

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н.Э.Баумана

На правах рукописи

Тимченко Николай Моисеевич

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛИЗАТОРОВ ПЕРЕМЕННОГО
НАПРЯЖЕНИЯ С ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ КОММУТАЦИЕЙ В СИЛОВОЙ ЦЕПИ

Специальность 05.13.05 - Элементы и устройства
вычислительной техники и систем управления

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание учёной степени кандидата
технических наук

Работа выполнена в Калужском НИИ телемеханических устройств

Научный руководитель - кандидат технических наук

доцент И.А.Рейнеке

Официальные оппоненты - доктор технических наук,

профессор Э.А.Гладков

-кандидат технических наук,

доцент А.А.Бокуняев

Ведущее предприятие - указано в решении специализированного Совета

Автореферат разослан "___" _____ 1981г.

Защита диссертации состоится "___" _____ 1981г.

на заседании специализированного Совета "Автоматические приводы
и системы управления" Московского ордена Ленина и ордена Трудо-
вого Красного Знамени высшего технического училища имени

Н.Э.Баумана по адресу: 107005, М

д.5

Ваши отзывы в 2-х экз
высылать по указанному адресу

С диссертацией можно оз

Учёный секретарь
специализированного Совета
кандидат технических наук

Л-86156. Зак. 809. Объем 1 л.

Тип. МВТУ Ротапринт 107005, М

М 384683

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ. Современный этап научно-технической революции предполагает коренные совершенствования процессов производства на основе новейших достижений науки. В области электро-техники одной из основных задач такого плана является разработка принципов преобразования электромагнитной энергии и создание экономичных высоконадёжных многоцелевых и специализированных стабилизаторов переменного напряжения (СПН).

Области применения СПН, являющихся составной частью многих устройств автоматического управления и регулирования, а также телеметрических систем сбора и обработки информации чрезвычайно обширны. Электротехника (электропривод, электроинструмент, светотехника, электротранспорт и др.), радиотехника и средства связи, геофизика и акустика, контрольно-измерительная и поверочная техника – вот далеко не полный перечень областей, в которых эффективное решение задач невозможно без использования СПН.

М 384683
Большинство исследований, направленных на совершенствование СПН, ставили своей целью накопление данных и создание простых устройств, стабилизирующих переменное напряжение, надёжных и устойчивых в работе. Вместе с тем, до последнего времени несколько в стороне оставался вопрос о качестве электрической энергии на их выходе. В то время, как качество выходного напряжения и экономические характеристики стабилизаторов в значительной степени определяют характеристики всей системы автоматического регулирования.

Таким образом, задача построения, анализа и исследования стабилизаторов переменного напряжения с высоким качеством выходного напряжения и потребляемого тока и ряд её аспектов рассмотрены недостаточно полно и требует дальнейшей разработки. За годы развития схемотехники тиристорных стабилизаторов переменного напряжения с естественной коммутацией, а также феррорезонансных стабилизаторов многие возможности их совершенствования уже исчерпаны и дальнейшее повышение качества выходного напряжения или потребляемого тока даётся с большим трудом.

Поэтому проблема разработки и исследования стабилизаторов переменного напряжения, позволяющих получить высокое качество выходного напряжения, (коэффициент несинусоидальности которого составляет единицы процентов, при высоком КПД – $92 \pm 96\%$) и

удовлетворительных объёмно-массовых характеристиках (ОМХ) имеет большое народнохозяйственное значение и является весьма актуальной.

ЦЕЛЮ РАБОТЫ является разработка стабилизаторов переменного напряжения с высоким качеством выходного напряжения, исследование электромагнитных процессов, устойчивости, вопросов оптимальной аппаратной реализации таких стабилизаторов, а также разработка методики инженерного расчёта силовых цепей одно- и трёхфазных стабилизаторов.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. При решении поставленных задач использованы методы спектрального анализа, теории автоматического регулирования, теории электрических цепей, метод дискретного Z -преобразования, вычислительной техники и др.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. Проведённые в работе исследования позволили получить следующие научные результаты:

1. Разработан способ стабилизации переменного напряжения с высокочастотной коммутацией в силовой цепи, позволяющий при высоком КПД стабилизатора получить высокое качество выходного напряжения и потребляемого тока. Стабилизаторы, реализующие предложенный в работе способ, сочетают в себе лучшие свойства линейных СПН - (высокие динамические характеристики и минимальные искажения формы выходного напряжения) и тиристорных с естественной коммутацией (высокий КПД и удовлетворительные ОМХ).

2. Установлено, что при подключении к выходу высокочастотного регулятора переменного напряжения Г-образного LC -фильтра с двухполярным рекуперирующим устройством на входе, качество выходного напряжения резко улучшается даже при незначительной установленной мощности элементов фильтра. Показано, что объёмно-массовые характеристики СПН с непосредственной связью практически не зависят от частоты питающей сети.

3. Определены зависимости, устанавливающие взаимосвязь между параметрами сети, нагрузки и параметрами элементов стабилизатора.

4. Установлено, что качество выходного напряжения СПН улучшается с увеличением частоты коммутации силового ключа, однако, при этом в некоторых случаях ухудшается КПД стабилизатора.

5. Показано, что выбор оптимальной частоты коммутации силового ключа может быть определён по коэффициентам аппроксимированных уравнений, устанавливающих зависимость изменения КПД и коэффициента формы от частоты коммутации.

6. Показано, что введение контура автоматической регулировки усиления в цепь обратной связи позволяет повысить устойчивость стабилизатора при повышении статической точности.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ

1. Разработаны различные варианты силовых цепей СПН с высокочастотной коммутацией, 23 из которых защищены авторскими свидетельствами.

2. Сформулированы методики теоретического и экспериментального исследования:

- а) электромагнитных процессов в силовых цепях СПН;
- б) устойчивости стабилизаторов;
- в) способов повышения устойчивости.

3. Сформулирована методика определения оптимальной частоты коммутации силового ключа СПН для получения высокого КПД и минимальных искажений формы выходного напряжения для заданной системы параметров.

4. Составлена методика инженерного расчёта практических схем СПН.

5. Разработана методика и аппаратура для экспериментального исследования СПН.

РЕАЛИЗАЦИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ. Результаты работы используются на ряде промышленных предприятий г.г. Москвы, Калуги, Саранска и др. при проектировании ВПН РЭА, устройств телеграфной техники, автоматических измерительных систем и т.д.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Результаты работы докладывались и обсуждались на следующих научно-технических конференциях и семинарах:

Всесоюзной научно-технической конференции "Современные задачи преобразовательной техники". ИЭД АН УССР г. Киев, 1975г.

Семинаре "Устройства вторичных источников питания РЭА". МДНТП им. Ф.Э. Дзержинского г. Москва, 1976г.

У-й научно-технической конференции, посвящённой 60-летию Великой Октябрьской Социалистической революции. г. Калуга, 1978г.

ПУБЛИКАЦИИ. По результатам выполненных исследований опубликовано 5 печатных работ и получено 23 авторских свидетельства на изобретения.

ОБЪЁМ РАБОТЫ. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, в которых изложены основные научно-технические результаты и общие выводы (150 стр.), перечня использованной литературы.

ратуры (IIЗ наименований), приложений (II стр) и иллюстраций (58стр).

Во введении анализируется актуальность поставленной задачи и дано краткое содержание диссертации.

В первой главе рассматриваются особенности различных способов стабилизации переменного напряжения, их основные показатели и характеристики. Приводится классификация СПН по способу регулирования выходного напряжения.

С точки зрения аппаратурной реализации, наиболее простыми стабилизаторами являются феррорезонансные СПН, которые представляют собой параметрические стабилизаторы, использующие свойства нелинейных элементов. Однако, такие стабилизаторы имеют невысокий КПД, громоздки и значительно искажают форму выходного напряжения. Применение в силовых цепях СПН тиристорных регуляторов с естественной коммутацией позволяет повысить КПД и улучшить ОМХ стабилизаторов. Но значительные искажения формы выходного напряжения и потребляемого тока, а также плохие динамические свойства не позволяют применять такие стабилизаторы в широких масштабах. Анализ существующих способов стабилизации переменного напряжения показал, что феррорезонансные и тиристорные СПН для дальнейшего совершенствования практически бесперспективны.

Во второй главе рассматривается новый способ стабилизации переменного напряжения, основанный на применении высокочастотной коммутации в силовой цепи. В общем случае стабилизатор, реализующий данный способ представляет собой преобразователь напряжения, содержащий силовой ключ, к выходу которого подключён интегрирующий фильтр с двухполярным рекуперирующим устройством на входе. Суть предложенного способа сводится к тому, что сетевое напряжение подаётся на нагрузку не непрерывно, как в линейных стабилизаторах и не частями полупериода сетевого напряжения, как в тиристорных стабилизаторах с фазовым регулированием и естественной коммутацией, а в виде высокочастотных вырезов сетевого напряжения с синусоидальной огибающей, частота которых в 80 + 100 раз превышает частоту сети (рис. 4, в). Затем при помощи интегрирующего фильтра с двухполярным рекуперирующим устройством на входе высокочастотное модулированное напряжение преобразуется в синусоидальное и прикладывается к нагрузке. Изменяя скважность импульсов сило-

вого ключа, можно регулировать выходное напряжение стабилизатора в широких пределах или поддерживать его постоянным.

Силовые ключи таких СПН обычно выполняются в виде диодного моста, в диагональ постоянного тока которого включён транзистор, а диагональ переменного ~~тока~~ через интегрирующий фильтр и нагрузку подключена к сети (рис.1). Рекуперирующее устройство устанавливается между интегрирующим фильтром и силовым ключом и предназначено для возврата накопленной во время импульса в дросселе фильтра энергии в нагрузку и может быть выполнено в виде двух встречно-параллельно соединённых тиристоров со схемой синхронизации или диодного моста, в диагональ постоянного тока которого включён транзистор.

Интегрирующий фильтр в простейшем случае состоит из последовательного соединения дросселя L и конденсатора C , параллельно которому подключена нагрузка и предназначен для восстановления формы выходного напряжения из высокочастотных вырезов сетевого напряжения с синусоидальной огибающей. Некоторые схемы силовых цепей СПН с непосредственной связью, а также их регулировочные характеристики показаны на рис. 2,3.

Показано, что применение высокочастотной коммутации в силовой цепи позволяет проектировать стабилизаторы в высоком качестве выходного напряжения, т.е. форма выходного напряжения может как угодно близко приближаться к синусоидальной. Величина напряжения на нагрузке приближённо может быть определена по формуле

$$U_{\text{вых.}} = \gamma U_{\text{вх.}} \cdot \sin \omega t \quad (I)$$

где $\gamma = \frac{\tau_a}{T}$ —скважность импульсов силового ключа;

T —период коммутации;

U —амплитудное значение питающего напряжения.

Из формулы (I) видно, что выходное напряжение СПН с высокочастотной коммутацией в силовой цепи является синусоидальным напряжением, величина которого отличается от величины сетевого напряжения на коэффициент γ , который характеризует глубину регулирования стабилизатора.

Приведена классификация различных видов силовых цепей СПН с высокочастотной коммутацией.

Предложенный в работе способ стабилизации переменного напряжения позволяет получить принципиально новый эффект в работе

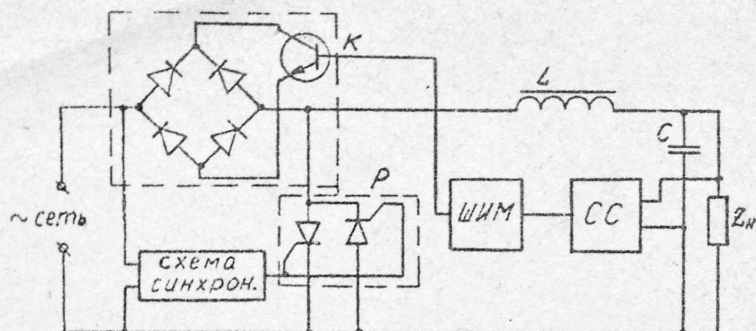


Рис.1 Структурная схема СПН с высокочастотной коммутацией в силовой цепи.

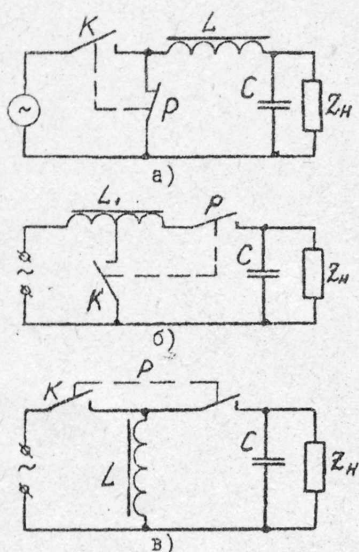


Рис.2 Силовые цепи СПН с непосредственной связью

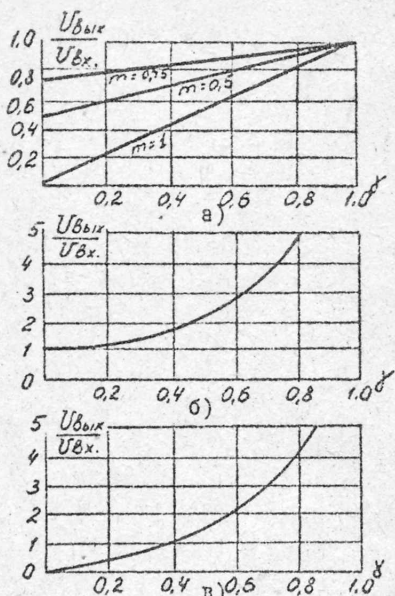


Рис.3. Регулировочные характеристики СПН с непосредственной связью

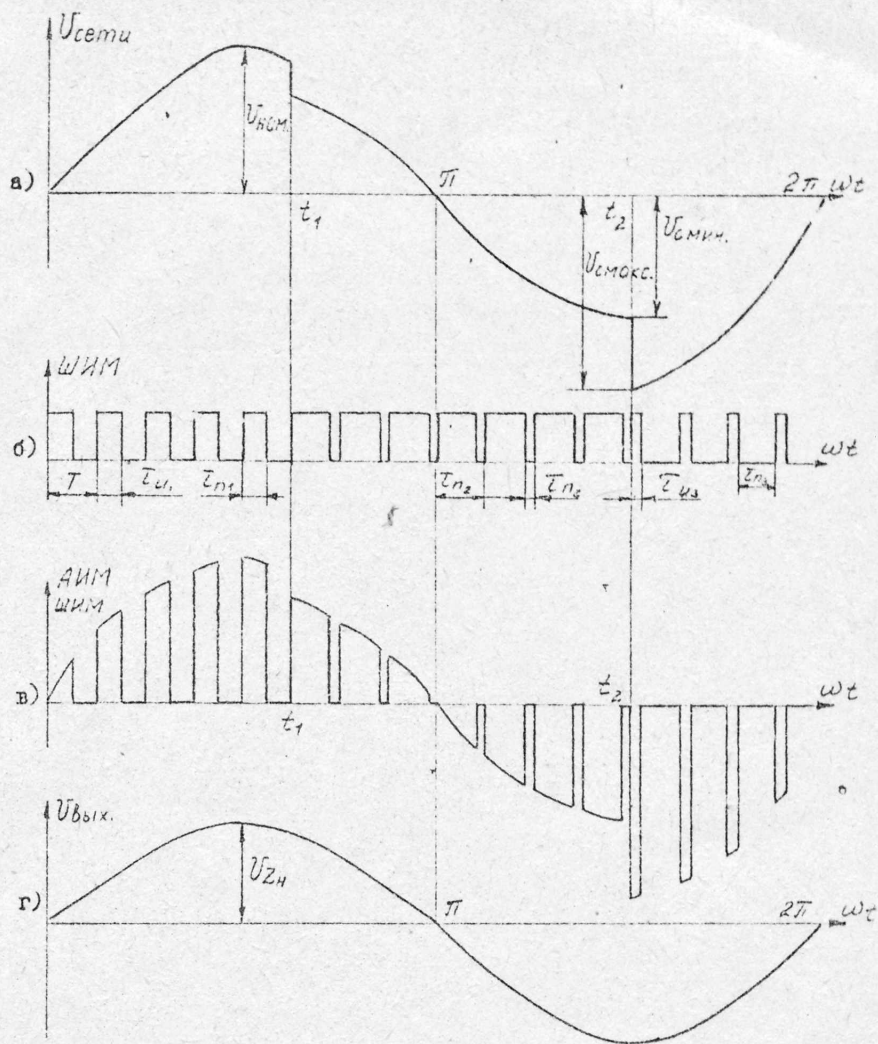


Рис. 4, Временные диаграммы работы СПН.

СПН - исправление формы выходного напряжения при искажении в питающей сети. Осуществить исправление формы питающего напряжения можно при помощи СПН с высокочастотной коммутацией в силовой цепи, в качестве источника опорного напряжения, в котором использован высокостабильный генератор синусоидального напряжения, частота которого равна частоте сети и жёстко синхронизирована с ней. Рассмотрены особенности построения стабилизаторов со звеном постоянного тока с "вольтодобавкой", высокочастотным преобразованием, а также трёхфазных СПН.

Методом дискретного Z - преобразования в третьей главе произведён анализ электромагнитных процессов в силовой цепи стабилизатора. Для этого СПН рассмотрен как разомкнутая импульсная система автоматического регулирования, передаточная функция приведённой непрерывной части которой равна

$$W(z, \varepsilon) = \frac{\bar{K}_\Phi}{\bar{\omega}_0} \left\{ \frac{1}{\bar{\omega}_0} - \frac{e^{j\varphi}}{2j\bar{\omega}_0} \left[\frac{z - e^{B(\varepsilon-1) + j\omega_1(\varepsilon-1)}}{z - e^{-B + j\omega_1}} \cdot e^{\varepsilon(-B + j\omega_1)} + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{e^{-j\varphi}}{2j\bar{\omega}_0} \cdot \frac{z - e^{(-B - j\omega_1)(\varepsilon-1)}}{z - e^{-B + j\omega_1}} \cdot e^{\varepsilon(-B - j\omega_1)} \right] \right\} \quad 0 \leq \varepsilon \leq \gamma \\ W(z, \varepsilon) = \frac{\bar{K}_\Phi}{2j\bar{\omega}_0 \bar{\omega}_0} \left[\frac{e^{-j\varphi} z (e^{(-B - j\omega_1)\gamma} - 1)}{z - e^{-B + j\omega_1}} \cdot e^{(-B - j\omega_1)(\varepsilon-1)} - \right. \\ \left. - \frac{z e^{j\varphi} (e^{(-B + j\omega_1)\gamma} - 1)}{z - e^{(-B + j\omega_1)}} \cdot e^{(-B + j\omega_1)(\varepsilon-1)} \right] \quad \gamma \leq \varepsilon \leq 1$$

где: $\varepsilon = \frac{\Delta t}{T}$ - относительное время, изменяющееся в интервале от 0 до 1;

Δt - время, отсчитываемое от начала каждого импульса.

$$B = \frac{R_2 R_H C + L}{2 R_H C L} \cdot T; \quad \bar{\omega}_0^2 = \frac{R_H + R_2}{L C R_H} \cdot T; \quad \omega_1 = \sqrt{\bar{\omega}_0^2 + B^2}$$

$$\varphi_1 = \arctg \frac{\bar{\omega}_0}{B}; \quad \bar{K}_\Phi = \frac{R_H}{R_H + R_2} \cdot T^2;$$

Учитывая, что линейная непрерывная часть СПН подвергается одновременному воздействию амплитудно-импульсной (АИМ) и широтно-импульсной (ШИМ) модуляции, и предполагая, что глубина ШИМ изменяется незначительно, получена формула для определения величины выходного напряжения СПН.

$$U_n[n, \epsilon] = \frac{K_{\Phi} U}{\omega_0^2} \left[1 - 2 \frac{\bar{\omega}_0}{\bar{\omega}_1} \frac{e^{-\beta_1 \epsilon}}{A} \cdot \sin(\bar{\omega}_1 \epsilon + \varphi_1) \right] e^{j\omega_n n + \varphi} \quad (3)$$

где

$$A = \sqrt{1 + 2e^{-\beta_1} \cos \bar{\omega}_1 + e^{-2\beta_1}}$$

Формула (3) устанавливает соответствие между параметрами линейной части СПН, параметрами сети и нагрузки. Для фиксированного значения ϵ решётчатая функция $U_n[n, \epsilon]$ соответствует дискретным значениям процесса в моменты $\bar{t} = n + \epsilon$. При изменении ϵ от 0 до 1 формула описывает процессы в СПН при любом $\bar{t} = n + \epsilon$.

Получены формулы для определения среднего и действующего значений выходного напряжения СПН, а также коэффициентов искажения, формы, амплитуды и сдвига при работе СПН на активную нагрузку.

Устойчивость СПН исследована при помощи алгебраического аналога критерия Гурвица, который позволяет анализировать устойчивость импульсной системы автоматического регулирования по характеристическому уравнению замкнутой системы, используя билинейное преобразование. Получено аналитическое выражение критического коэффициента усиления при котором стабилизатор будет устойчив.

$$K_{кр} = \frac{4(\tau_1^2 \tau_2^2) \{ [2\tau_3^3(\tau_1 - \tau_2) - 1] e^{-(\beta_1 + \beta_2 + \beta_3)} + e^{-\beta_1} + e^{-\beta_2} + e^{-\beta_3} \}}{K_{\Phi} (e^{-\beta_1} - e^{-\beta_2}) \{ (e^{-\beta_1} + e^{-\beta_2}) (\tau_2^2 \tau_3^3) \cdot (\tau_1 - \tau_2) \cdot e^{-(\beta_1 + \beta_2)} \}} \quad (4)$$

где

$$\tau_1 = \frac{R_H R_2 C}{R_H + R_2}; \quad \tau_2 = \frac{L}{R_2}; \quad \tau_3 = R_1 C_1;$$

$$\beta_1 = \frac{T}{\tau_1}; \quad \beta_2 = \frac{T}{\tau_2}; \quad \beta_3 = \frac{T}{\tau_3};$$

T_1 — период коммутации ключа в цепи обратной связи.

При помощи плоскости Д-разбиений определена область устойчивой работы СПН.

Предложен способ повышения устойчивости СПН, основанный на том, что в цепь обратной связи стабилизатора введён контур автоматической регулировки усиления. Данный способ позволяет

устранять автоколебания независимо от их характера, частоты и причины возникновения.

Определена статическая неустойчивость выходного напряжения СПН при воздействии различных дестабилизирующих факторов.

Проведённый в четвёртой главе анализ спектрального состава выходного напряжения СПН показал, что при повышении частоты коммутации в силовой цепи СПН качество выходного напряжения и потребляемого тока улучшается. Однако повышение частоты коммутации вызывает значительное (особенно для тиристорных ключей) повышение потерь на переключение, что приводит к ухудшению КПД и объёмно-массовых характеристик стабилизаторов. Правильно спроектированный стабилизатор должен удовлетворять двум противоречивым требованиям: с одной стороны, для повышения качества выходного напряжения и потребляемого тока, частоту коммутации надо повышать. С другой стороны, повышение частоты коммутации ведёт к ухудшению КПД.

Зависимости изменения коэффициента формы и КПД от частоты в общем случае являются величинами нелинейными, однако, с достаточной для инженерных расчётов точностью на интересующем участке изменение коэффициента формы выходного напряжения и КПД в зависимости от изменения частоты коммутации могут быть аппроксимированы формулами

$$K_f = K_1 \cdot f \cdot \beta_1; \quad (5)$$

$$\eta = -K_2 \cdot f \cdot \beta_2; \quad (6)$$

где

$$K_1 = 16C; \quad \beta_1 = \frac{\sqrt{2} \cdot U_n}{16LC};$$

$$K_2 = \frac{U_{вых} \cdot I_k \cdot U_{кн} \cdot \gamma}{U_{к2} (1,3 T_0 + 2,5 \frac{1}{f_k})};$$

$$\beta_2 = \frac{P_n U_{к2} (1,3 T_0 + 2,5 \frac{1}{f_k})}{I_k U_{кн} \gamma};$$

Показано, что выбор оптимальной частоты коммутации может быть осуществлён непосредственно по коэффициентам аппроксимированных уравнений, определяющих зависимость изменения КПД и коэффициента формы выходного напряжения от частоты коммутации.

$$f_{опт.} = \frac{K_1 \beta_2 - K_2 \beta_1}{2 K_1 K_2} \quad (7)$$

Предложен алгоритм выбора оптимальной частоты коммутации силового ключа для случая, когда зависимость КПД или КФ стаби-

лизатора от частоты коммутации имеет явно выраженный нелинейный характер. Рассмотрены основные способы улучшения качества выходного напряжения СПН, произведена их классификация.

Рассмотрены вопросы электрической защиты и особенности построения схем управления СПН. На основе разработанной методики и аппаратуры для статических и динамических испытаний в пятой главе проведено исследование различных видов СПН с высокочастотной коммутацией в силовой цепи.

Исследование проведено с целью сравнения теоретических данных, полученных в результате расчёта по приведённым в работе формулам и по программам анализа на ЭВМ, с экспериментальными.

Экспериментально подтверждены:

возможность получения высокого качества выходного напряжения (коэффициент несинусоидальности составляет $1 + 1,5\%$) при высоком ($92 + 96\%$) КПД стабилизатора;

возможность получения принципиально нового эффекта в работе СПН — исправления формы выходного напряжения при искажениях в питающей сети;

высокая эффективность применения автоматической регулировки усиления в цепи обратной связи для повышения устойчивости СПН.

Представлены результаты экспериментального исследования влияния способа модуляции на качество выходного напряжения и потребляемого тока. Показано, что при прочих равных условиях качество выходного напряжения при широтно-импульсной модуляции выше, чем при частотно-импульсной.

Исследованы регулировочные характеристики и динамические параметры различных видов СПН с высокочастотной коммутацией в силовой цепи.

Проведён анализ различных способов стабилизации переменного напряжения, который показал, что применение метода высокочастотной коммутации в силовой цепи позволяет увеличить КПД на $15 + 20\%$, уменьшить массу стабилизатора в зависимости от структуры силовой цепи в $7 + 20$ раз, уменьшить объём в $5 + 40$ раз по сравнению с наиболее распространёнными способами стабилизации с удовлетворительным качеством выходного напряжения.

В приложениях приведены:

1. Методика инженерного расчёта СПН с различной конфигурацией силовой цепи.

2. Программы и результаты расчётов статических и динамических

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При решении поставленных в работе задач были выполнены нижеприведённые исследования и получены следующие основные результаты:

1. Проведён анализ и дана оценка наиболее распространённых способов стабилизации переменного напряжения с целью изыскания путей существенного повышения качества выходного напряжения и энергетических параметров СПН. Показано, что наиболее распространённые в настоящее время феррорезонансные, магнитные и тиристорные стабилизаторы имеют низкое качество выходного напряжения и потребляемого тока, плохой коэффициент мощности, а также неудовлетворительные объёмно-массовые характеристики и плохие динамические свойства. Многие возможности совершенствования таких стабилизаторов уже исчерпаны, и повышение качества выходного напряжения и потребляемого тока на их основе практически невозможно.

2. Разработан принципиально новый класс преобразовательных устройств - СПН с высокочастотной коммутацией в силовой цепи. Такие стабилизаторы позволяют без применения специальных мер получить минимальные искажения формы выходного напряжения (коэффициент несинусоидальности составляет $1 + 1,5$ процента) при удовлетворительных объёмно-массовых характеристиках и высоком КПД - $92 + 96\%$.

Разработаны практические схемы силовых цепей с высокочастотной коммутацией в силовой цепи, 23 из которых защищены авторскими свидетельствами. Рассмотрены особенности построения СПН со звеном постоянного тока. Показано, что способ высокочастотной коммутации в силовой цепи позволяет реализовать принципиально новый эффект в работе СПН - исправление формы выходного напряжения при искажениях в питающей сети. Рассмотрены особенности проектирования трёхфазных СПН.

3. Исследованы электромагнитные процессы в силовой цепи СПН. С помощью дискретного Z - преобразования получены выражения в общем виде для мгновенных значений, а также интегральных характеристик выходных параметров стабилизаторов.

4. Произведено теоретическое исследование устойчивости СПН с высокочастотной коммутацией в силовой цепи. Получено анали-

тическое выражение для определения критического коэффициента усиления СПН.

5. Предложен способ повышения устойчивости СПН, основанный на том, что в цепь обратной связи стабилизатора введён контур автоматической регулировки усиления. Это позволяет устранять автоколебания независимо от характера, частоты и причин их возникновения.

6. Предложен метод оптимизации частоты коммутации силового ключа, основанный на исследовании коэффициентов аппроксимированных уравнений, определяющих зависимость изменения КПД и коэффициента формы выходного напряжения от частоты коммутации высокочастотного силового ключа.

7. Рассмотрены вопросы защиты элементов СПН при коротком замыкании в нагрузке, а также защиты нагрузки от превышения или понижения напряжения на выходе стабилизатора.

8. На основании теоретических исследований разработана методика инженерного расчета основных параметров СПН, по которой были спроектированы и экспериментально исследованы макеты стабилизаторов.

9. Экспериментальная проверка подтвердила правильность анализа, методики расчета основных параметров СПН, а также теоретического исследования устойчивости.

10. На основании теоретических и экспериментальных исследований разработаны экономичные и надежные СПН с высоким качеством выходного напряжения, используемые для питания электронных систем, внедренных на предприятиях Москвы, Калуги, Саранска.

Стабилизаторы переменного напряжения, принципы их построения и методы реализации, рассмотренные в диссертации, могут быть использованы для разработки высокоэффективных экономичных источников питания для электронной аппаратуры, систем передачи данных, а также установок различных технологических процессов.

Таким образом, исследования и результаты, полученные в диссертационной работе, дополняя общую теорию преобразования параметров электроэнергии, создают достаточную теоретическую базу для инженерных расчетов высокоэффективных стабилизаторов переменного напряжения.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНЫ

В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ :

1. Рейнеке И.А., Тимченко Н.М. Об одном методе стабилизации переменного напряжения. М.Труды МВТУ №220. Приборы и устройства автоматики и телемеханики. 1976.

А.Анисимов В.И., Рейнеке И.А., Тимченко Н.М. Стабилизатор переменного напряжения с вольтодобавочным устройством. В кн. Современные задачи преобразовательной техники. Киев. ИЭД АН УССР 1975. Вып.3.

3.Анисимов В.И., Рейнеке И.А., Тимченко Н.М. Ключевой стабилизатор переменного напряжения. В кн.Перспективы совершенствования систем и устройств вторичных источников электропитания РЭА. М.МДНТИ им. Ф.Э.Дзержинского 1976.

4.Анисимов В.И., Рейнеке И.А., Тимченко Н.М. Схема защиты стабилизатора. В кн. Перспективы совершенствования систем и устройств вторичных источников электропитания РЭА.М. МДНТИ им. Ф.Э.Дзержинского 1976.

5.Рейнеке И.А., Тимченко Н.М., Богданов В.И. Об одной задаче оптимизации стабилизаторов напряжения. У научно-техническая конференция, посвящённая 60-летию Великой Октябрьской Социалистической революции. Тезисы доклада. Калуга 1977.

6.А.С. №357556 СССР. Стабилизатор напряжения переменного тока/ Авт. изобрет. Тимченко Н.М.-Заявл. 04.01.71 №1842549/24-7, Оpubл. в Б.И. 1972, №33.

7.А.С.№452813 СССР. Устройство стабилизации переменного напряжения/ Авт. изобрете Н.М.Тимченко, В.И.Жуков -Заявл. 24.03.73. №1943456/24-7 Оpubл. в Б.И. 1974, №45.

8.А.С.№449338 СССР. Импульсный стабилизатор переменного напряжения/ Авт. изобрет. Н.М.Тимченко, В.И.Жуков - заявл. 03.02.73. №1962561/24-7. Оpubл. в Б.И. 1974, №42.

9.А.С.№448451 СССР. Устройство защиты стабилизатора/ Авт.изобрет. Н.М.Тимченко, Ю.А.Васильев - Заявл. 14.03.73. №1942132/24-7. Оpubл. в Б.И. 1975, №28.

10.А.С.№448577 СССР Формирователь импульсов/ Авт. изобрет. Н.М.Тимченко - Заявл. 14.03.73 №1942316/24-7. Оpubл. в Б.И. 1975 №40

11.А.С.№457979 СССР. Стабилизатор переменного напряжения/ Авт. изобрет. Н.М.Тимченко, В.И.Жуков,- Заявл. 08.09.73.

№1938614/24-7. Оpubл. в Б.И. 1975, №3.

12. А.С.№468227 СССР. Стабилизатор напряжения переменного тока/ Авт. изобрет. Н.М.Тимченко, В.И.Жуков - Заявл. 02.07.73. №1938549/24-7. Оpubл. в Б.И. 1975, №15.

13. А.С.№472339 СССР. Импульсный стабилизатор переменного напряжения/ Авт. изобрет. Н.М.Тимченко, В.И.Жуков - Заявл. 10.05.73 №1917474/24-7. Оpubл. в Б.И. 1975, №20

14. А.С.№488197 СССР. Стабилизатор переменного напряжения/ Авт. изобрет. Н.М.Тимченко - Заявл. 26.02.73 №1887505/24-7 Оpubл. в Б.И. 1975, №38 .

15. А.С.№497566 СССР. Стабилизатор-ограничитель переменного напряжения/ Авт. изобрет. Н.М.Тимченко, В.И.Жуков - Заявл. 25.11.74 № 2077642/24-7 Оpubл. в Б.И. 1975 , №48

16. А.С. №498609 СССР. Импульсный стабилизатор переменного напряжения/ Авт. изобрет. В.И.Жуков, Н.М.Тимченко.- Заявл. 31.05.74 №2028913/24-7. Оpubл. в Б.И. 1976 №1.

17. А.С.№532853 СССР. Стабилизатор переменного напряжения/ Авт. изобрет. В.И.Жуков, Н.М.Тимченко.- Заявл. 04.05.75 №2130046/24-7. Оpubл. в Б.И. 1976 №39.

18. А.С.№499566 СССР. Стабилизатор переменного напряжения/ Авт. изобрет. Н.М.Тимченко - Заявл. 25.11.74 №2077642/24-7. Оpubл. в Б.И. 1975, №48.

19. А.С.№524783 СССР. Импульсный стабилизатор переменного напряжения/ Авт. изобрет. Н.М.Тимченко.- Заявл. 10.04.74. №2014280/07. Оpubл. в Б.И. 1976, №30.

20. А.С.№584289 СССР. Стабилизатор переменного напряжения/ Авт. изобрет. Н.М.Тимченко. - Заявл. 13.05.74 №2023197/07. Оpubл. в Б.И. 1977, №44.

21. А.С.№589597 СССР. Импульсный стабилизатор переменного напряжения/ Авт. изобрет. И.А. Рейнке, Н.М.Тимченко, В.И.Анисимов.- Заявл. 27.07.76. №2362514/07. Оpubл. в Б.И.1978, №2.

22. А.С.№571797 СССР. Стабилизатор напряжения/ Авт. изобрет. Н.М.Тимченко - Заявл. 06.07.76. №2355849/07 Оpubл. в Б.И.1977 №33.

23. А.С.№586436 СССР. Трёхфазный стабилизатор переменного напряжения/ Авт. изобрет. Н.М.Тимченко.- Заявл. 06.05.76. №2355793/24-7. Оpubл. в Б.И. 1977, №48.

24. А.С.№602928 СССР. Стабилизатор-ограничитель переменного напряжения/ Авт. изобрет. Н.М.Тимченко.- Заявл. 28.09.73.

1961797/24-7. Оpubл. в Б.И. 1978, №14.

25.А.С.№650058 СССР. Импульсный стабилизатор переменного напряжения/ Авт. изобрет. Н.М.Тимченко.- Заявл. 05.03.75. №2111300/24-7 . Оpubл. в Б.И. 1979, №8..

26.А.С.№674002 СССР. Стабилизатор напряжения/ Авт. изобрет. Н.М.Тимченко.- Заявл. 16.05.77 №2487284/07. Оpubл. в Б.И. 1979, №26.

27.А.С.№672619 СССР. Стабилизатор переменного напряжения/ Авт. изобрет. С.С.Литовченко, Н.М.Тимченко.- Заявл. 12.01.77. №2354768/07. Оpubл. в Б.И. 1979, №4.

28.А.С.№742900 СССР. Стабилизатор напряжения/ Авт. изобрет. Н.М.Тимченко, В.И.Шпилёв.- Заявл. 05.03.78. №2599447. Оpubл. в Б.И. 1980, №23.