(1-d)G^{-1} + r_4] > r_3 + r(1-d). \quad (12)$$

При возрастании нагрузки (увеличение  $G$ ), а также стремлении  $d$  к крайним значениям 0 либо 1 неравенство (12) нарушается, и имеет место снижение  $U_{YE}$  с ростом  $n$ . Для дальнейшего увеличения выходного напряжения рекомендовано последовательное включение выходных диодно-конденсаторных узлов.

Экспериментальная проверка регулировочной характеристики заявленного повышающего ТОНП показала достаточно хорошее (в пределах 20%) совпадение теоретических и практических данных.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В диссертационной работе получила развитие методология анализа и синтеза транзисторных одноконтурных преобразователей напряжения. Поставлена и решена задача выявления полных наборов схем ТОПН с заданными свойствами. Среди них обнаружены патентноспособные варианты. Топологический анализ позволяет выбрать лучшую схему по заданному критерию. В целом полученные результаты позволяют повысить эффективность проектирования ТОПН.

Основные научные и практические результаты проведенных исследований можно сформулировать следующим образом.

1. Разработан взаимосвязанный метод анализа и синтеза ТОПН на основе главной топологической матрицы. На ряде примеров показаны его преимущества по сравнению с известными.

2. Получены общие формулы для числа основных контуров и числа основных сечений графа схемы ТОПН в зависимости от списка элементов силовой части, что позволяет определять размерность ГТМ при синтезе ТОПН.

3. Сформулированы общие правила заполнения ГТМ, обеспечивающие работоспособность соответствующих схем ТОПН.

4. Разработан алгоритм построения матрицы инцидентности по известной ГТМ, позволяющий строить схему ТОПН по ее описанию в виде ГТМ;

5. Найден топологические аналоги таких важнейших свойств ТОПН, как гальваническая развязка входных и выходных цепей, симметричное перематнивание сердечника трансформатора, токовая компенсация пульсаций выходного напряжения, повышающая регулировочная характеристика, что позволяет осуществлять целенаправленный синтез ТОПН с заданными свойствами.

6. Получены полные наборы представителей перспективных классов ТОПН с симметричным перематниванием сердечников трансформаторов, с токовой компенсацией пульсаций выходного напряжения, с повышающей регулировочной характеристикой, которые могут быть использованы как полная база данных при автоматизированном проектировании преобразователей.

7. Выявлены схемы ТОПН, обладающие новизной и преимуществами по сравнению с известными аналогами, на которые оформлены заявки на патенты Украины.

8. Получены общие аналитические выражения для токов и напряжений ключей, к.п.д. и регулировочной характеристики двухинтервальных ТОПН с учетом активных статических потерь элементов силовой части схемы и способа их соединения.

9. Установлено, что суммарная расчетная мощность транзисторов двухинтервальных ТОПН равна суммарной расчетной мощности диодов.

10. Установлены области сочетания параметров предпочтительного применения и условие целесообразности увеличения коэффициента трансформации повышающих ТОПН.

### ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Артеменко М.Е., Тахер М.А. Синтез транзисторных преобразователей напряжения с заданными свойствами // Техн. электродинамика.-1994.-№ 4.-С.43-47.
2. Артеменко М.Е., Мурад Ахмед Тахер. Топологический анализ транзисторных одноконтурных преобразователей напряжения // Электроника и связь.-К.: КВИУС, 1996.-Вып.1.-С.107-114.
3. Заявка № 94076312 (Украина), МКИ Н02М 3/335. Одноконтурный преобразователь постоянного напряжения / М.А.Тахер, М.Е.Артеменко.- Опубл. в ОБ "Промислова власність" № 1, 1996.
4. Матричный синтез одноконтурных преобразователей постоянного напряжения / Артеменко М. Е., Тахер М. А. Киев. политехн.ин-т, 1994. -10стр. -Деп. в ГНТБ Украины N307 Ук-94.
5. Синтез транзисторных преобразователей постоянного напряжения с токовой компенсацией пульсаций / Артеменко М. Е., Тахер М. А. Киев. политехн. ин-т, 1995. -8 стр.-Деп. в ГНТБ Украины N2405 Ук-94

Личный вклад автора. В работах, опубликованных в соавторстве, соискателю принадлежит: топологический аналог свойства симметричного перематничивания сердечника трансформатора [1]; аналитические выражения для к.п.д. и регулировочной характеристики двухинтервальных ТОПН [2]; построение блока управления вспомогательным транзистором [3]; методика построения матрицы инцидентности по известной ГТМ [4]; применение метода анализа и синтеза на основе ГТМ для получения полного набора представителей ТОПН с токовой компенсацией пульсаций выходного напряжения, топологический аналог этого свойства [5].

## ANNOTATION

Murad Ahmed Ali TAHER. "Topological analysis and synthesis of transistor voltage converters".

The dissertation is presented for Ph.D. degree in the speciality 05.09.12 – Semiconductor converters of electric energy, Institute of Electrodynamics, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 1997.

Four scientific works and one patent of Ukraine are submitted in which topological method of analysis and synthesis of transistor voltage converters and its applications were presented. These methods can be used for generating of full ranges of converters with specified properties, revealing of new converter topologies and choosing of the best variants.

## АНОТАЦІЯ

Мурад Ахмед Алі ТАХЕР. "Топологічний аналіз та синтез транзисторних однокатних перетворювачів напруги".

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.12 – Напівпровідникові перетворювачі електроенергії. Інститут електродинаміки, Національна академія наук України, Київ, 1997 р.

Захищаються 4 наукові праці та одна заявка на патент України, в яких викладено топологічний метод аналізу та синтезу транзисторних однокатних перетворювачів напруги та його застосування. Цей метод може бути використаний для генерації повних наборів перетворювачів з заданими властивостями, виявлення нових схем та вибору кращих варіантів.

Ключові слова: топологічний аналіз, синтез, однокатні транзисторні перетворювачі напруги.

Подп. к печ. 13.03.97. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага тип. № 1. Способ печати офсетный. Услови. печ. л. 0,93.  
Услови. кр.-отт. 1,04. Уч.-изд. л. 1,0.  
Тираж 120. Зак. № 7-893.

---

Фирма «ВИПОЛ»  
252151, г. Киев, ул. Волинская, 60.

435471

AB 37.167