

621.311
Ш 64

**ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. П.О. СУХОГО**

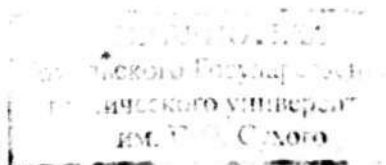
УДК 621.311.1

ШИРОКОВ Олег Геннадьевич

**УЛУЧШЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ
ПОМЕХОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ 0,4 КВ С
ПИТАЮЩЕЙ СЕТЬЮ ПРИ ВНЕШНИХ ПРОВАЛАХ
НАПРЯЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ С НЕПРЕРЫВНЫМ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ**

05.09.03 - Электротехнические комплексы и системы,
включая их управление и регулирование

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук



Гомель 1999

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Интенсификация производства конкурентоспособной отечественной продукции приводит к расширению использования новых технологий, основанных на применении высокоавтоматизированных непрерывных циклов технологических процессов. Автоматическое управление и силовой электропривод технологических агрегатов и линий, обеспечивающих непрерывные процессы, осуществляется на основе электронных и микроселекционных устройств, которые предъявляют высокие требования к качеству электроснабжения. В частности, опыт эксплуатации электрооборудования, реализующего такие технологические процессы, выявил его низкую электромагнитную совместимость с электрическими сетями, выражающуюся в чувствительности к кратковременным нарушениям электроснабжения (КНЭ) в форме провалов питающего напряжения. Эта проблема заключается в том, что при КНЭ из-за коротких замыканий (КЗ) в сетях энергосистемы на предприятиях отключаются помехочувствительные электроприемники (ПЧЭ), и происходит аварийная остановка непрерывного технологического процесса. При этом переключение на второй источник питания (линию, трансформатор) с помощью типовых схем и устройств автоматического включения резерва (АВР) оказывается недопустимым, так как оно происходит уже после нарушения устойчивой работы электроприемников.

В публикациях последних лет работы, направленные на минимизацию вредных последствий воздействия провалов напряжения на ПЧЭ ставятся по важности в один ряд с проблемами высших гармоник, колебаний и несимметрии напряжения. Однако, даже однократные провалы питающего напряжения, в отличие от накапливающегося вредного воздействия других кондуктивных помех (высших гармоник, суб - и интергармоник, колебаний напряжения, несимметрии напряжения и т.д.), при достижении критических параметров в каждом случае приводят к отключению ПЧЭ и нарушению непрерывных технологических процессов, восстановление которых требует значительного времени и связано с потерей и браком продукции.

Для повышения степени электромагнитной совместимости ПЧЭ с питающими сетями предлагаются различные мероприятия и технические решения, но их применение ограничивается рамками внутризаводской системы электроснабжения либо отдельных электроприемников. При этом не рассматривается влияние на внешние КНЭ характера их источника, а именно – основных сетей энергосистем, что связано с отсутствием показателей и методики, позволяющих проводить количественную оценку влияния основных сетей энергосистем на параметры и характеристики провалов напряжения. Разработка показателей и методики определения влияния основных сетей энергосистем на параметры провалов напряжения, наряду

с исследованиями внешних провалов напряжения и степени устойчивости к ним ПЧЭ, позволит повышать качество электроснабжения непрерывных производств реализацией комплекса мероприятий в системах внешнего и внутреннего электроснабжения. Этому посвящена представленная диссертационная работа.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Работа выполнялась в соответствии с планами по темам:

-ГБ 95-09 "Разработка устройства бесперебойного питания помехочувствительных цеховых электроприемников непрерывного производства", № ГР 1995369, утверждена Министерством образования и науки РБ, сроки выполнения – 1995-1996 г.г.

-ГБ 97-09 "Исследование характеристик кратковременных нарушений внешнего электроснабжения предприятий с непрерывным технологическим процессом", № ГР 19971044, утверждена Министерством образования и науки РБ, сроки выполнения – 1997-1998 г.г.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является повышение качества электроснабжения помехочувствительных электроприемников 0,4кВ предприятий с непрерывным технологическим процессом при внешних провалах напряжения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

-исследовать характеристики реальных провалов напряжения в сетях 110кВ энергосистем, от которых получают питание предприятия с непрерывным технологическим процессом;

-исследовать фактическую устойчивость электроприемников 0,4кВ непрерывного производства, чувствительных к провалам питающего напряжения;

-проанализировать положения и требования ПУЭ в части внешнего электроснабжения предприятий с непрерывным технологическим процессом;

-разработать показатели и методику, позволяющие количественно оценить влияние схем электрической сети на параметры провалов напряжения в узлах нагрузки;

-исследовать влияние схем основных сетей энергосистемы и заводских ТЭЦ на характеристики кратковременных нарушений электроснабжения;

-определить степень снижения глубины провалов напряжения при включении цеховых трансформаторов на параллельную работу;

-разработать устройство быстродействующего тиристорного АВР напряжением 0,4кВ большой мощности.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является

электромагнитная совместимость электроприемников и питающих сетей при провалах напряжения. Предмет исследования – параметры провалов напряжения в сетях 110кВ энергосистем, реакция на провалы напряжения чувствительной нагрузки 0,4кВ, возможности электрических сетей в повышении качества электроснабжения предприятий с непрерывным технологическим процессом.

Гипотеза. В качестве гипотезы выдвинуто предположение о том, что повышение степени электромагнитной совместимости помехочувствительных электроприемников 0,4кВ предприятий с непрерывным технологическим процессом и питающих сетей при внешних провалах напряжения возможно путем проведения комплекса мероприятий совместно в электрических сетях энергосистемы и системах электроснабжения предприятий. В результате проведенных исследований данное предположение подтвердилось.

Методология и методы проведенного исследования. В работе использовалась комплексная методика исследований, основанная на применении аппарата математической статистики, численных методов, а также на экспериментальных исследованиях, проводимых на действующих предприятиях.

Метод пассивного эксперимента - с помощью информационно-измерительной системы "Oscillostore P-530" (установлена на Белорусском металлургическом заводе) исследовались фактические характеристики внешних провалов напряжения.

Метод активного эксперимента - с помощью устройств, моделирующих провалы напряжения, исследовались границы устойчивости к провалам напряжения чувствительных электроприемников 0,4кВ в производственных условиях. В лабораторных условиях на физической модели электрической сети исследовалось влияние схем параллельной работы цеховых трансформаторов на глубину провалов напряжения.

Численный эксперимент - с помощью программного комплекса ТКЗ-3000 и разработанной методики исследовалось влияние схем основных сетей энергосистем и заводских ТЭЦ на глубину провалов напряжения в узлах нагрузки при внешних коротких замыканиях.

Активный натурный эксперимент - исследовался процесс восстановления напряжения на шинах 0,4кВ цеховой трансформаторной подстанции при внешнем КНЭ и срабатывании устройства быстродействующего автоматического включения резерва с тиристорным секционными выключателем двустороннего кратковременного действия.

Научная новизна и значимость полученных результатов. Впервые представлены характеристики реальных провалов напряжения в узле питания предприятия с непрерывным технологическим процессом напряже-

нием 110 кВ. Предложено уточненное выражение для определения глубины провала напряжения.

Впервые определены фактические области и границы устойчивой работы помехочувствительных электроприемников 0,4 кВ при провалах напряжения в условиях реального непрерывного производства. Показана необходимость нормирования в точках питания предприятий с непрерывным технологическим процессом не только длительности, но и глубины провалов напряжения.

Сформулированы требования к внешнему электроснабжению предприятий с непрерывным технологическим процессом в части использования полностью независимых источников питания энергосистемы и применения заводских ТЭЦ.

Предложены показатели и разработана методика для количественной оценки влияния схем и режимов основных электрических сетей энергосистемы на глубину провалов напряжения в узлах помехочувствительной нагрузки.

Определена степень снижения глубины провалов напряжения за счет включения цеховых трансформаторов на параллельную работу.

Разработаны принципы построения, алгоритм управления и защиты устройства быстродействующего АВР 0,4кВ с тиристорным секционным выключателем двустороннего кратковременного действия.

Полученные результаты способствуют повышению степени электромагнитной совместимости при провалах напряжения ПЧЭ непрерывных производств с питающей сетью путем проведения комплексных мероприятий на уровне электрических сетей. На их основе возможен анализ и предварительный выбор вариантов конфигурации основных сетей энергосистем, обеспечивающих полную или относительную независимость источников питания, а также определение области применения параллельной работы цеховых трансформаторов и устройств АВР в системах электроснабжения предприятий для защиты электроприемников от провалов напряжения.

Практическая и экономическая значимость полученных результатов.

Практическая значимость работы заключается в возможности разработки требований к системам электроснабжения и устройствам защиты помехочувствительных электроприемников, в оптимальном построении конфигураций основных сетей энергосистем и заводских систем электроснабжения непрерывных производств.

Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований будут использованы ПОЭиЭ "Гомельэнерго" (г. Гомель) при разра-

ботке возможных вариантов перспективного развития сетей энергосистемы, выборе схем подключения заводских ТЭЦ. Устройство быстродействующего АВР с тиристорным секционным выключателем прошло испытания и принято в опытную эксплуатацию на Белорусском металлургическом заводе (г. Жлобин). Полученные в диссертации результаты используются при чтении дисциплины "Электромагнитная совместимость электроприемников и питающих сетей", а также в научно-исследовательской работе студентов специальности Т.01.01 "Электроэнергетика" Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого.

Экономическая значимость работы определяется возможностями использования результатов исследований в качестве коммерческого продукта организациями и предприятиями, занимающимися проектированием электрических сетей и систем электроснабжения производственных объектов, разработкой и изготовлением коммутационных и защитных устройств и аппаратов.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

1. Характеристики реальных провалов напряжения в узле питания предприятия с непрерывным технологическим процессом на напряжении 110 кВ и уточненное выражение для определения глубины провала напряжения.

3. Области и границы устойчивой работы помехочувствительных электроприемников 0,4 кВ непрерывных производств при провалах напряжения, позволяющие разрабатывать требования к системе электроснабжения.

4. Дополнительное требование к независимости источников электроснабжения предприятий с непрерывным технологическим процессом при провалах напряжения и определения понятий полной и относительной независимости источников питания.

5. Показатели и методика, позволяющая количественно характеризовать влияние основных сетей энергосистемы и мероприятий, повышающих качество электроснабжения, на глубину внешних провалов напряжения в узлах нагрузки.

6. Степень снижения глубины провалов напряжения на стороне 0,4 кВ цеховых трансформаторов при включении их на параллельную работу.

7. Принципы построения, алгоритм управления и защиты устройства быстродействующего АВР 0,4кВ с тиристорным секционным выключателем двустороннего кратковременного действия.

Личный вклад соискателя. Научные и практические результаты диссертации, положения, выносимые на защиту, разработаны и получены лично соискателем или при его непосредственном участии.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты исследований, содержащиеся в диссертации, докладывались автором на XII сессии Всесоюзного научного семинара "Кибернетика электрических систем" "Электроснабжение промышленных предприятий" (г. Гомель) в 1991г., на научно-технической и методической конференции "Энергосбережение, электропотребление, электрооборудование" (г. Москва) в 1994г., на научной конференции в МЭИ (г. Москва) в 1995г., на международных научно-технических конференциях "Современные проблемы машиностроения" (г. Гомель) в 1996 и 1998 гг., на международной 52-й научно-технической конференции профессоров, преподавателей, научных работников, аспирантов и студентов БГПА "Технические ВУЗы - Республике" (г. Минск) в 1997 году.

Опубликованность результатов. Результаты диссертации опубликованы в одной статье в научном журнале, двух статьях в материалах конференций, шести тезисах докладов конференций. Общее количество опубликованных материалов составляет 43 страницы.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников, трех приложений. Полный объем диссертации составляет 197 страниц, при этом 60 рисунков, 41 таблица, приложения и список использованных источников из 77 наименований занимают 94 страницы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана общая характеристика работы, определен круг проблем, нуждающихся в изучении, и направление исследования.

В первой главе рассмотрена природа возникновения, дана классификация и приведены имеющиеся в литературе сведения о характеристиках провалов напряжения. Рассмотрены средства регистрации КНЭ и пути улучшения электроснабжения предприятий с непрерывным технологическим процессом при провалах напряжения, сформулирована цель и задачи исследований.

В зависимости от места возникновения провалы напряжения могут быть внутренними, возникающими в системах электроснабжения предприятий, и внешними, возникающими в энергосистеме. По характеру появления провалы напряжения могут быть периодическими или эпизодическими (случайными).

Периодические провалы напряжения, в свою очередь, являются внутренними. Эпизодические провалы напряжения, как правило, внешние, за исключением провалов, возникших в результате аварийных ситуаций в

системах электроснабжения предприятий.

Источниками внешних провалов напряжения являются КЗ в электрических сетях энергосистем. Наибольшее количество отключений ПЧЭ предприятий с непрерывным технологическим процессом, по сведениям, имеющимся в публикациях, происходит из-за внешних провалов напряжения.

Получение информации о фактических значениях параметров провалов напряжения в точках присоединения потребителей к энергосистеме возможно с помощью быстродействующих регистрирующих измерительных средств. Такими средствами являются микропроцессорные устройства регистрации аварийных событий, разработанные зарубежными электротехническими фирмами в начале 80-х годов (Siemens, АBB и т.д.). В середине 90-х годов микропроцессорные средства регистрации стали разрабатываться и выпускаться в России и Украине (АУРА-М, "Нева-OS", "Регина" и т.д.). Важной особенностью таких средств является возможность регистрации не только самого события, но и его предыстории, точность и простота получения, обработки и хранения необходимых данных, характеризующих параметры КНЭ.

Если рассматривать в целом систему производства, передачи и преобразования электрической энергии в полезную работу, то в отношении улучшения электромагнитной совместимости при внешних КНЭ целесообразно проведение комплекса соответствующих мероприятий во всех звеньях этой цепи. То есть, в энергосистеме, являющейся источником внешних КНЭ, необходимо проведение мероприятий, направленных на уменьшение зоны, КЗ в которой оказывают влияние на уровни напряжения в точках питания предприятий с ПЧЭ. Мероприятия в системах электроснабжения предприятий должны быть направлены на уменьшение параметров внешних провалов напряжения до уровней, не оказывающих вредного влияния на работу ПЧЭ. А производители технологического и электрического оборудования и разработчики автоматизированных систем и технологий, в свою очередь, должны учитывать возможность появления в цепи питания провалов напряжения с определенными параметрами и повышать устойчивость к ним разрабатываемого и выпускаемого оборудования.

В настоящее время наименьшее внимание уделено решению проблемы по снижению вредного воздействия провалов напряжения на ПЧЭ на уровне энергосистем и на стадии разработки технологического оборудования.

С целью защиты значительной (в объеме цеха или участка) помехочувствительной нагрузки 0,4кВ непрерывных производств от воздействия

внешних провалов напряжения целесообразным является применение комплекса средств и решений. Основное внимание уделено влиянию схем и режимов основных сетей энергосистем, а также влиянию заводских ТЭЦ на характеристики КНЭ. В системе электроснабжения предприятия целесообразно рассмотреть параллельную работу цеховых трансформаторов и применение устройств быстрого действия АВР 0,4 кВ как средств защиты электроприемников от КНЭ. Однако для оценки эффективности защиты электроприемников от воздействия КНЭ с помощью этих решений необходимо знать характеристики реальных провалов напряжения в узлах питания непрерывных производств. Необходимо также исследовать граничные значения КНЭ, не приводящие к сбою в работе ПЧЭ, разработать систему показателей и методику определения влияния энергосистемы на параметры КНЭ.

Во второй главе приводятся характеристики реальных провалов напряжения на шинах 110 кВ ГПП предприятия с непрерывным технологическим процессом, анализируются существующие схемы имитаторов провалов напряжения, формулируются требования к ним, на основании которых разработаны устройства моделирования провалов напряжения. Экспериментально, с помощью разработанных устройств, определено влияние трехфазных провалов напряжения различной глубины и длительности на работоспособность электроприемников с тиристорным приводом.

С помощью измерительной системы "Oscillostore P-530" фирмы "Siemens", подключенной на междуфазные напряжения двух вводов (линии Л1 и Л2) 110кВ ГПП-2 Белорусского металлургического завода (БМЗ), заосциллографированы с декабря 1992 г. по февраль 1997 г. 180 аварийных процессов в энергосистеме. Изучение осциллограмм, зарегистрированных КНЭ, позволило определить глубину δU_n и длительности Δt_n реальных провалов напряжения по линиям 110кВ, от которых получает питание предприятие с непрерывным технологическим процессом, которым является БМЗ.

Анализ полученных осциллограмм показал, что по форме переходного процесса начала и конца изменения напряжения провалы можно условно разделить на три типа: тип 1-с плавным переходом напряжения на новый уровень и возвращением на предшествующий или близкий к нему уровень; тип 2- с переходом на новый уровень и возвращением на предшествующий или близкий к нему уровень скачком; тип 3 (рис.1) - с переходом на новый уровень и возвращением на предшествующий или близкий к нему уровень скачком с высокочастотными составляющими.

Анализируя распределение провалов напряжения можно отметить их идентичность по форме переходного процесса для Л1 и Л2 и преобла-

дающую одновременность проявления на двух вводах, являющихся по определению ПУЭ независимыми источниками питания для предприятия.

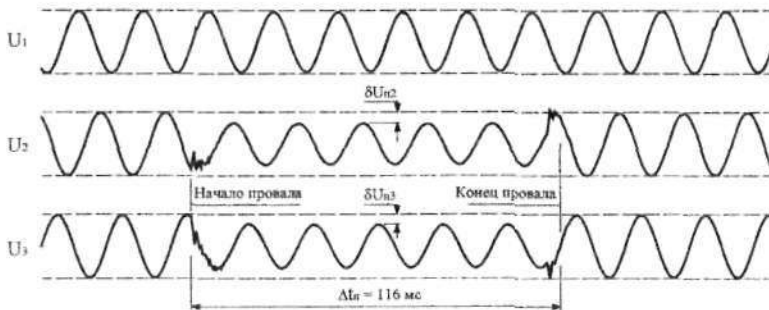


Рис.1. Осциллограмма провала напряжения с переходом напряжения на новый уровень и возвращением на предшествующий или близкий к нему уровень скачком с высокочастотными составляющими на шинах 110кВ линии Л2 БМЗ (зарегистрирована 11.03.1993г. в 21ч.39мин.04с)

Определять глубину провала напряжения $\delta U_{п}$ в % рекомендуется, в соответствии с ГОСТ, по следующему выражению:

$$\delta U_{п} = \frac{U_{ном} - U_{мин}}{U_{ном}} \cdot 100, \quad (1)$$

где $U_{ном}$, $U_{мин}$ - соответственно номинальное значение напряжения и минимальное действующее значение напряжения в течение провала, В, кВ.

Однако, использование в выражении (1) значения $U_{ном}$ искажает физический смысл параметра глубина провала $\delta U_{п}$ при воздействии на ПЧЭ, поскольку не устанавливает фактической величины перепада напряжения при появлении этого КНЭ. Более точно величину перепада напряжений при провале будет отражать глубина провала напряжения $\delta U_{п}$ в %, определенная по следующему выражению:

$$\delta U_{п} = \frac{U_{д} - U_{мин}}{U_{д}} \cdot 100, \quad (2)$$

где $U_{д}$ - фактическое действующее значение напряжения нормального режима, предшествующее напряжению аварийного режима (в данном случае провалу напряжения), В, кВ.

Анализ работы технологического оборудования БМЗ в условиях воздействия КНЭ свидетельствует о том, что массовое отключение ПЧЭ происходило при провалах напряжения глубиной более 10% хотя бы в одной из фаз. Поэтому значимым параметром провала является его наибольшая глубина из всех фаз питающей линии $\delta U_{пmax}$, с учетом которой и составлены табл.1 и табл.2, в которых приведено распределение провалов по форме и длительности, соответственно, для одной из питающих линий.

Таблица 1

Распределение провалов напряжения по линии ЛП ГПП-2 БМЗ

Глубина провала, %	Доля провалов, %, с формой перехода на новый уровень по типу:			Всего провалов, %
	тип 1	тип 2	тип 3	
0 – 10	49,71	3,47	15,03	68,21
10 – 25	8,67	6,94	10,98	26,59
25 – 35	0,58	0,58	1,15	2,31
35 – 60	0	0	2,89	2,89
60 – 100	0	0	0	0
Всего провалов, %	58,96	10,99	30,05	100

Таблица 2

Интенсивность провалов напряжения на шинах 110кВ линии ЛП ГПП-2 БМЗ

Глубина провала, %	Доля провалов, %, при длительности провала, с			Всего провалов, %
	0,01-0,1	0,1-0,2	0,2-0,35 и более	
0 - 10	5,78	10,98	51,45	68,21
10 - 25	2,32	17,92	6,35	26,59
25 - 35	0	2,31	0	2,31
35 - 60	0	2,89	0	2,89
60 - 100	0	0	0	0
Всего провалов, %	8,1	34,1	57,8	100

Анализ внутренней структуры провалов напряжения в узле нагрузки в части распределения по глубине и длительности позволил сделать предположение, что эти показатели имеют значения, существенно превышающие допустимые для условий нормальной работы ПЧЭ (частотно-регулируемый привод и микропроцессорные системы управления).

Поэтому проводились исследования границ устойчивости ПЧЭ при изменении провалов напряжения по цепи питания. Исследования проводились с помощью специально разработанных устройств, моделирующих сетевые провалы напряжения длительностью от 3мс. Исследовалось поведение ПЧЭ при симметричных трехфазных провалах напряжения прямоугольной формы глубиной δU_n до 25-35% и различной длительности. Объектами исследования являлись стан тонкого волочения типа Т-12 модели 21/200 фирмы "Danieli" (Италия, $P_{уст.} = 55$ кВт) в цехе металлокорда БМЗ и обрабатывающий центр с ЧПУ типа ИР-500ПМФ4 ($P_{уст.} = 100$ кВт) производства станкостроительного завода им. С. М. Кирова г. Гомель.

На рис.2 представлены экспериментальные графики границ и области устойчивой работы, исследуемых ПЧЭ при провалах напряжения по цепи питания. Из графиков следует, что рассмотренные ПЧЭ непрерывно-

го производства обладают практически одинаковой устойчивостью к воздействию КНЭ. При этом допустимая глубина провала напряжения ограничено зависит от его длительности, а граница устойчивости имеет нелинейный характер.

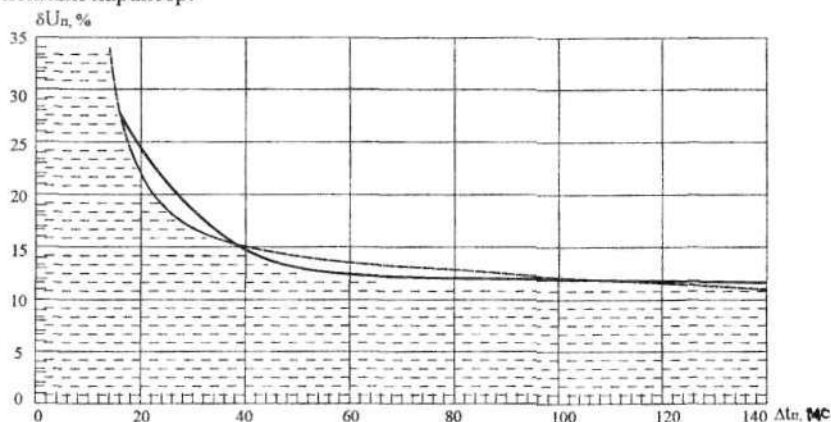


Рис.2 Граница устойчивой работы ПЧЭ при сетевых провалах напряжения:
 — граница устойчивой работы волочильного стана Т-12 модели 21/200;
 - - - граница устойчивой работы станка с ЧПУ типа ИР-500 ПМФ 4;
 область устойчивой работы ПЧЭ при провалах напряжения

В третьей главе на основе анализа положений ПУЭ формулируется дополнительное требование к источникам питания предприятий с непрерывным технологическим процессом. Разработаны показатели и методика определения влияния энергосистемы на глубину провалов напряжения в узлах нагрузки, определена степень влияния заводских генераторов различных мощностей параллельно работающих с энергосистемой на устойчивость ПЧЭ.

Учитывая особенности непрерывных технологических процессов и возможность осуществления независимого питания и взаимного резервирования двух источников питания не только в послеаварийных режимах, но и в процессе КЗ в энергосистеме, можно сформулировать дополнительное требование, предъявляемое к источникам питания ПЧЭ. Это требование заключается в обеспечении на одном из источников нормального, либо не выходящего за границы устойчивости ПЧЭ, напряжения не только в послеаварийном режиме, но и в момент провала напряжения на другом источнике.

Если к определению понятия “независимые источники питания” подходить, сопоставляя степень их независимости с требуемой для рассматриваемых электроприемников, то в отношении ПЧЭ непрерывных

технологических процессов, источники питания по степени независимости можно разделить на полностью независимые и относительно независимые.

Под полностью независимыми источниками питания следует понимать такие источники, на которых не происходит одновременных провалов напряжения, то есть, напряжение на одном из источников остается на уровне рабочего при провале напряжения на другом. Относительно независимыми источниками питания будут тогда, когда на них провалы напряжения происходят одновременно, но при этом остаточные напряжения, по крайней мере, на одном из источников позволяют сохранить устойчивую работу ПЧЭ.

В случаях полной и относительной независимости источников питания ПЧЭ можно удержать в работе, перейдя на питание от источника с достаточным уровнем остаточного напряжения. Если же полная и относительная независимость источников питания не обеспечивается, защитить чувствительные электроприемники от провалов напряжения не представляется возможным.

Оценку влияния схем основных сетей энергосистемы на глубину провалов напряжения в узле питания конкретного предприятия с непрерывным технологическим процессом предлагается выполнять по следующей методике:

1. Определить другие аналогичные предприятия, питающиеся от этих электрических сетей.

2. Рассчитать доаварийные и остаточные (в момент КНЭ) напряжения на шинах рассматриваемых предприятий с ПЧЭ при коротких замыканиях в различных узлах исходной схемы электрической сети. При рассмотрении сложносвязанных электрических сетей энергосистем для решения подобной задачи необходимо использовать ЭВМ. В настоящее время не существует специальных программ для расчета параметров провалов напряжения в узлах питания ПЧЭ. Однако в программном комплексе "ТКЗ-3000", предназначенном для расчета токов КЗ и уставок релейной защиты в сети, содержащей до 3000 узлов, предусмотрена возможность определения доаварийных и остаточных напряжений в интересующем узле при внешних КЗ.

3. По доаварийным и остаточным напряжениям вычислить глубину провалов напряжения на шинах рассматриваемых предприятий по (2).

4. Определить следующие показатели:

4.1. Коэффициент отсутствия провалов напряжения на проверяемом источнике j при КЗ во внешней электросети по следующему выражению:

$$K_{0j} = \frac{N_{0j}}{N} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где N_{0j} - количество узлов при КЗ, в которых на проверяемом источнике отсутствует провал напряжения, определяется по условию:

$$N_{0j} = \sum_{k=1}^N \{1, \text{ если } (\delta U_{n_{kj}} = 0)\}, \quad (4)$$

где N - количество точек электрической сети, в которых моделируется КЗ.

4.2. Коэффициент провалов напряжения, не приводящих к нарушению работы ПЧЭ при КЗ во внешней питающей сети, по следующему выражению:

$$K_{yj} = \frac{N_{yj}}{N} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где N_{yj} - количество узлов, при КЗ в которых на проверяемом источнике j провалы напряжения не приводят к нарушению работы ПЧЭ, определяется по условию:

$$N_{yj} = \sum_{k=1}^N \{1, \text{ если } (0 < \delta U_{n_{kj}} \leq \Pi_{от})\}, \quad (6)$$

где $\Pi_{от}$ - порог устойчивости ПЧЭ при провалах напряжения. Учитывая, что низковольтные ПЧЭ могут оставаться в работе при глубине провалов до 10-11% любой продолжительности, целесообразно принять $\Pi_{от} = 10\%$.

4.3. Коэффициент необходимости и возможности работы быстродействующего АВР при полностью или относительно независимых источниках питания, для источника 1 (источника 2):

$$K_{авр1(2)} = \frac{N_{авр1(2)}}{N} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где - $N_{авр1}$ ($N_{авр2}$) количество узлов, при КЗ в которых на одном из источников питания параметры провалов напряжения выходят за границу устойчивости ПЧЭ, но возможно обеспечение их устойчивой работы путем быстрого переключения на второй источник питания (необходимость и возможность работы быстродействующего АВР при полностью или относительно независимых источниках), определяемое по условию:

$$N_{авр1(2)} = \sum_{k=1}^N \{1, \text{ если } (\delta U_{n_{k1(2)}} > \Pi_{от} \text{ и } \frac{U_{дн1(2)} - U_{ост1k2(1)}}{U_{дн1(2)}} \leq \Pi_{от})\}. \quad (8)$$

4.4. Коэффициент возможной устойчивой суммарной работы ПЧЭ, при КЗ в N узлах энергосистемы, для источника 1 (источника 2) по выражению:

$$K_{\Sigma1(2)} = \frac{N_{\Sigma1(2)}}{N} \cdot 100\%, \quad (9)$$

где $N_{\Sigma1}$ ($N_{\Sigma2}$) - суммарное количество случаев возможной устойчивой работы ПЧЭ, питающихся от соответствующего источника, при КЗ в N узлах, определяемое по условию:

$$N_{\Sigma 1(2)} = \sum_{k=1}^N \{1, \text{ если } [\text{или}(\delta U_{\pi k 1(2)} = 0); \text{ или } (0 < \delta U_{\pi k 1(2)} \leq \Pi_{\text{от}})] \text{ или } \\ (\delta U_{\pi k 1(2)} > \Pi_{\text{от}} \text{ и } \frac{U_{\Delta_{\text{и}} 1(2)} - U_{\text{ост}_{\text{и}k} 2(1)}}{U_{\Delta_{\text{и}} 1(2)}} \leq \Pi_{\text{от}}]\} \} \quad (10)$$

4.5. Коэффициент возможной устойчивой одновременной суммарной работы ПЧЭ, питающихся от двух источников, при КЗ в N узлах энергосистемы определяется по выражению:

$$K_{\Sigma 1,2} = \frac{N_{\Sigma 1,2}}{N} \cdot 100\% \quad (11)$$

где $N_{\Sigma 1,2}$ - суммарное совместное количество случаев возможной устойчивой работы ПЧЭ, питающихся от двух источников, при КЗ в N узлах, определяемое по условию:

$$N_{\Sigma 1,2} = \sum_{k=1}^N \{1, \text{ если } \{ \text{или}[\delta U_{\pi k 1} = 0 \text{ и } \delta U_{\pi k 2} = 0] \text{ или } \\ [0 < \delta U_{\pi k 1} < \Pi_{\text{от}} \text{ и } 0 < \delta U_{\pi k 2} < \Pi_{\text{от}}] \text{ или } \\ [(\delta U_{\pi k 1} < \Pi_{\text{от}}) \text{ и } (\delta U_{\pi k 2} > \Pi_{\text{от}} \text{ и } \frac{U_{\Delta_{\text{и}} 2} - U_{\text{ост}_{\text{и}k} 1}}{U_{\Delta_{\text{и}} 2}} \leq \Pi_{\text{от}})] \text{ или } \\ [(\delta U_{\pi k 2} < \Pi_{\text{от}}) \text{ и } (\delta U_{\pi k 1} > \Pi_{\text{от}} \text{ и } \frac{U_{\Delta_{\text{и}} 1} - U_{\text{ост}_{\text{и}k} 2}}{U_{\Delta_{\text{и}} 1}} \leq \Pi_{\text{от}})] \} \} \} \quad (12)$$

По значениям показателей, определенных по (3)...(12), можно судить о степени влияния сетей энергосистемы и проводимых мероприятий на ПЧЭ предприятий с непрерывным технологическим процессом. Причем, чем больше значение этих показателей, тем выше может быть обеспечена электромагнитная совместимость ПЧЭ с питающими сетями.

Для выбора мероприятий, способных уменьшить случаи отключения ПЧЭ, необходимо выполнить расчеты по пунктам 2- 4 для исходной и измененных схем электрической сети, сравнить полученные результаты, исходя из критерия увеличения значения показателей по (3)...(12) для рассматриваемого предприятия, при условии неизменности или увеличения значения этих показателей для других предприятий с ПЧЭ, получающих питание от этой энергосистемы. Однако окончательный выбор оптимальных мероприятий должен проводиться далее на основе расчетов режимов работы электрической сети, отстройки средств релейной защиты и технико-экономических сравнений вариантов.

В работе с помощью предлагаемой методики показана возможность

снижения влияния внешних КНЭ на предприятия с непрерывным производством при изменениях конфигурации основных сетей энергосистемы. Определено также влияние генераторов заводских ТЭЦ, работающих параллельно с энергосистемой, на глубину провалов напряжения на шинах предприятий при внешних КНЭ. Показано, что наибольший эффект уменьшения вредного воздействия КНЭ на ПЧЭ дает совместное применение мероприятий по изменению конфигурации электрической сети энергосистемы и включения генераторов заводских ТЭЦ соответствующих мощностей.

В четвертой главе рассмотрены схемы и условия параллельной работы цеховых трансформаторов (ЦТ), экспериментально на модели участка электрической сети и расчетным путем определена степень снижения глубины провалов напряжения с помощью параллельной работы ЦТ и область применения этого мероприятия для защиты ПЧЭ от внешних КНЭ. Разработаны принципы построения, алгоритм управления и защиты, блок-схемы и принципиальные схемы основных узлов устройства быстродействующего АВР 0,4кВ с тиристорным секционному выключателем кратковременного действия (БАВР с ТСВ).

Проведенные исследования показали, что влияние параллельной работы ЦТ на глубину провалов напряжения зависит от степени независимости источников внешнего электроснабжения по отношению к месту КЗ, вызывающему провал напряжения, и узлу питания ПЧЭ. При питании от одного источника влияние на глубину провалов напряжения параллельно работающих ЦТ отсутствует и глубина трехфазных провалов напряжения одинакова на всех ступенях трансформации. При питании от двух независимых источников влияние на глубину провалов напряжения параллельно работающих ЦТ наибольшее и глубина провалов напряжения при раздельной работе ЦТ, которую скомпенсирует параллельная работа ЦТ до уровня устойчивости цеховых ПЧЭ, может достигать до 20%.

Разработанное устройство БАВР с ТСВ позволяет производить переключения на стороне 0,4кВ цеховых трансформаторов мощностью до 2500 кВА за время около 10мс. Высокое быстродействие достигается за счет применения разработанных микропроцессорных блоков контроля напряжения. Функциональная схема устройства БАВР с ТСВ приведена на рис.3 и включает вводные Q1, Q2, секционный Q3 автоматические выключатели и тиристорный секционный выключатель ТСВ, состоящий из силового тиристорного блока ТБ, блока управления и защиты БУЗ, панели управления и индикации ПУИ. При провале напряжения на одном из питающих вводов до величины уставки и напряжении выше соответствующей уставки на другом источнике происходит открытие силовых тиристоров ТБ. При этом

трансформаторы включаются на параллельную работу на время, необходимое для отключения выключателя (Q1 или Q2) источника, на котором произошел провал напряжения. Запирание силовых тиристоров ТБ происходит после включения выключателя Q3 либо по истечении времени от 0,5 до 1,5с.

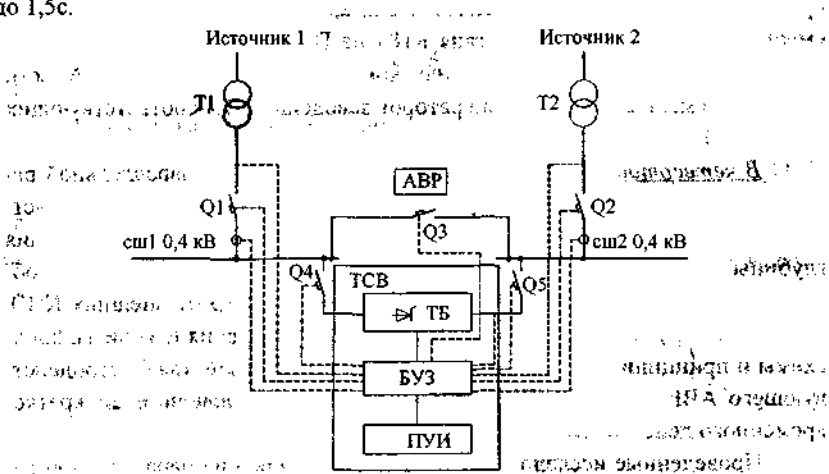


Рис.3. Функциональная схема устройства быстродействующего автоматического ввода резервного питания с тиристорным секционным выключателем двухстороннего кратковременного действия (БАВР с ТСВ)

После исчезновения провала напряжения производится включение отключенного выключателя Q1 или Q2, после чего отключается секционный выключатель Q3 (автоматически либо вручную дежурным персоналом).

Устройство БАВР с ТСВ имеет защиты и блокировки, запрещающие его работу при КЗ на стороне 0,4кВ, одновременных провалах напряжения ниже уставки на двух источниках, перегрузке ТБ, пробое силовых тиристоров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные и практические результаты работы состоят в следующем:

1. Определены характеристики внешних провалов напряжения на границе раздела балансовой принадлежности предприятия с непрерывным производственным процессом с энергосистемой, что позволило классифицировать провалы напряжения по форме, глубине и длительности. Уточнено выражение для определения фактической глубины провала напряже-

ния [3]. Исследованы области и границы устойчивой работы электрооборудования при провалах напряжения по цепи питания в условиях действующих предприятий [3, 7]. Предложенная классификация, значения параметров провалов напряжения и реакция на них помехочувствительных электроприемников позволяют разрабатывать требования к системам электроснабжения предприятий с непрерывными производственными процессами, технологическому электрооборудованию.

2. Сформулировано дополнительное требование, предъявляемое к источникам питания предприятий, имеющих ПЧЭ, заключающееся в необходимости обеспечения хотя бы на одном из источников нормального либо не выходящего за границы устойчивости ПЧЭ напряжения не только в послеаварийном режиме, но и в момент провала напряжения на другом источнике. Уточнено понятие “независимые источники питания” по сравнению с положениями ПУЭ путем оценки степени их независимости, отраженных терминами “полностью независимые источники питания” и “относительно независимые источники питания”, которые характеризуются глубиной провалов напряжения на каждом из источников при КНЭ в энергосистеме [1, 3, 5].

3. Разработаны показатели и методика для количественной оценки степени влияния основных сетей энергосистемы на глубину провалов напряжения и устойчивость работы ПЧЭ предприятий с непрерывным технологическим процессом при внешних КНЭ. Применение методики позволяет проводить отбор мероприятий, проводимых в рамках энергосистемы, уменьшающих количество отключений ПЧЭ предприятий при внешних провалах напряжения. С ее помощью проведена оценка влияния основных сетей энергосистемы [6] и генераторов заводской ТЭЦ на глубину провалов напряжения на стороне 110 кВ подстанции глубокого ввода предприятия.

4. Проведено исследование влияния схем параллельной работы ЦТ на глубину внешних провалов напряжения, которое позволило определить область применения параллельной работы ЦТ и показало, что регулирующий эффект данного мероприятия определяется степенью независимости источников внешнего электроснабжения по отношению к месту КЗ и узлу питания ПЧЭ. При питании от двух независимых источников влияние на глубину провалов напряжения параллельно работающих ЦТ наибольшее и позволяет снизить ее почти вдвое [9].

5. Разработаны принципы построения устройств БАРВ 0,4 кВ [2, 4, 8]. Разработана блок-схема БУЗ, принципиальная схема и алгоритм работы пускового органа контроля и сравнения напряжения, являющегося главным элементом БАРВ 0,4кВ. Разработаны принципиальные электрические

схемы блоков защиты ТСВ от ненормальных режимов. Выполнены испытания БУЗ и устройства БАВР с ТСВ в целом, включенного в систему цехового электроснабжения предприятия, которые показали, что устройство обеспечивает бесперебойное электроснабжение агрегатов и установок непрерывного производства при внешних провалах напряжения на одном из двух источников и условии наличия нормального или близкого к нему напряжения в этот момент на другом источнике питания. Время переключения на резервный источник составляет около 10 мс.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Прокопчик В.В., Широков О.Г. О необходимости изменения требований к электроснабжению предприятий с непрерывным технологическим процессом // Энергетика - Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объедин. СНГ. - 1999. - №1. - С.51-57

2. Прокопчик В.В., Широков О.Г. Возможности улучшения электромагнитной совместимости электроприемников предприятий с непрерывным технологическим процессом // Условия присоединения потребителей к сети энергосистем: Материалы конф./ ЦРДЗ. - М., 1993. - С.18-25.

3. Прокопчик В.В., Широков О.Г. Проблемы электроснабжения предприятий с непрерывным технологическим процессом // Электрификация металлургических предприятий Сибири: Материалы науч.-техн. и метод. конф., Новокузнецк, 19-21 нояб. 1997 г./ Вып.7.-Томск.: Изд-во Томского ун-та. 1997. - С.56-71.

4. Широков О.Г. Обеспечение бесперебойного электроснабжения технологических установок непрерывного производства // Современные проблемы машиноведения: Материалы междунар. науч.-техн. конф./ Бел. инж. акад. ГПИ им. П.О. Сухого. - Гомель, 1996. - С.190-192.

5. Широков О.Г. Дополнительные требования к источникам электропитания предприятий с непрерывным технологическим процессом // Технические ВУЗы – Республике: Материалы междунар. 52-й науч.-техн. конф. профессоров, преподавателей, научных работников, аспирантов и студентов БГПА. / В 7ч. Ч.1.- Минск, 1997. - С.21.

6. Широков О.Г. Влияние схем основных сетей энергосистемы на характеристики кратковременных нарушений электроснабжения потребителей // Современные проблемы машиноведения: Материалы междунар. науч.-техн. конф./ Бел. инж. акад. ГПИ им. П.О. Сухого. -Гомель, 1998. -Т. 2. -С.118-119.

7. Широков О.Г. Физическое моделирование нарушений электропитания помехочувствительных электроприемников// Кибернетика электрических систем. Электроснабжение промышленных предприятий: Тез. докл. науч. сем., Гомель, 19-22 нояб. 1991г./ Гом. политех. ин-т. - Гомель, 1991. -С.43-44.

8. Прокопчик В.В., Широков О.Г. Средство улучшения электромагнитной совместимости электрических сетей и помехочувствительных электроприемников при провалах напряжения по цепи питания// Энергосбережение, электропотребление, электрооборудование: Тез. докл. научн. техн. и метод. конф./ -М.: Электрика, 1994. -С.21-22.

9. Прокопчик В.В., Широков О.Г. Об уменьшении провалов напряжения в цеховых электрических сетях при включении трансформаторов на параллельную работу// Тез. докл. на научн. конф. в МЭИ. - М., 1995. - С. 26-27

РЕЗЮМЕ

Широков Олег Геннадьевич

Улучшение электромагнитной совместимости помехочувствительных электроприемников 0,4 кВ с питающей сетью при внешних провалах напряжения предприятий с непрерывным технологическим процессом

Электромагнитная совместимость, провал напряжения, помехочувствительный электроприемник, граница устойчивой работы электроприемника, методика оценки влияния электрических сетей на глубину провалов напряжения.

Объект исследования - электромагнитная совместимость электроприемников и питающих сетей при провалах напряжения.

Предмет исследования – провалы напряжения в сетях 110кВ и реакция на них чувствительной нагрузки 0,4кВ, возможности энергосистем в повышении качества электроснабжения непрерывных производств.

Цель работы - повышение качества электроснабжения помехочувствительных электроприемников 0,4кВ предприятий с непрерывным технологическим процессом при внешних провалах напряжения.

Применялась комплексная методика исследований, основанная на применении аппарата математической статистики, численных методов, экспериментальных исследованиях, проводимых на предприятиях.

Получены характеристики реальных провалов напряжения в узле питания предприятия на напряжении 110 кВ. Определены фактические границы устойчивой работы ПЧЭ 0,4 кВ при провалах напряжения. Уточнено выражение для определения глубины провала напряжения. Сформулировано дополнительное требование к источникам электроснабжения предприятий с непрерывным технологическим процессом.

Разработаны показатели и методика для количественной оценки влияния электрических сетей энергосистемы на глубину провалов напряжения в узлах питания помехочувствительной нагрузки.

Определена степень снижения глубины провалов напряжения за счет включения цеховых трансформаторов на параллельную работу. Разработаны принципы построения, алгоритм управления и защиты устройства быстросрабатывающего АВР 0,4кВ.

Полученные результаты будут использованы ПОЭиЭ "Гомельэнерго". Устройство БАВР прошло заводские испытания на Белорусском металлургическом заводе. Результаты диссертации используются в учебном процессе в Гомельском государственном техническом университете им. П. О. Сухого.

Область применения результатов диссертации – системы внешнего и внутреннего электроснабжения предприятий с непрерывным производством.

РЭЗІЮМЕ

Шырокаў Алег Генадзьевіч

Паляпшэнне электрамагнітнай сумясцімасці перашкодаадчувальных электрапрыёмнікаў 0,4 кВ з сілкавальнай сеткай пры знешніх правалах напружання прадпрыемстваў з бесперапынным тэхналагічным працэсам.

Электрамагнітная сумясцімасць, правал напружання, перашкодаадчувальны электрапрыёмнік, граніца устойлівай работы электрапрыёмніка, методыка ацэнкі уплыву электрычных сетак на глыбіню правалаў напружання.

Аб'ект даследавання - электрамагнітная сумясцімасць электрапрыёмнікаў і сілкавальных сетак пры правалах напружання.

Прадмет даследавання – правалы напружання ў сетках 110кВ, і рэакцыя на іх адчувальнай нагрузкі 0,4кВ, магчымасць электрычных сетак у павышэнні якасці электразабеспячэння бесперапынных вытворчасцей.

Мэта работы - павышэнне якасці электразабеспячэння перашкодаадчувальных электрапрыёмнікаў 0,4 кВ прадпрыемстваў з бесперапынным тэхналагічным працэсам пры знешніх правалах напружання.

Ужывалася комплексная методыка даследаванняў, заснаваная на прымяненні апарата матэматычнай статыстыкі, лікавых метадаў, а таксама на эксперыментальных даследаваннях, правадзімых на прадпрыемствах.

Атрыманы характарыстыкі рэальных правалаў напружання ў вузле сілкавання прадпрыемства напружаннем 110 кВ. Вызначаны фактычныя вобласці і граніцы устойлівай работы перашкодаадчувальных электрапрыёмнікаў 0,4 кВ пры правалах напружання. Удакладнены выраз для вызначэння глыбіні правала напружання. Сфармулявана далатковае патрабаванне к незалежным крыніцам электразабеспячэння прадпрыемстваў з бесперапынным тэхналагічным працэсам.

Распрацаваны паказчыкі і методыка для колькаснай ацэнкі уплыву электрычных сетак энэргасістэм на глыбіню правалаў напружання ў вузлах перашкодаадчувальнай нагрузкі.

Вызначына ступень паніжэння глыбіні правалаў напружання пры паралельнай рабоце цэлавых трансфарматараў. Распрацаваны прынцыпы пабудовы, алгарытм управлення і аховы ўстройства хуткадзеючыга АУР 0,4кВ.

Атрыманыя вынікі будуць выкарыстаны ПАЭіЭ "Гомельэнерга". Устройства ХАУР мінула заводскія выпрабаванні на Беларускаім металургічным заводзе. Вынікі дысертацыі выкарыстаны ў вучэбным працэсе ў Гомельскім дзяржаўным тэхнічным універсітэце ім. П. В. Сухого.

Галіна выкарыстання вынікаў дысертацыі – сістэмы знешняга і унутранага электразабеспячэння прадпрыемстваў з бесперапыннай вытворчасцю.

SUMMARY

Shirokov Oleg Gennadievich

Improvement of electromagnetic compatibility sensitive to interference electroreceivers 0,4 kV with a network at external voltage falls of industrial enterprises with a continuous technological process.

Electromagnetic compatibility, voltage fall, sensitive to interference electroreceivers, boundary of a stable running of the electroreceiver, technique of an estimation of influencing of electrical networks on depth of voltage falls.

Field of research - electromagnetic compatibility of electroreceivers and networks at voltage falls.

Object of research - voltage falls in networks with voltage 110 kV, reacting to voltage falls of sensing load 0,4 kV, capability of electrical networks in improvement of the quality of electrical power supply sensitive to interference electroreceivers 0,4 kV of flow-line productions.

The purpose of the work - improvement of the quality of electrical power supply sensitive to interference electroreceivers 0,4 kV of industrial enterprises with continuous technological process at external voltage falls.

The complex research technique grounded on applying of the vehicle of mathematical statistics, numerical methods, and also on experimental researches spent on enterprises was applied.

The characteristics of substantial voltage falls in a unit of a feed of firm by voltage 110 kV are obtained. The actual areas and boundaries of a stable running sensitive to interference electroreceivers 0,4 kV are determined at voltage falls. The expression for definition of depth of voltage fall is updated. The padding requirement to independent sources of electrical power supply of firms with a continuous manufacturing process is formulated.

The parameters and technique for a quantitative assessment of influencing of electrical networks of a power system on depth of voltage falls in clusters sensitive to interference load are designed.

The degree of a decrease of depth of voltage falls is determined at parallel operation of shop transformers. The principles of construction control algorithm and protection of the device fast-response automatic reserving (AR) 0,4 kV are designed.

The obtained outcomes will be utilized "Gomelenergo". The device of FAR with TSB has passed factory tests on the Belarus metallurgical plant. The outcomes of a thesis will be used in educational process at the Gomel State Technical University named after Pavel. O. Sukhoi.



ШИРОКОВ Олег Геннадьевич

**УЛУЧШЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ
ПОМЕХОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ 0,4 КВ
С ПИТАЮЩЕЙ СЕТЬЮ ПРИ ВНЕШНИХ ПРОВАЛАХ
НАПРЯЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ С НЕПРЕРЫВНЫМ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ**

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

**05.09.03 - Электротехнические комплексы и системы,
включая их управление и регулирование**

Редактор О.Н. Сакунова

Подписано в печать 12.05.99
Формат 60x84/16. Гарнитура "Таймс".
Усл. печ. 1,39. Уч.-из. л. 1.
Тираж 120 экз. Заказ № 99-02

Отпечатано на ризографе ГГТУ им. П.О. Сухого, г. Гомель,
пр. Октября, 48. Лицензия ЛП № 114 от 19.12.97.