

0-579

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

13 - 9333

ОМЕЛЬЧЕНКО
Борис Денисович

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ИСТОЧНИКОВ
СТАБИЛЬНОГО ТОКА ВОЗБУЖДЕНИЯ
МАГНИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КАНАЛОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Специальность 05.14.11 - электрофизические установки
и ускорители

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1975

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:
кандидат технических наук Анатолий Алексеевич СМИРНОВ.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, старший научный сотрудник
Ирий Николаевич ДЕНИСОВ,
кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Гарун Исмагилович КУТУШЕВ.

Ведущее научно-исследовательское учреждение - Институт физики
высоких энергий (г.Серпухов).

Автореферат разослан " " 1975 г.

Защита диссертации состоится " " 1976 г.
на заседании Ученого совета Лаборатории высоких энергий.

Адрес: г.Дубна, Московской области, ОИЯИ, конференц-зал
Лаборатории высоких энергий.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Лаборатории
высоких энергий.

Учёный секретарь Совета

М.Ф. Лихачёв

М.Ф. Лихачёв

13 - 9333

ОМЕЛЬЧЕНКО
Борис Денисович

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ИСТОЧНИКОВ
СТАБИЛЬНОГО ТОКА ВОЗБУЖДЕНИЯ
МАГНИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КАНАЛОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Специальность 05.14.11 - электрофизические установки
и ускорители

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Диссертация отражает некоторые стороны теории и практики систем стабилизации и контроля больших постоянных токов возбуждения магнитных элементов каналов транспортировки заряженных частиц и является результатом многолетней работы автора в этой области.

Диссертация состоит из трех глав.

ПЕРВАЯ ГЛАВА диссертации посвящена исследованию режимов работы и усовершенствованию источника стабильного постоянного тока серии КВТМС-Т.

В последние годы успехи силовой полупроводниковой техники создали благоприятные предпосылки для коренного переворота в области создания сильноточных систем питания. Этот переворот характеризуется, прежде всего, переходом от традиционных электромашинных агрегатов питания к кремниевым выпрямителям, управляемым дросселями насыщения.

К таким источникам питания относится разработанная специальным конструкторским бюро Московского Электростроительного завода имени В.В.Куйбышева серия статических преобразователей КВТМС-Т (кремниевый выпрямитель, трехфазный, масляного охлаждения, стабилизация токавая).

Являясь чрезвычайно надежным и удобным в эксплуатации устройством (в этом плане преобразователь КВТМС-Т равнозначен обычному силовому трансформатору так называемой наружной установки), новый источник, однако, обеспечивал стабильность тока питания ($\pm 0,15\%$), которая была ниже более чем на порядок по сравнению со стабильностью токов электромашинных агрегатов. Это обстоятельство делало преобразователь КВТМС-Т малоприменимым для использования в технике физического эксперимента.

Как показали теоретические и экспериментальные исследования автора, основной причиной низкой стабильности тока выхода преобразователей серии КВТМС-Т, выполненных по схеме магнитного усилителя с положительной обратной связью, являлись повышенная инерционность силовой регулирующей части преобразователя и зависимость его характе-

ристки управления от величины сетевого напряжения питания. Было установлено, что для высокоточных систем питания с дросселями насыщения принципиальным является увеличение быстродействия силового регулирующего элемента, а не получение значительного коэффициента усиления последнего. На основе этого положения автором была предложена схема так называемого силового трансформатора постоянного тока /1/. Указанное устройство отличается большим быстродействием и относительной независимостью характеристики управления от величины сетевого напряжения питания.

Экспериментальные исследования подтвердили справедливость приведенных выше суждений: силовой блок КВТМС-Т при работе в режиме "трансформатора постоянного тока" обеспечил поддержание среднего значения тока питания с точностью, превосходящей более чем в 30 раз точность, достигнутую при проектном решении. Кроме того, став быстродействующим, силовой блок КВТМС-Т получил новое эксплуатационное качество - способность ведения импульсного режима питания.

Предложенная автором схема силового трансформатора постоянного тока была внедрена в новой промышленной серии кремниевых выпрямителей для нужд экспериментальной физики - серии КВТМС-70.

Для реализации возможностей кремниевых выпрямителей как источников постоянного тока высокой стабильности автором были разработаны регулирующие устройства (под условным названием БТ-104 и БТ-1004), электрические схемы которых содержат ряд новых решений /1, 4/.

Основная отличительная особенность регулятора БТ-104 заключается в схеме его усилителя постоянного тока, который имеет необычную структуру: электромеханический преобразователь - усилитель переменного тока - фазоинверсный каскад - двухполупериодный фазочувствительный каскад с выходом на второй гармонике - кольцевой демо-

дулятор, питаемый опорным напряжением от удвоителя частоты /2,3/. Указанное решение позволяет улучшить динамическую характеристику регулятора.

На рис.1 представлена принципиальная электрическая схема регулятора БТ-1004, предназначенного, в частности, для совместной работы с выпрямителями серии КВТМС-70. Регулятор полностью выполнен на полупроводниковых приборах и, в отличие от выпускаемых в настоящее время промышленностью устройств аналогичного назначения, снабжен усилителем сигнала рассогласования, построенном на основе интегральной микросхемы.

Отличительной особенностью схемы регулятора БТ-1004 является:

1. Наличие блока компенсации колебаний напряжения сети (БККС).
2. Наличие элементов, обеспечивающих импульсный режим питания со стабилизацией тока нагрузки на двух или трех уровнях.

Как показали исследования автора, в условиях, когда имеют место значительные (до $\pm 5\%$) колебания сетевого напряжения (при скорости изменения не более $\pm 1,5\%$ в секунду, ГОСТ 13109-67), более предпочтительной является компенсация колебаний сети, а не увеличение коэффициента усиления системы автоматического регулирования (САР), которое обычно сопряжено с дополнительными мерами по обеспечению устойчивости, ухудшающими динамическую характеристику последней.

Вторая особенность схемы рис.1 связана с необходимостью уменьшения времени магнитной аккомодации t_A при импульсном (экономически выгодном) режиме питания электромагнитов, имеющих, как правило, цельнокованные полюса. Уменьшение величины t_A в указанной схеме достигается двумя путями. Во-первых, за счёт установления начального стабильного уровня тока возбуждения, величина кото-

рого превышает заданный уровень. Во-вторых, путем использования режима, при котором один уровень стабилизации соответствует площадке импульса, а другой - паузе. При этом величина тока паузы в 2-3 и более раз превышает величину тока холостого хода источника. Такой режим питания легко может быть осуществлен с помощью устройства для формирования "рисованных" сильноточных импульсов /5/. Это устройство отличается тем, что в качестве блока возбуждения силового трансформатора постоянного тока применен стабилизатор постоянного тока с программно изменяемой во времени уставкой. Схема рис. I имеет аналогичный блок изменения уставки, а устойчивость САР в период паузы достигается за счёт того, что усилитель постоянного тока выполнен с дополнительной цепью отрицательной обратной связи, подключенной к зажимам вход-выход усилителя через тот же контакт коммутатора, которым осуществляется и изменение уставки /6/. Такое решение позволяет повысить быстродействие источника.

Использование в качестве источника питания силового трансформатора постоянного тока позволяет осуществить новый подход к таким общепринятым электрическим защитам, как защита от перегрузки и защита от короткого замыкания. С целью повышения надёжности первая из них осуществляется измерителем тока с изменяемой уставкой срабатывания, включенным в цепь возбуждения силового дросселя насыщения /7/, а вторая - построена с учетом того обстоятельства, что при коротком замыкании в цепи активно-индуктивной нагрузки существенно увеличиваются пульсации тока питания при постоянстве его среднего значения /8/.

В заключение следует отметить, что использование регуляторов БТ-1004, обеспечивающих без дополнительных подстроек 10 - кратное (от номинального значения) изменение токов возбуждения магнитных

элементов, создает благоприятную предпосылку для решения актуальной для Лаборатории высоких Энергий проблемы -проблемы управления каналами транспортировки заряженных частиц с помощью электронно-вычислительной машины (ЭВМ). В указанном случае ЭВМ используется в режиме так называемых межцикловых коррекций. Этот режим предусматривает изменение токов возбуждения соответствующих магнитных элементов в промежутке между циклами ускорителя при отклонении каких-либо характеристик пучка от заданных. Указанное изменение токов осуществляется выходным релейным регистром ЭВМ путем послышки сигналов управления в схемы Электропривода потенциометров-датчиков источников питания.

ВТОРАЯ ГЛАВА посвящена исследованию и усовершенствованию электромашинного источника питания - формирователя импульсов тока возбуждения септум-магнитов синхрофазотрона ОИЯИ.

Одним из основных направлений совершенствования синхрофазотрона ОИЯИ является создание системы медленного вывода пучка из камеры ускорителя. С точки зрения требований к выходным параметрам источников питания наибольший интерес представляют септум-магниты указанной системы (так называемые формагнит и выводной магнит). Величина тока возбуждения в 12-15 кА (при длительности плоской вершины импульса в 400-500 мс) выделяет септум-магниты в отдельную группу потребителей, для которой требуются специальные источники питания. Формирование подобных импульсов - это область использования силовых полупроводниковых источников, например, серии ИСТ. Серия ИСТ, разрабатываемая Научно-исследовательским институтом электрофизической аппаратуры имени Д.В.Ефремова, предусматривает, в частности, создание тиристорно-транзисторных источников на ток в 10-15 кА (в импульсе). (Завершение этой разработки ожидается лишь в 1977-78 г.г.).

Следует отметить, что использование полупроводниковых преобразователей в режиме формирования импульсов с крутыми фронтами и мощностью в 1500-3000 кВт (именно такой мощностью характеризуются цепи возбуждения септум-магнитов) порождает свою проблему - проблему защиты сети Лаборатории от регулярных циклических возмущений при работе системы медленного вывода. Внедрение этих источников питания, как правило, должно быть связано с капитальной реконструкцией системы энергоснабжения Лаборатории, требующей значительных затрат средств и времени. Указанные обстоятельства предопределили выбор электромашинных источников питания для септум-магнитов синхрофазотрона ОИЯИ, успешный вывод пучка из камеры которого был осуществлен в мае 1972 г.

Применение электромашинного агрегата с большим маховым моментом, как известно, практически исключает регулярные возмущения сети, связанные с импульсным характером нагрузки, но, с другой стороны, инерционность генератора постоянного тока делает его малоприспособным на роль источника возбуждения септум-магнитов.

Как показали исследования автора, динамические характеристики электромашинного источника питания септум-магнитов могут быть существенно улучшены в случае выполнения его системы автоматического регулирования (САР) абсолютно устойчивой.

Цепь возбуждения септум-магнита (например, формагнита) характеризуется малой постоянной времени (17 мс), что вынуждает учитывать инерционность такого элемента как тиристорный выпрямитель возбуждения генератора постоянного тока. Согласно теории автоматического регулирования, указанный выпрямитель является звеном с запаздыванием T . Проведенный анализ САР электромашинного источника питания формагнита в части определения граничного

значения запаздывания τ_0 , при котором система находится на границе устойчивости, показал неприемлемость использования шестифазного выпрямителя возбуждения с питанием от сети промышленной частоты:

$$\tau_B = 1,33 \text{ мс} \gg \tau_0 = 0,136 \text{ мс.}$$

Устойчивость САР обычно обеспечивается введением воздействия по производной, что неизбежно приводит к уменьшению быстродействия системы регулирования, а при циклическом характере работы - к нежелательному увеличению длительности фронтов. Проблема устойчивости электромашинного источника питания септум-магнитов была решена автором путем использования электронного регулятора возбуждения с $\tau = 0$, что позволило получить максимальное для данного силового оборудования быстродействие и попутно решить проблему подавления низкочастотных пульсаций (6,2 Гц) в цепи якоря генератора.

Генератор постоянного тока ГП (типа ГП-5000) (см.рис.2) получает возбуждение от выпрямителей прямой и обратной полярностей (ВПП и ВОП, соответственно). Первый из них работает в "старт-стопном" режиме, а второй - в статическом режиме, перемагничивая генератор в период паузы. Применение выпрямителя ВОП в сочетании с диодным ключом ДК в цепи якоря генератора составляет отличительную особенность данного формирователя импульсов /9/. Указанное конструктивное исполнение позволяет чрезвычайно упростить систему возбуждения и повысить надёжность источника в случае оптимального для септум-магнитов режима работы с нулевым остаточным током в период паузы.

Изменение тока возбуждения генератора ГП осуществляется регулятором РВЛ, состоящим из каскада предварительного усиления

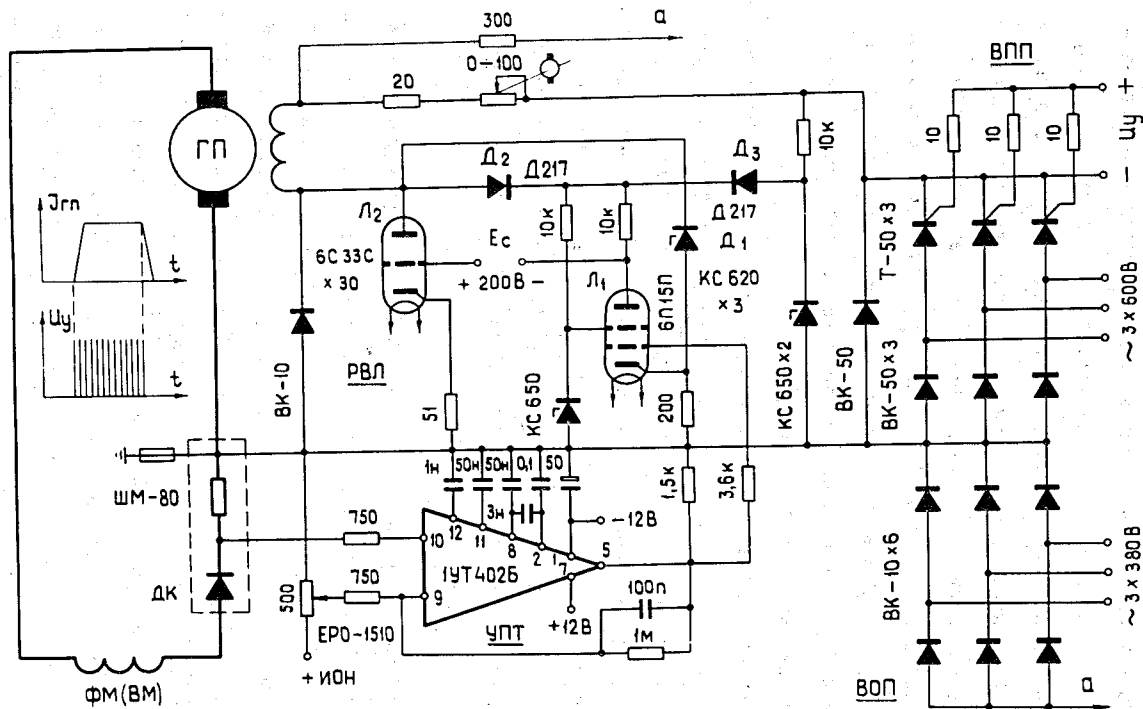


Рис.2. Принципиальная электрическая схема источника питания
формангита (и выводного магнита).

(L_1), каскада мощности (L_2) и цепи защиты последнего от перенапряжения (L_3). Отличительной особенностью РВЛ является то, что, с целью исключения перенапряжения на лампах L_2 в момент закрытия выпрямителя ВПП, в анодную цепь лампы L_1 включен диодный коммутатор (L_2 - L_3), производящий в указанный момент времени переключение анодного питания лампы L_1 на ЭДС - самоиндукции обмотки возбуждения генератора ГП. РВЛ управляется выходом усилителя сигнала рассогласования (УТ402Б) и обеспечивает стабильность тока нагрузки в период площадки импульса не ниже 0,1%.

Кроме приведенных на рис.2 элементов, источник питания формагнита содержит силовой транзисторный регулятор, рассчитанный на ток до 1,5 кА (в импульсе). Регулятор подключается параллельно одному из полюсов кабельной линии, питающей формагнит, и осуществляет быстрое (с частотой до 1000 Гц) изменение тока возбуждения последнего в пределах 5-6%. Регулятор является исполнительным элементом системы автоматической коррекции положения выведенного пучка с помощью электронно-вычислительной машины (ЭВМ) типа ТРА-1001.

ТРЕТЬЯ ГЛАВА посвящена разработке системы автоматического контроля стабильности источников тока возбуждения магнитных элементов каналов транспортировки заряженных частиц. Применение ЭВМ для управления магнитными каналами в части оптимизации характеристик транспортируемого пучка делает указанный выше ток возбуждения изменяемым во времени параметром. Как было отмечено в первой главе, ЭВМ в этом случае автоматически изменяет уровни токов питания магнитов и линз при отклонении характеристик пучка от заданных. Последнее обстоятельство делает неприемлемой общепринятую структуру централизованного контроля, содержащую традиционные устройства задания уста -

вок(констант). Автором предложен способ контроля источников стабильного тока, исключающий применение указанных устройств. Суть этого способа заключается в том, что система централизованного контроля поочередно измеряет величины, мало отличающиеся друг от друга в случае нормальной работы систем автоматического регулирования (САР) источников питания /10/.

На рис.3 представлена схема обнаружения отклонений системы автоматического контроля стабильности источников питания вновь создаваемого в Лаборатории высоких энергий канала выведенного пучка.

Входные цепи измерительного дифференциального усилителя поочередно подключаются к датчику стабилизируемого тока и к потенциометру-датчику каждого источника питания. В случае нормальной работы САР данного источника напряжения, снимаемые с указанных датчиков и характеризующие определенным образом так называемый статизм системы, мало отличаются друг от друга по величине. Совершенно очевидно, что такой способ контроля приемлем только для источников питания, близких по классу точности. Этому условию отвечают источники питания интересующих нас магнитных каналов.

Особое внимание в третьей главе уделено коммутирующему устройству системы. И это не случайно: указанное устройство является элементом, вносящим, как правило, наибольший вклад в нестабильность работы прецизионной системы обегавшего контроля. Автором предложен новый тип коммутатора низковольтных сигналов - когерентный шаговый искатель /11/.

На стабильность контактного сопротивления существенно влияют пленки потускнения, которыми обычно покрыты ламели и щетки телефонных искателей. Исследования автора показали, что характеристика

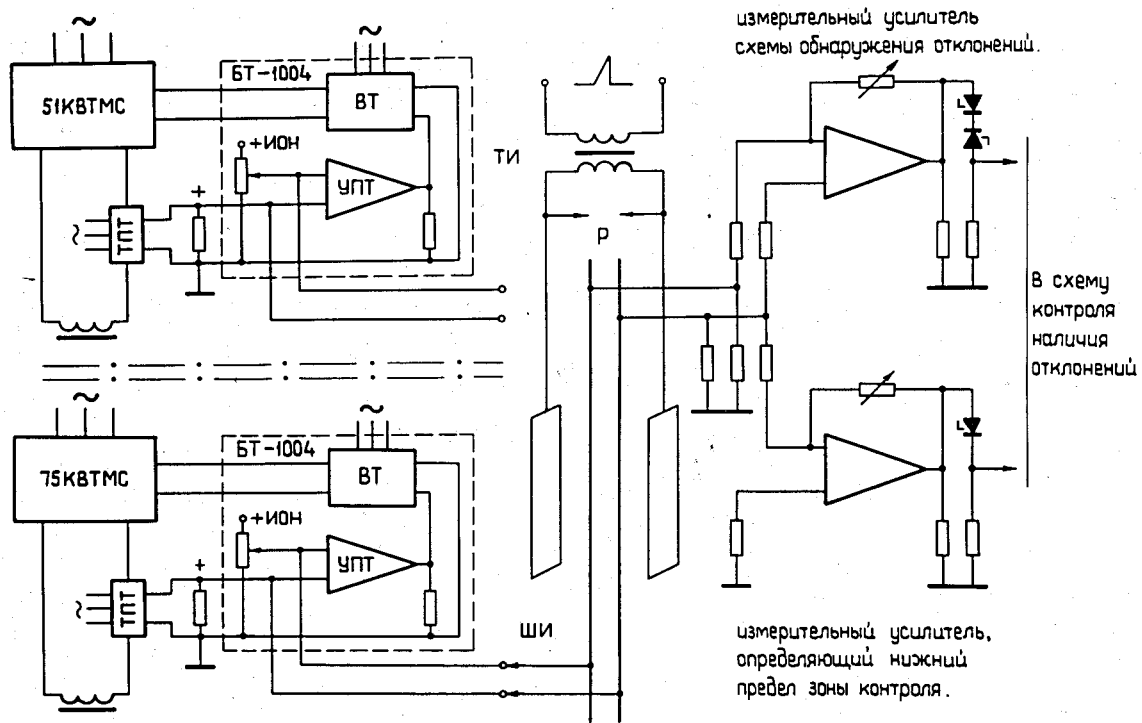


Рис. 3. Система автоматического контроля стабильности источников типа КВТМС. Схема обнаружения отклонений. ТПТ - измерительный трансформатор постоянного тока.

искателя как коммутирующего устройства может быть значительно улучшена путем предварительного пробоя пленок потускнения за счет внешнего электромагнитного излучения /12/.

Экспериментальные данные подтвердили высокую эффективность применения когерентного явления для увеличения стабильности контактных сопротивлений шаговых искателей. Когерентный шаговый искатель с успехом может применяться как для коммутации сигналов, превышающих напряжение фриттинга ($\sim 0,5В$), так и для коммутации милли- и микровольтовых сигналов, при этом работа его бронзовых контактных пар совершенно не зависит от наличия пленок потускнения. В этом плане такой коммутатор является устройством с неограниченным сроком службы.

Главные результаты работ, на основе которых написана диссертация, состоят в следующем:

1. Исследованы режимы работы источника стабильного тока - кремниевого выпрямителя, управляемого дросселем насыщения, на основе чего предложена схема так называемого силового трансформатора постоянного тока, позволившая более чем на порядок повысить стабильность тока выхода статических преобразователей промышленной серии КВТМС-Т и сделавшая их, тем самым, перспективными источниками больших постоянных токов для нужд экспериментальной физики.

2. Для реализации возможностей кремниевых выпрямителей серии КВТМС-Т как источников постоянного тока высокой стабильности разработаны регулирующие устройства, электрические схемы которых защищены шесть авторскими свидетельствами и позволяют перейти к управлению каналами транспортировки заряженных частиц с помощью электронно-вычислительной машины.

3. Дан сравнительный анализ режимов работы полупроводникового и электромашинного источников питания септум-магнитов в части возмущающего воздействия на Энергосистему физической лаборатории; показано определенное преимущество в этом плане электромашинного источника, на основе исследования системы автоматического регулирования которого разработан быстродействующий электромашинный формирователь импульсов тока возбуждения септум-магнитов синхротрона ОИЯИ, электрическая схема которого защищена авторским свидетельством.

4. Разработан силовой транзисторный регулятор - исполнительный элемент системы автоматического управления положением выведенного пучка синхротрона с помощью электронно-вычислительной машины.

5. Предложен способ централизованного контроля стабильности источников тока возбуждения магнитных элементов каналов транспортировки заряженных частиц, который характеризуется тем, что предусматривает поочередное измерение величин, мало отличающихся друг от друга в случае нормальной работы систем автоматического регулирования указанных источников. Показано, что этот способ контроля стабильности источников тока возбуждения магнитных элементов является наиболее оптимальным для каналов транспортировки заряженных частиц, управляемых с помощью электронно-вычислительной машины.

6. Впервые выполнено исследование нового типа коммутатора низковольтных сигналов - когерентного шагового искателя, конструкция которого защищена авторским свидетельством, на основе чего доказана высокая эффективность применения когерентного явления как средства увеличения стабильности переходных контактных сопротивлений.

7. Разработана система автоматического контроля стабильности источников сильного постоянного тока, предусматривающая использование когерентного шагового искателя - коммутатора измеряемых сигналов.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Б.Д.Омельченко. Тиратронный регулятор постоянного тока для силовых блоков серии КВТМС-Т. ПТЭ, Москва, 1970, № 5, стр.146.
2. Б.Д.Омельченко. Устройство для стабилизации постоянного тока. Авт.свид. № 161372, Бюлл.изобрет., 1964, № 7.
3. Б.Д.Омельченко. Устройство для стабилизации постоянного тока. Авт.свид. № 258441, Бюлл.изобрет., 1970, № 1.
4. Б.Д.Омельченко. Тиристорный регулятор БТ-1004 для силовых блоков КВТМС-Т. ПТЭ, Москва, 1974, № 3, стр.140.
5. Б.Д.Омельченко. Устройство для формирования сильноточных импульсов. Авт.свид. № 311389, Бюлл.изобрет., 1971, № 24.
6. Б.Д.Омельченко. Стабилизатор импульсов тока. Авт.свид. № 491205, Бюлл. ОИПОТЭ, 1975, № 41.
7. Б.Д.Омельченко. Устройство для стабилизации постоянного тока. Авт.свид. № 259183, Бюлл.изобрет., 1970, № 2.
8. Б.Д.Омельченко. Устройство для стабилизации постоянного тока. Авт.свид. № 323829, Бюлл.изобрет., 1972, № 1.
9. Б.Д.Омельченко. Устройство для формирования сильноточных импульсов. Авт.свид. № 390633, Бюлл. ОИПОТЭ, 1973, № 30.
10. Б.Д.Омельченко. Автоматический контроль стабильности источников сильного тока. ПТЭ, Москва, 1970, № 6, стр.159.
11. Б.Д.Омельченко. Шаговый искатель с контактной системой. Авт.свид. № 217544, Бюлл.изобрет., 1968, № 16.
12. Б.Д.Омельченко. Когерентный шаговый искатель - коммутатор низковольтных сигналов. Измерительная техника, Москва, 1973, № 6, стр.61.

Рукопись поступила в издательский отдел
25 ноября 1975 года.