

КИЕВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ШУКАЙФИ БАКРИ НАЗМИ  
/Сирия/

МНОГОЗВЕННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ  
С СИНУСОИДАЛЬНЫМ ВЫХОДНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ

Специальность 05.09.12 – Полупроводниковые преобразователи электроэнергии

Автореферат  
диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических  
наук

Киев – 1993

Аб 27.477

ЛННБ України ім. В. Стефаніка



00814331 (К)

Работа выполнена на кафедре теоретических основ электротех-  
ники Киевского политехнического института

Научный руководитель - лауреат Государственной премии  
Украины, доктор технических наук,  
профессор СЕНЬКО В.И.

Научный консультант - кандидат технических наук,  
доцент МАКАРЕНКО Н.П.

Официальные оппоненты: лауреат Государственной премии  
Украины, доктор технических наук,  
старший научный сотрудник  
ЮРЧЕНКО Н.Н.

кандидат технических наук,  
доцент КУЛЕНОВ Ю.Е.

Ведущая организация - институт проблем энергосбережения  
АН Украины

Защита состоится "21" июня 1993 г. в 15 часов  
на заседании специализированного Совета К 068.14.05 при Киев-  
ском политехническом институте /252056, г.Киев-56, проспект По-  
беды, 37/.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1993 г.

Ученый секретарь  
специализированного Совета  
к.т.н., доцент

Б.Н.КОНДРА

ЛННБ ім. В. Стефаніка  
АН України

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Современный этап научно-технического прогресса характеризуется значительным возрастанием роли преобразовательной техники как составляющей энергетической основы совершенствования существующих и создания качественно новых технологических процессов в отраслях народного хозяйства.

Важное место в решении этих задач имеет совершенствование электротехнического оборудования, предназначенного для усиления низкочастотных и инфранизкочастотных синусоидальных напряжений с выходной мощностью в единицы кВА и высоким КПД преобразования. Используемые в настоящее время в акустике, гидроакустике и других системах передачи информации такие преобразователи характеризуются значительной массой и габаритами, порядка 10 Вт/кг, что существенно ухудшает технические характеристики как самого усилителя, так и всего комплекса, использующего такую аппаратуру.

Существующая тенденция увеличения выходной мощности таких устройств при сохранении традиционных методов решения этой задачи неизбежно приведет к еще большему увеличению массо-габаритных показателей аппаратуры. Поэтому повышение эффективности устройств энергетической электроники, к которым относятся рассматриваемые преобразователи частоты, может быть достигнуто только путем использования как новых способов преобразования параметров электрической энергии, так и новых принципов построения преобразователей их реализующих на основе последних достижений в разработке устройств энергетической и информационной электроники. В значительной степени этому способствуют успехи в области разработки и серийного освоения высокоэффективных мощных силовых транзисторов.

Одним из направлений, обеспечивающих повышение эффективности рассматриваемых широкополосных преобразователей частоты, является использование в преобразователях их реализующих промежуточного звена высокой частоты, с целью уменьшения массо-габаритных показателей мощных изделий и улучшения динамических характеристик преобразователей частоты.

Разработка и исследование преобразователей с промежуточным звеном высокой частоты, а также преобразователей с синусоидальной формой выходного напряжения проводятся в институте электро-

динамики АН Украины, институте проблем энергосбережения АН Украины, Харьковском политехническом институте, Московском энергетическом институте, Томском институте автоматизированных систем управления и радиоэлектроники и многих других организациях. Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод об эффективности использования модуляционных способов преобразования электроэнергии для формирования низкочастотных синусоидальных напряжений, а также для построения преобразователей с широкой полосой пропускания.

В настоящее время у разработчиков силовых полупроводниковых преобразователей накоплен большой опыт по разработке устройств, в основу которых положен тот или иной способ модуляции выходного напряжения. Однако особенности нагрузки, условий эксплуатации, а также наличие ряда специфических требований к аппаратуре не позволяют непосредственно переносить и использовать полученные в других работах технические решения.

В связи с этим актуальной задачей является отыскание наиболее оптимальных технических решений, органически вобравших наилучшие известные способы преобразования и схемные решения, а также разработка методов анализа электромагнитных процессов, позволяющих анализировать и рассчитывать режимы работы полупроводниковых приборов и накопителей электромагнитной энергии.

Решение данного ряда задач проводилось в соответствии с планом НИР кафедры теоретических основ электротехники Киевского политехнического института.

**Цель работы:** Разработка и исследование широкополосных полупроводниковых преобразователей частоты с синусоидальным выходным напряжением; теоретическое и практическое исследование режимов работы преобразовательных устройств и выработка рекомендаций по улучшению их энергетических и эксплуатационных характеристик; разработка и испытание опытных образцов полупроводниковых преобразователей частоты.

Поставленная цель достигается решением следующих задач:

- обоснование выбора пути создания широкополосных преобразователей частоты;
- исследование модуляционных способов преобразования параметров электромагнитной энергии и устройств их реализующих;
- обоснование целесообразности выполнения многозвенных преобразователей частоты на базе преобразователей с промежуточным

звеном высокой частоты и синусоидальной формой выходного высокочастотного напряжения;

- обоснование целесообразности построения преобразователей с высокочастотным однофазным или трехфазным выходным напряжением синусоидальной формы по схеме с суммированием в общем контуре /СОК/ выходных напряжений однофазных регулируемых инверторов, сдвинутых относительно друг друга и имеющих одинаковую частоту и скважность;

- исследование электромагнитных процессов в многозвенных преобразователях частоты;

- определение величины фазовых сдвигов между выходными напряжениями однофазных регулируемых инверторов, участвующих в формировании однофазного или трехфазного синусоидальной формы выходного напряжения;

- разработка схем и опытных образцов многозвенных преобразователей частоты.

Методы исследования. При исследовании рассматриваемых в работе преобразовательных устройств использовались: комбинированный метод, основанный на методе отдельных составляющих и коммутационных функций для получения аналитических выражений исследуемых выходных напряжений и токов; методы гармонического анализа и синтеза при получении исследуемых выражений в виде гармонического ряда и получения основных интегральных характеристик исследуемых напряжений в замкнутом виде; методы расчета на ЭВМ полученных выражений. Справедливость теоретических выводов подтверждена результатами экспериментальных исследований.

#### Научная новизна:

1. Обоснована целесообразность выполнения широкополосных многозвенных преобразователей частоты на базе преобразователей с промежуточным звеном высокой частоты и квазисинусоидальной формой выходного высокочастотного напряжения.

2. Предложены принципы построения многозвенных широкополосных полупроводниковых преобразователей частоты с квазисинусоидальным или пилообразным выходным напряжением на основе высокочастотных преобразователей с однофазным или трехфазным квазисинусоидальной формы регулируемым выходным напряжением.

3. Обоснована целесообразность построения преобразователей с высокочастотным однофазным или трехфазным квазисинусоидальной

формы выходным напряжением по схеме СОК выходных напряжений однофазных регулируемых инверторов, сдвинутых относительно друг друга и имеющих одинаковую частоту и скважность.

4. Получены выражения, позволяющие определить коэффициент передачи фильтра и коэффициент гармоник на его выходе с учетом потерь в фильтре.

5. Получены выражения для коэффициентов гармоник кривой и величины действующего значения высших гармонических составляющих выходного напряжения многозвенных преобразователей частоты в замкнутом виде.

6. Определены в замкнутом виде зависимости величины среднего за полупериод значения выходного напряжения высокочастотных инверторов от параметра регулирования.

7. Определены оптимальные фазовые соотношения между выходными напряжениями регулируемых однофазных инверторов, формирующих однофазное или трехфазное квазисинусоидальной формы выходное напряжение многозвенных широкополосных преобразователей частоты.

8. Получены выражения, позволяющие определить в общем случае вид развертывающего напряжения и фазовой характеристики, при которых регулировочная характеристика преобразователя будет линейной.

Автор защищает:

- принципы построения полупроводниковых преобразователей частоты на основе высокочастотных инверторов напряжения с синусоидальной формой выходного одно- или многофазного напряжения;

- методику анализа электромагнитных процессов и формулы для определения в замкнутом виде основных интегральных характеристик выходных напряжений многозвенных полупроводниковых преобразователей частоты;

- способы построения систем управления преобразователями со ступенчатой формой выходного напряжения, реализующих многоканальный способ преобразования параметров электромагнитной энергии.

Практическая ценность. Приведенные в работе выводы, зависимости, формулы, графики обеспечили возможность проектирования многозвенных полупроводниковых преобразователей частоты и создание на их основе высокоэффективных усилителей низкой и инфра-

низкой частоты.

Реализация результатов работы в промышленности.

Результаты работы нашли практическое применение в образцах новой техники на заводе "Пирометр" /г. Санкт-Петербург/ и МТЭП "СВЭП" /г. Москва/ /справки о внедрении прилагаются/, а также при проведении лабораторных и практических занятий по курсу "Электронные, микропроцессорные и преобразовательные устройства" в Киевском политехническом институте.

Апробация работы. Основные результаты работы были доложены и обсуждены на: научно-технической конференции "Силовые электронные системы и устройства маломощной преобразовательной техники" /1991 г., г.Алма-Ата/, научно-технической конференции "Проблемы преобразовательной техники" /1991 г., г.Чернигов/, научных семинарах АН Украины "Научные основы электроэнергетики" и научном семинаре кафедры "Электротехники и электроники" Халебского Университета /г.Халеб, Сирия/.

Основное содержание работы опубликовано в 2-х статьях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы и приложения. Работа изложена на 126 страницах машинописного текста и содержит 71 рисунок, 6 таблиц; список литературы из 83 наименований, приложение на 12 страницах.

В первом разделе рассмотрены способы дискретного и непрерывного синтезирования низкочастотного синусоидального напряжения и его регулирования на основе силовых полупроводниковых преобразователей, выполненных как по схеме с суммированием напряжений в общем контуре, так и по схеме с суммированием напряжений в общем узле. Проведен анализ основных схем электрических фильтров с учетом потерь в дросселях и конденсаторах. Показана целесообразность использования при выходных мощностях в единицы кВА транзисторных преобразователей, выполненных по схеме с суммированием напряжений в общем контуре. Обоснована неэффективность использования преобразователей на основе принципа биений и метода многосонной импульсной модуляции в качестве усилителей низкой и инфранизкой частоты для рассматриваемых в работе уровней напряжения до 200 В и мощностях до единиц кВА. Обосновано, что одним из способов улучшения массо-габаритных показателей и улуч-

нения динамических характеристик полупроводниковых преобразователей является переход к силовым схемам с промежуточным звеном повышенной частоты.

Во втором разделе на структурном уровне рассмотрены технические реализации многозвенных полупроводниковых преобразователей с промежуточным звеном повышенной частоты. Показано, что при построении усилителей низкой и инфранизкой частоты с высоким качеством выходного напряжения и высоким КПД преобразования целесообразно использовать преобразователи, выполненные на основе транзисторных инверторов с регулируемым многофазным высокочастотным квазисинусоидальной формы напряжением. Показано, что при использовании в качестве усилителей полупроводниковых преобразователей, имеющих нелинейную регулировочную характеристику при линейном развертывающем напряжении фазосдвигающего блока, с целью неискаженной передачи сигнала, путем линеаризации регулировочной характеристики необходимо, чтобы закон изменения развертывающего напряжения повторял закон изменения нелинейной регулировочной характеристики преобразователя. Приведен пример выполнения фазосдвигающего блока, обеспечивающего наряду с линейностью регулировочной характеристики, возможность технической реализации однополярной реверсивной модуляции.

В третьем разделе проведен анализ электромагнитных процессов в многозвенных преобразователях частоты. На примере анализа процессов, протекающих в однофазном регулируемом инверторе напряжения показана эффективность использования метода коммутационных функций в сочетании с методами гармонического синтеза, а также комбинированного метода, основанного на методах отдельных составляющих и коммутационных функций, позволяющими получать искомые величины в замкнутом виде. Проведена аппроксимация синусоиды  $N$  ступенчатой кривой. Получены величины фазовых сдвигов между регулируемыми инверторами, формирующими однофазное или трехфазное квазисинусоидальной формы напряжение. Определены в замкнутом виде выражения для основных интегральных характеристик выходного напряжения рассматриваемого преобразователя и получены их зависимости от параметров управления.

В четвертом разделе рассмотрены схемотехнические реализации силовой части преобразователя на основе транзисторных мостовых инверторов, а также способы устранения "сквозных" токов в стой-

ках инвертора. Обоснована целесообразность использования в качестве усиленно-развязывающего узла двухтактного усилителя мощности с балластным резистором. Показана эффективность использования многофазных распределителей импульсов с повышенной помехозащищенностью от процессов в силовой схеме и на основе оптронных ключей.

В приложении даны распечатки программ расчета основных интегральных характеристик выходных напряжений, рассмотренных преобразователей, а также справки, подтверждающие внедрение результатов работы в промышленности.

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В преобразовательной технике широкое применение находят модуляционные методы синтеза напряжения. Целесообразность их использования обусловлена возможностью устранения выходных энергетических фильтров, жесткостью внешней характеристики преобразователя, согласованием с ключевым характером работы силовых полупроводниковых приборов, обеспечивающим высокий КПД, возможностью совмещения функций формирования и регулирования напряжения в едином функциональном узле. С целью повышения быстродействия в отработке возмущающих воздействий, а также уменьшения массы и габаритов моточных изделий, в последние годы нашли применение преобразователи с промежуточным звеном высокой частоты и несинусоидальной /прямоугольной/ формой высокочастотного напряжения. В реферируемой работе показано, что повышение эффективности преобразователей может быть достигнуто не только за счет использования промежуточного звена высокой частоты, но и за счет перехода от прямоугольной формы высокочастотного напряжения к квазисинусоидальной.

Анализ способов формирования и регулирования выходных напряжений квазисинусоидальной формы показал, что наиболее целесообразно использовать многоканальный способ преобразования /МСП/ параметров электромагнитной энергии на основе схем с ССК выходных напряжений однофазных регулируемых инверторов, сдвинутых относительно друг друга и имеющих одинаковую частоту и скважность. Это позволяет повысить эффективность преобразования по сравнению со схемами, выполненными с суммированием напряжений в общем узле и схемами с предварительным регулятором посто-

инного напряжения, а также использовать модульный принцип при конструировании, что упрощает процесс проектирования и производства таких преобразователей. Регулирование же однофазного или трехфазного выходного напряжения таких преобразователей целесообразно производить за счет широтно-импульсного регулирования /ШИР/ в каждом из инверторов.

В работе рассмотрены принципы построения и особенности преобразователей с многосонной импульсной модуляцией и на основе принципа выделения разностной частоты как наиболее близкие по технической сущности к рассматриваемому. На основании анализа положительных и отрицательных сторон данных преобразователей, в работе предложено использовать как и в преобразователях, реализующих принцип выделения разностной частоты, синусоидальную, а не прямоугольную, как в многосонной импульсной модуляции, форму промежуточного высокочастотного напряжения, а регулирование величины высокочастотного напряжения осуществлять как и в многосонной импульсной модуляции путем однополярной реверсивной импульсной модуляции. Сущность предложенного технического решения заключается в том, что однофазное высокочастотное напряжение синусоидальной формы с помощью демодулятора на ключах с двухсторонней проводимостью преобразуется в низкочастотное квазисинусоидальное напряжение заданной формы /рис. 1/. Процесс преобразования высокочастотного напряжения в низкочастотное может быть представлен в виде

$$U_{\text{вых}} = U_2 \cdot \psi_2 = U_1 \cdot \psi_1 \cdot \psi_2 = \\ = \frac{2E_m}{\pi} \left\{ \sin \omega_H t - \sum_{s=1}^{\infty} \frac{1}{2s-1} [\sin(2s\omega + \omega_H)t - \sin(2s\omega - \omega_H)t] \right\},$$

где  $U_1 = E_m \cdot \sin \omega t$  - выходное напряжение высокочастотного инвертора при отсутствии регулирования /заполнения/;

$$\psi_1 = \frac{4}{\pi} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{1}{2s-1} \sin(2s-1)\omega t$$

- коммутационная функция типа

прямоугольный синус, совпадающая по фазе с заполнением;

$\psi_2 = 1 \cdot \sin \omega_H t$  - модулирующее низкочастотное воздействие /ограничивающая/.

Коэффициент гармоник такого напряжения определяется выражением

$$K_r = \frac{\left( \sum_{s=1}^{\infty} \frac{V_{g(s)}^2 - V_{g(\lambda)}^2}{V_{g(\lambda)}^2} \right)^{0,5}}{V_{g(\lambda)}} = \left[ \sum_{s=1}^{\infty} \frac{1}{(2s)^2 - 1} - 1 \right]^2 \sqrt{\frac{I^2}{8} - 1} = 0,483.$$

Предложенные преобразователи могут быть выполнены либо по схеме с регулируемым инвертором, напряжение на выходе которого под действием управляющего напряжения изменяет величину амплитудного и действующего значения при сохранении синусоидальной формы этого напряжения, либо по схеме с последовательно соединенными нерегулируемым инвертором и блоком регулирования переменного напряжения, обеспечивающих возможность изменения среднего за полупериод значения выходного демодулированного напряжения пропорционально изменению величины сигнала управления.

Как показано выше коэффициент гармоник выходного напряжения преобразователя, выполненного по схеме однофазно-однофазного преобразователя с регулируемым инвертором равен 48,3%, что безусловно недопустимо велико для рассматриваемых широкополосных преобразователей частоты. Поэтому при построении силовых схем широкополосных многозвенных преобразователей частоты целесообразно использовать трехфазно-однофазную схему /рис. 2/. Как видно из рис. 3 в этом случае форма выходного напряжения может быть максимально приближена к синусоидальной.

В соответствии с предложенной в работе методикой анализа, величина действующего значения и  $K_r$  выходного напряжения ПЧ может быть определена по формулам

$$V_g = \frac{6Em}{x\sqrt{2}} \left[ \frac{I^2}{9} - 1 - \left( 1 - \frac{I}{6} \operatorname{ctg} \frac{I}{6} \right) \cos 2\alpha \right]^{0,5},$$

$$K_r = \left[ \frac{I^2}{9} - 1 - \left( 1 - \frac{I}{6} \operatorname{ctg} \frac{I}{6} \right) \cos 2\alpha \right]^{0,5} / \sqrt{2},$$

где  $\alpha$  - угол управления /для  $\alpha = 0$  и  $K_r \approx 0,042/$ .

На основании использования метода гармонического синтеза были получены в замкнутом виде выражения для среднего за полупериод значения выходного напряжения высокочастотных инверторов от параметра регулирования. Полученные графические зависимости показали, что регулировочная по среднему значению характеристика по мере увеличения числа суммируемых напряжений может быть ад-

проксимирована отрезком косинусоиды. Учитывая, что линейная регулировочная характеристика широкополосного преобразователя может быть получена только в том случае, если развертывающее напряжение фазосдвигающего блока имеет вид аналогичный виду регулировочной характеристики преобразователя при линейном развертывающем напряжении, а также то, что с ростом числа суммируемых в общем контуре напряжений вид регулировочной характеристики приближается к косинусоиде, нами была разработана система управления, обеспечивающая наряду с линейностью регулировочной характеристики возможность технической реализации однополярной реверсивной модуляции.

Получение в замкнутом виде выражений для средних, действующих значений и  $K_r$  выходных напряжений позволило существенно уменьшить затраты машинного времени на их расчет, а также решить задачу оптимального формирования квазисинусоидального напряжения для выбранной структуры преобразователя. Вывод в замкнутом виде выражений для  $K_r$  выходных напряжений преобразователей позволил определить оптимальные фазовые соотношения между ступенями квазисинусоидального напряжения, сформированного путем СОК выходных напряжений однофазных инверторов. В работе показано, что минимальное отличие  $N$  ступенчатой аппроксимированной по синусоиде кривой от оптимальной обеспечивается, если величина нулевой паузы в каждом из выходных напряжений инверторов, а также величина фазового сдвига между выходными напряжениями инверторов, формирующих однофазное или трехфазное квазисинусоидальной формы выходное напряжение, кратны дискретному углу  $\pi/3N$ .

Значительное внимание в работе уделено вопросам разработки силовых схем и отдельных блоков системы управления преобразователя частоты.

Достоверность основных положений и рекомендаций диссертационной работы подтверждена экспериментально в лабораторных условиях. Сравнение теоретических и экспериментальных результатов показало их хорошую сходимость.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

I. По материалам отечественной и зарубежной литературы проведен анализ существующих способов формирования низкочастотных синусоидальных напряжений. Показано, что одним из направлений,

обеспечивающих повышение эффективности преобразователей, является разработка преобразователей с промежуточным звеном высокой частоты и синусоидальной формы выходного высокочастотного напряжения.

2. Обоснована неэффективность использования преобразователей на основе многосонной импульсной модуляции и принципа выделения разностной частоты в качестве преобразователей частоты для рассматриваемых в работе уровней выходного напряжения до 200 В и выходной мощности до единицы кВА.

3. Показано, что при построении преобразователей низкой частоты с высоким качеством выходной энергии могут быть использованы преобразователи, выполненные с промежуточным повышением частоты на основе транзисторных инверторов с регулируемым многофазным квазисинусоидальной формы выходным напряжением.

4. Показано, что наличие потерь в элементах фильтра оказывает влияние на его характеристики. Анализ характеристик полосового режекторного и индуктивно-емкостного Г-образного фильтров показал, что при установленной мощности элементов фильтра, равной мощности нагрузки, в фильтрах имеет место резонанс напряжений для одной из частот, близкой к основной гармонике, что приводит к существенному увеличению  $\mathcal{L}$ . Уменьшение установленной мощности фильтра можно обеспечить путем нейтрализации в спектре частот выходного напряжения фильтра третьей гармоники.

5. Показано, что при неизвестной форме воздействующего напряжения найти мгновенное значение тока на любом интервале работы ПЧ позволяет комбинированный метод, основанный на методах отдельных составляющих и коммутационных функций; комбинированный метод позволяет сочетать все положительные качества обоих методов и проводить анализ процессов практически в любом ВП; результаты получаются как в замкнутом, так и разомкнутом виде.

6. Проведен анализ процессов в инверторном блоке с ШИР выходного напряжения при подключении к его выходу индуктивно-емкостного фильтра. Получены выражения для напряжения на нагрузке для трех режимов работы фильтра. Показано, что наиболее характерным режимом является колебательный режим работы фильтра. Получены выражения для установленных мощностей элементов фильтра, определяющие зону нормального функционирования фильтра и нагрузки.

7. Показана эффективность использования методов гармоничес-

кого синтеза в сочетании с методом коммутационных функций для получения в замкнутом виде выражений для средних, действующих значений и коэффициента гармоник кривой выходного напряжения многозвенных преобразователей частоты.

8. Показано, что при использовании полупроводниковых преобразователей, имеющих нелинейную регулировочную характеристику при линейном развращающем напряжении фазосдвигающего блока с целью неискаженной передачи сигнала путем линеаризации регулировочной характеристики преобразователя необходимо, чтобы закон изменения развращающего напряжения повторял закон изменения нелинейной регулировочной характеристики преобразователя.

9. Предложена методика анализа электромагнитных процессов в многозвенных преобразователях частоты, позволяющая получить выражения для коэффициента гармоник кривой выходного напряжения преобразователя, а также ее зависимость от параметра управления.

10. Определены в замкнутом виде зависимости величины среднего за полупериод значения выходного напряжения высокочастотного инвертора от параметра управления. Показано, что регулировочная характеристика по среднему значению выходного напряжения по мере увеличения числа суммируемых напряжений может быть аппроксимирована отрезком косинусоиды.

11. Обоснована целесообразность построения силовой схемы преобразователя на основе модульного принципа конструирования с использованием унифицированных блоков и устройств, таких как мостовой инвертор напряжения.

12. Результаты работы были использованы при разработке преобразователей на выходную мощность от 1 до 3 кВА с квазисинусоидальным выходным напряжением и выходными частотами от 10 до 600 Гц.

#### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНЫ В РАБОТАХ:

1. Макаренко Н.П., Святненко В.А., Шукайфи Б.Н. Устройство для управления силовым полупроводниковым ключом. - В кн.: Проблемы преобразовательной техники, ч.4, ИЭД АН УССР, Киев, 1991, с.110-112.
2. Победаш К.К., Галченко Ю.В., Кучерук В.И., Шукайфи Б.Н. К анализу преобразователей частоты с постоянной структурой. В кн.: Проблемы преобразовательной техники, ч.4, ИЭД АН УССР.

Киев, 1991, с.161-163.

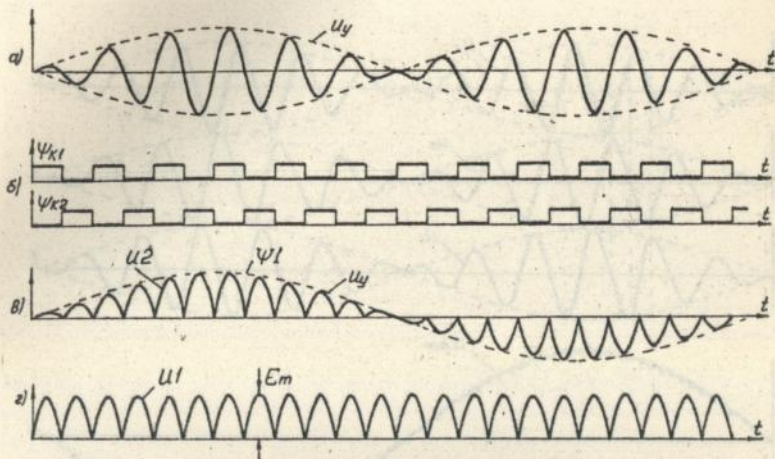


Рис. 1

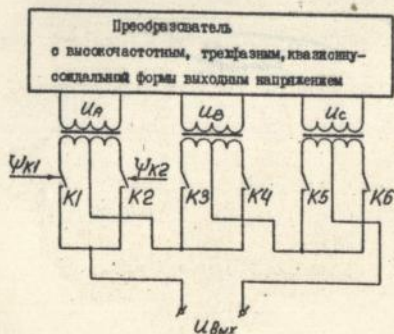
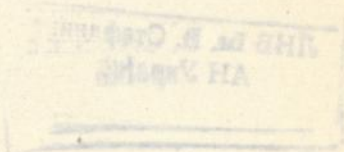


Рис. 2



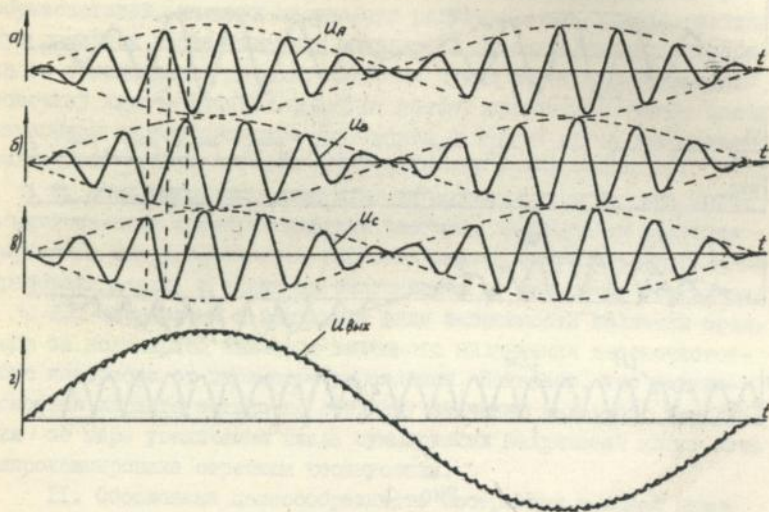


Рис. 3

ЛНБ ім. В. Стефанишина  
АН України





Подписано в печать 14.05.93г Формат 60x84/16  
Бумага писчая. Усл.печ.л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 831  
Отпечатано ЦЭОП ГНПГ "Плодвиконсерв" г.Киев,Саксаганского,1

465659

AB 27.471