

На правах рукописи

Казьмин Григорий Павлович

**Системы электропитания ответственных
потребителей**

Специальность 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы, включая
их управление и регулирование

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2000

Работа выполнена на кафедре автоматики и компьютерных систем
Томского политехнического университета

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент А.Н. Барковский

Научный консультант:

кандидат технических наук, с.н.с. С.И. Королев

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Ю.А. Шурыгин

кандидат технических наук, доцент А.Б. Цукублин

Ведущая организация: ОАО Научно производственная фирма «Геофит» ВНК

Защита состоится 30 июня 2000 г. на заседании диссертационного Совета
К 063.80.01 в актовом зале главного корпуса Томского политехнического
университета по адресу: 634034, г.Томск, ул. Белинского, 53.

Автореферат разослан 20 мая 2000 г.

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

Алехин А.Е.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность данной работы определяется:

- отсутствием высокоэффективных методов расчёта надёжности систем бесперебойного электропитания при заданном времени перерыва, типе источника резервной энергии и качестве подводимой электрической энергии;

- отсутствием способов построения систем бесперебойного электропитания при использовании в качестве источника резервной энергии источников переменного тока;

- отсутствием высокоэффективных способов управления системами бесперебойного электропитания в аварийных режимах;

- отсутствием методов исследования качества регулирования выходного напряжения систем бесперебойного электропитания, основанных на параллельной работе как статических, так и электромеханических преобразователей электрической энергии.

Цель работы и задачи исследований.

Целью диссертационной работы является разработка способов построения систем бесперебойного электропитания потребителей переменного тока и устройств, методов их исследования и способов управления в аварийных режимах. Для достижения этой цели в работе ставятся и решаются следующие задачи.

1. Разработка классификации систем бесперебойного электропитания (СБЭП) с целью определения требований к СБЭП в зависимости от допустимого перерыва, типа резервного источника, надёжности и качества энергии на выходе.

2. Разработка способов бесперебойного электропитания и устройств для их осуществления.

3. Разработка системы ситуационного управления СБЭП в аварийных режимах.

4. Разработка способов управления СБЭП в аварийных режимах.

5. Исследование качества регулирования СБЭП на базе параллельно работающих статических преобразователей.

6. Разработка технических средств систем бесперебойного электропитания.

Работоспособность и эффективность предложенных методов и способов построения СБЭП подтверждается приведёнными в диссертационной работе актами внедрения.

Научную новизну полученных результатов работы определяют:

- предложенная классификация систем бесперебойного электропитания, позволяющая сформулировать требования к системам в зависимости от допустимого перерыва в электропитании, вида источника резервной энергии, требуемой надёжности и качества выходного напряжения;
- предложенный способ электропитания на базе магнитно-вентильных систем бесперебойного электропитания (А.С. № 1010697) [1];
- разработанные инженерные методики расчёта надёжности СБЭП, основанные на логико-вероятностном описании систем и теории марковских процессов;
- предложенные методы ситуационного управления аварийными процессами с использованием теории нечётких множеств и выбора класса управляющих воздействий на базе нечёткой логики и лингвистической переменной;
- предложенный способ управления системами электропитания в аварийных режимах (Патент РФ 2133542) [2].

Практическая ценность и реализация результатов работы.

1. Разработаны рекомендации по построению системы бесперебойного электропитания ответственных потребителей особой группы завода "Этилен " ОАО " ТНХК ".

2. Модернизирована система бесперебойного электропитания завода "Метанол " ОАО " ТНХК ".

3. Разработаны системы бесперебойного электропитания

специализированных комплексов систем связи на базе параллельно работающих преобразователей ПТС-8000-АЛТ 3.211.072;

преобразователей ПОС-4000 - АЛТ3.211.071 [21];

преобразователей ПОС-1700 - АЛТ 3.211.073 [20].

4. Разработан статический преобразователь ПОС-1000, предназначенный для питания аппаратуры при проведении экспериментальных исследований в процессе разработки комплексной скважинной аппаратуры и электронной техники для цифровой записи и обработки геофизической информации, получаемой при проведении промыслово-геофизических работ в Западной и Восточной Сибири.

5. Разработан статический преобразователь ТТС-1500 [19,22], предназначенный для проведения испытаний многоскоростных прецизионных электродвигателей типа ДСП.

6. Разработан способ электропитания многофазных потребителей переменного тока и устройство для его осуществления (А.С. СССР 1010697) [1].

7. Разработан способ управления системой бесперебойного электропитания в аварийных режимах (Патент РФ 2133542) [2].

8. Разработан источник электропитания с кратковременным резервированием (А.С. СССР 826499, А.С. СССР 811409) [3,6].

9. Разработан способ управления статическим преобразователем (А.С. 964954) [4] .

10. Разработано устройство управления стойкой инвертора (А.С. 1737682) [5].

11. Разработаны инженерные методики расчета надёжности систем бесперебойного электропитания.

12. Полученные результаты исследований по созданию систем ситуационного управления системами бесперебойного электропитания в аварийных режимах использованы при разработке систем управления,

позволяющих предупредить возникновение аварийных ситуаций и ликвидировать предельные режимы в работе оборудования СЭП.

13. Результаты исследований по влиянию параметров системы регулирования СБЭП, содержащей параллельно работающие преобразователи, на качество процесса регулирования выходного напряжения системы использованы для получения допустимых значений управляющих воздействий в ситуационной системе управления аварийными режимами СБЭП ответственных потребителей.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на XXIII Научно-технической конференции «Электронные и полупроводниковые преобразователи энергии, технической и биологической информации» (г. Томск, 1979г.), на пятой Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: экология, надёжность, безопасность» (г. Томск, 1999 г.), на Международной научно-технической конференции «Научные основы высоких технологий» (г. Новосибирск, 1997 г.). Новизна технических решений подтверждается пятью авторскими свидетельствами на изобретения и патентом. По результатам исследований опубликовано 16 работ.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы, включающей 96 наименований, и приложения. Работа изложена на 171 странице и поясняется 39 рисунками и 3 таблицами.

Основные положения, выносимые автором на защиту.

1. Разработанные способы электропитания потребителей переменного тока, позволяющие обеспечить минимальные искажения качества электрической энергии путём использования достаточно простых и высоконадёжных магнитно-вентильных систем бесперебойного электропитания.

2. Инженерные методы расчета надежности систем бесперебойного электропитания, основанные на логико-вероятностном описании надёжных структур СБЭП и теории марковских процессов.

3. Методы ситуационного управления, основанные на базе теории нечетких множеств и лингвистической переменной, позволяющие высокоэффективно управлять системами бесперебойного электропитания в аварийных режимах.

4. Разработанный способ управления системой бесперебойного электропитания в аварийных режимах, позволяющий эффективно производить реконфигурацию системы электропитания при возникновении аварийной ситуации, что предотвращает выход из строя оборудования и улучшает качество электропитания в аварийных режимах.

5. Математическое описание системы бесперебойного электропитания, содержащей параллельно работающие статические и электромеханические системы, выполненное с использованием методов идентификации характеристик систем, что позволяет определить эффективные управляющие воздействия в системе ситуационного управления в аварийных режимах при расчёте устойчивости системы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, отмечены научная новизна, практическая ценность и результаты реализации работы.

В первой главе приведены характеристики и разработанная классификация систем бесперебойного электропитания (СБЭП): а) с точки зрения способов резервирования систем, определяющих структуру СБЭП; б) с точки зрения способов и степени резервирования преобразователей, определяющих надёжность СБЭП; в) с точки зрения способов преобразования резервной энергии.

Приведённая классификация ориентирована на классические структуры

СБЭП, в которых используется промежуточное преобразование переменного напряжения в постоянное с последующим преобразованием постоянного напряжения в переменное. Подобное разделение общепринято для классификации, используемой ведущими производителями СБЭП (off-line, on-line, interactive-line).

В случае использования в качестве резервного источника резервной промышленной сети переменного тока, а также альтернативных источников - турбо-, паро-, газо-, дизель- и ветрогенераторов автором предложен новый способ построения СБЭП, исключаящий промежуточное преобразование электроэнергии. В этом случае с помощью многообмоточного трансформатора создаётся несколько систем переменного тока резервной сети и с помощью системы управления определяется минимальное фазовое отклонение напряжений основной и резервной сетей и, при исчезновении напряжения основной сети или отклонении её параметров за пределы допустимых, происходит переключение потребителей на ту систему напряжений резервной сети, которая имеет наименьший фазовый сдвиг по отношению к системе напряжений основной сети (рис.1).

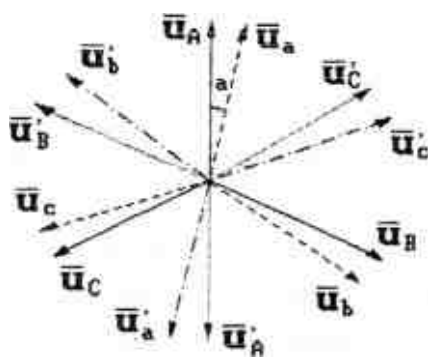


Рис.1

Разработанный класс магнитно-вентильных СБЭП, отличающийся отсутствием промежуточного преобразования, имеющий более высокую надёжность и высокое качество переходных и установившихся процессов на выходе СБЭП получил дальнейшее развитие в работах института НИИ АЭМ

при ТУСУРе.

В первой главе также предложены способы построения центров бесперебойного электропитания, использующие модульный принцип построения типовых структур статических и электромеханических систем бесперебойного электропитания.

Во второй главе рассмотрены вопросы анализа надёжности различных структур СБЭП, базирующиеся на логико-вероятностных методах описания работы СБЭП, заключающихся в отображении надёжностной топологии анализируемой системы в виде структурной схемы, на которой показаны блоки и связи между блоками.

На примере СБЭП, структурная электрическая схема которой известна, рассмотрен метод оценки структурной надёжности, основанный на принципах логико-вероятностного описания системы по условиям её безотказной работы. Приводятся системы дифференциальных уравнений, определяющие состояния системы с точки зрения надёжности. При этом переход из одного состояния в другое задаётся матрицей вероятностного перехода Λ .

Рассмотрены вопросы анализа надёжности сложных систем. При этом предложены методы анализа надёжности систем на основе вероятностных процессов, описываемых с помощью цепей Маркова.

Процесс расчета надёжности состоит из последовательно выполняемых процедур.

1. Построение надёжностной блок-схемы (НБС) системы электропитания и её декомпозиция на "подсхемы" с ограниченным числом блоков.
2. Логическое описание НБС с использованием булевых функций.
3. Составление карты Карно для функции надёжности в соответствии с НБС.
4. Получение аналитических выражений для расчета надёжности в соответствии с правилами булевой алгебры.
5. Количественная оценка надёжности системы как вероятности безотказной работы СБЭП.

Показатели надёжности СБЭП определяются на основе теории марковских процессов в следующем порядке:

- определяется вектор состояния системы;
- составляется векторно-матричное уравнение вида

$$\frac{dP(t)}{dt} = \Lambda P,$$

в котором матрица Λ определяет вероятностные связи между состояниями;

- находятся составляющие вектора $P(t)$, т.е. решается система дифференциальных уравнений.

При анализе системы в статическом режиме система дифференциальных уравнений переходит в систему алгебраических уравнений для предельных вероятностей состояний, которая может быть решена любым известным способом. По найденным предельным вероятностям находятся требуемые надёжностные характеристики системы.

В третьей главе рассмотрены принципы построения систем ситуационного управления аварийными режимами, обладающих свойствами адаптации к возникающим в системе аварийным ситуациям. Подобные системы управления аварийными режимами на основе оперативной информации о состоянии СЭП для каждого момента времени проводят оценку аварийной ситуации, исходя из условий обеспечения устойчивости и надёжности.

При синтезе системы ситуационного управления аварийными режимами (ССУАР) СЭП обеспечивается компромисс между желаемым качеством процесса управления и сложностью системы управления. При этом решаются следующие задачи:

- распознавание аварийных режимов в СЭП с позиции устойчивости, типа аварии, тяжести и места её возникновения в системе, исходя из схемно-режимного многообразия работы системы;
- определение основных регулирующих устройств СЭП и оптимальных управляющих воздействий, соответствующих множеству аварийных ситуаций

СЭП и удовлетворяющих критериям максимальной степени устойчивости СЭП и заданному качеству переходных процессов;

- разбиение множества ситуаций на классы толерантности и установление изоморфизма между множеством микроситуаций и множеством управляющих воздействий.

На основе обучающей выборки пространство фиксируемых измеряемых параметров делится на область устойчивых и неустойчивых состояний разделяющей функцией вида

$$E(X) = (X_{A1} - X_{A2})^T X - 0,5\{|X_{A1}|^2 - |X_{A2}|^2\},$$

где: X_{A1} - вектор-эталон класса A_1 , X_{A2} - вектор-эталон класса A_2

X - вектор текущего состояния.

Решение принимается по правилу

$$E(X) = \begin{cases} >0, \text{ то } X \in A_1 \\ \leq 0, \text{ то } X \in A_2 \end{cases}$$

Вероятность принадлежности к классам толерантности определяется по правилу Байеса

$$L = \frac{p(X/A_1)}{p(X/A_2)} = \frac{C_{A2}P(A_2)}{C_{A1}P(A_1)},$$

где: $P(A_1)$, $P(A_2)$ - вероятности классов A_1 и A_2 ,

$p(X/A_1)$ $p(X/A_2)$ - плотности вероятностей значения X для классов A_1 и A_2 ,
 C_{A1} и C_{A2} - цены принятия ошибочного решения отнесения к классам A_1 и A_2 , соответственно, отражают разницу потерь от ошибок типа "пропуск цели" или "ложная тревога",

L - отношение правдоподобия.

Определение дозировок управляющих функций заключается в решении

задач оптимального управления с применяемыми для этой цели методами (вариационное исчисление, принцип максимума, динамическое программирование и др.). Другой способ основан на методах планирования экстремального эксперимента с минимизацией дозировок управляющих воздействий, обеспечивающих устойчивость, оцениваемую методом функций Ляпунова или же оптимизацией показателя качества переходного процесса, вычисленного по результатам численного интегрирования дифференциальных уравнений, описывающих переходный процесс.

Установление соответствия между классами состояний и классами управляющих воздействий включает задачу накопления системой управления знаний о функционировании и способах управления системой, что предполагает разработку модели принятия решения по выбору вида и места приложения управляющих воздействий в СЭП.

Модели принятия решений строятся с использованием предикатной формы представления знаний. При этом используется реляционный язык, близкий к естественному, что предполагает построение моделей принятия решений на основе аппарата нечетких множеств и лингвистической переменной.

Разбиение на подмножества (классы) выполняется по различным критериям (признакам), среди которых, прежде всего, выделены следующие:

- устойчивость, близость режима к предельному, качественные показатели переходного процесса;
- место возникновения аварийной ситуации;
- место приложения необходимых для сохранения устойчивости воздействий;
- тип прилагаемых воздействий и т.д.

Режим работы (состояние) СЭП, который называем реализацией состояния объекта, представляется вектором режимных параметров (признаков) X_i , в пространстве управляющих воздействий.

Принадлежность реализации состояния какому-либо классу определяет функцию, ставящую в соответствие каждой реализации состояния СЭП число, характеризующее степень сходства с остальными реализациями, принадлежащими этому классу. В работе используются следующие принципы сходства:

- коэффициент подобия;
- коэффициент связи (корреляции);
- показатели расстояний в метрическом пространстве (обычное или взвешенное Евклидово расстояние, расстояние по Хеммингу, расстояние Махаланобиса, обобщенное расстояние на основе потенциальных функций).

Распознавание класса реализации состояния X_j производится на основе сравнения степени принадлежности состояния X_j классам A_i , где i - номер класса, а m - число классов.

Степень принадлежности соответствующим распознаваемым классам определяется:

- на основе использования экспертных оценок состояний по результатам расчетов переходных процессов и установившихся режимов системы;
- на основе использования обобщенных числовых характеристик состояния системы, таких как величины необходимых дозировок, запас по статической устойчивости в наиболее слабом сечении, обобщенный показатель качества переходного процесса в системе.

В работе определяется класс устойчивых (А) и класс неустойчивых (В) состояний.

При этом выражение разделяющей функции принимает вид

$$E(X_j) = C_A(1 - \mu_B(X_j)) - C_B\mu_B(X_j) \quad ,$$

где: C_A и C_B - цены ошибок распознавания первого и второго рода;
 $\mu_B(X_j)$ - степень принадлежности классу В реализации состояний.

При равенстве цен ошибок распознавания типа "пропуск цели" и "ложная тревога" разделяющая функция определится как

$$E(X_j) = (1 - 2\mu_B(X_j)) \times C$$

С учетом вышеизложенного был разработан способ управления системой бесперебойного электропитания с использованием принципов ситуационного управления (патент №2133542).

В четвёртой главе рассмотрены вопросы идентификации и анализа систем электропитания, как сложных динамических систем.

При исследовании систем электропитания потребителей переменного тока, выполненных на базе параллельно работающих преобразователей постоянного напряжения в переменное синусоидальное, использованы методы и способы, применяемые при исследовании электрических систем, построенных на базе электромашинных генераторов переменного тока.

Целью идентификации является определение вида и параметров передаточной функции, амплитудно-фазовых и переходных функций системы, состоящей из параллельно-работающих преобразователей. Результаты идентификации используются при решении различных задач СЭП: при расчёте устойчивости параллельной работы СЭП, при выборе уставок устройств защиты, при анализе и синтезе систем автоматического регулирования частоты и активной мощности, при оценке надёжности.

При анализе качества регулирования СЭП на базе параллельно-работающих преобразователей ПТС-8000 определено влияние коэффициента усиления контуров регулирования на устойчивость работы как одиночных статических преобразователей (СП), так и СЭП, состоящих из двух СП. Оценено также влияние постоянных времени регулятора на устойчивость СЭП при изменении параметров нагрузки в широких пределах.

Полученные передаточные функции СЭП позволяют определить совокупность управляющих воздействий в ситуационной системе управления аварийными режимами СЭП ответственных потребителей.

Основные результаты работы.

1. Предложена классификация систем бесперебойного электропитания ответственных потребителей, позволяющая сформулировать требования к системам в зависимости от допустимого перерыва в электропитании, требуемой надёжности, типа источника резервной энергии и качества электрической энергии в установившемся и переходном режимах.
2. Предложен способ бесперебойного электропитания потребителей переменного тока и устройство для его осуществления при использовании в качестве источника резервной энергии резервной промышленной сети, дизель-, паро-, турбо- или ветрогенератора [1].
3. Предложены инженерные методики расчета надёжности систем бесперебойного электропитания, основанные на логических методах описания систем, исследуемых на надёжность с использованием аппарата булевых функций и видоизменённого метода минимизации булевых функций с помощью карт Карно, а также с применением теории марковских процессов для определения показателей надёжности систем бесперебойного электропитания с представлением переходов системы из состояния в состояние с помощью графов, дуг и переходов.
4. Разработаны основы ситуационного управления аварийными режимами систем электропитания ответственных потребителей с использованием аппарата распознавания образов и теории нечетких множеств для описания и анализа аварийных ситуаций. Разработаны модели принятия решений при выборе класса управляющих воздействий с использованием нечёткой логики.

5. Предложен способ управления системами бесперебойного электропитания в аварийных режимах, позволяющий предупредить возникновения аварийных ситуаций и ликвидировать предельные режимы в работе оборудования [2].

6. Проведена идентификация систем электропитания содержащих параллельно работающие статические и электромеханические преобразователи. Проведена оценка качества регулирования выходного напряжения систем электропитания на базе параллельно работающих статических преобразователей, что позволило определить допустимые значения управляющих воздействий в ситуационной системе управления аварийными режимами систем электропитания.

7. Разработаны технические средства и системы бесперебойного электропитания ответственных потребителей [3-8,19-22].

Основные результаты проверялись на образцах систем электропитания на базе преобразователей ПТС-8000, ПОС-4000, ПОС-1700, ТТС-1500, ПОС1000, а также в системе бесперебойного электропитания на заводе "Метанол" ОАО "ТНХК" .

Публикации по теме диссертации

1. А.С. 1010697 (СССР). Способ электропитания многофазных потребителей переменного тока и устройство для его осуществления. / Ю.А. Мордвинов, С.И. Королев, Г.П. Казьмин. Оpubл. в Б.И. 1983, №13.

2. Патент РФ № 2133542. Способ управления системой бесперебойного электропитания в аварийных режимах. / А.Н. Барковский, Г.П. Казьмин, С.И. Королев, А. А. Молдован . Оpubл. в Б.И. 1999, № 20.

3. А.С. №826499 (СССР). Источник электропитания с кратковременным резервированием. / Г.П. Казьмин, С.И. Королев, Ю.А. Мордвинов. Оpubл. в Б.И. 1981, №16.

4. А.С. № 964954 (СССР) Способ управления статическим преобразователем. /Г.П. Казьмин, С.И. Королев, Ю.А. Мордвинов. Оpubл. в Б.И. 1982, №37.

5. А.С. № 1737682 (СССР) Устройство для управления стойкой инвертора. /

Г.П. Казьмин, Ф.В. Токач, В.И. Авдзейко. Оpubл. в Б.И. 1992, №4.

6. А.С. № 811409 (СССР) Источник электропитания потребителя с кратковременным резервированием. /Г.П. Казьмин, С.И. Королёв, Ю.А. Мордвинов, О.В. Миняев. Оpubл. в Б.И. 1981, №9.

7. Гусельников А.В., Казьмин Г.П., Королёв С.И. и др. Разработка системы бесперебойного электропитания для компьютеров и компьютерных систем. Научно-технический абонированный отчет 99-64, 03.03.1999г. 214 с. Институт сотовой связи, г. Москва.

8. Кудин А.В., Казьмин Г.П., Гусельников А.В. и др. Исследование систем бесперебойного электропитания для подвижной сухопутной связи. Научно-технический абонированный отчет 99-83.14.06.1999г. 170 с. Институт сотовой связи, г. Москва,

9. Казьмин Г.П., Королёв С.И., Мордвинов Ю.А. и др. Разработка и исследование статических преобразователей с промежуточным звеном повышенной частоты. Научно-технический отчет. № Гос. регистрации 79045440 Томск 1980 г. 247с.

10. Казьмин Г.П., Королёв С.И., Гусельников А.В. Системы бесперебойного электропитания ответственных потребителей. Материалы докладов пятой Всероссийской НТК "Энергетика: экология, надежность, безопасность". Томск: Изд-во ТПУ, 1999. с.49-50.

11. Гусельников А.В., Королёв С.И., Казьмин Г.П.. Магнитно-вентильные системы бесперебойного электропитания потребителей переменного тока. Статья в журнале "Метрология и измерительная техника в связи", г. Москва, 2000г. (в печати).

12. Казьмин Г.П., Королёв С.И., Собакин Е.Л.. Оценка структурной надежности технических систем. //Статья в журнале "Метрология и измерительная техника в связи", г. Москва, 2000г. (в печати).

13. Казьмин Г.П., Барковский А.Н., Гусельников А.В., Пестов С.И. Исследование надежности систем бесперебойного электропитания с применением теории Марковских процессов. // Материалы пятой Всеро-

сийской НТК "Энергетика: экология, надежность, безопасность." Томск: Изд-во ТПУ, 1999, с.261-262.

14. Казьмин Г.П., Гусельников А.В., Пестов С.И.. Методика оценки структурной надежности систем бесперебойного электропитания ответственных потребителей. Материалы докладов пятой Всероссийской научно-технической конференции "Энергетика: экология, надежность, безопасность". Томск: Изд-во ТПУ, 1999, с. 41-42.

15. Казьмин Г.П., Барковский А.Н. Применение Е-сетей для анализа надежности систем бесперебойного электропитания. // Материалы докладов пятой Всероссийской НТК "Энергетика: экология, надежность, безопасность". Томск: Изд-во ТПУ, 1999, с.42-43.

16. Барковский А.Н., Гусельников А.В., Даниленко Т.Г., Казьмин Г.П.. Применение Е-сетей для анализа надежности систем бесперебойного электропитания. // Статья в журнале "Метрология и измерительная техника в связи", г. Москва, 2000г. (в печати).

17. Казьмин Г.П., Гусельников А.В., Королев С.И.. К ситуационному управлению системами бесперебойного электропитания ответственных потребителей в аварийных режимах.// Статья в журнале "Метрология и измерительная техника в связи", г. Москва, 2000г. (в печати).

18. Барковский А.Н., Казьмин Г.П., Королев С.И.. Ситуационное управление системой бесперебойного электропитания в аварийных режимах.// Материалы докладов пятой Всероссийской научно-технической конференции "Энергетика: экология, надежность, безопасность". Томск: Изд-во ТПУ, 1999,с. 50-51.

19. Преобразователь статический трехфазный ТТС-1500. // Информлисток. ЦНТИ, №56-79 УДК 621.314.57.1. г. Томск/. А.Г. Азаров, Т.К. Кобзева, Г.П. Казьмин и др.

20. Преобразователь однофазный статический ПОС-1700 для систем гарантированного электропитания потребителей переменного тока.// Информлисток ЦНТИ, г. Томск. №58-83 УДК 621.314.5./Г.П. Казьмин, В.А.Баклыков.

21. Преобразователь ПОС-4000.// Информлисток ЦНТИ, г. Томск № 6-85 УДК 621.314.5./Г.П. Казьмин.

22. Казьмин Г.П. Статический преобразователь ТТС-1500. //Тезисы XXIII конференции "Электронные и полупроводниковые преобразователи энергии, технической и биологической информации", г. Томск.