

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

97-181

P13-97-181

В.В.Калиниченко, С.Б.Федоренко

СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ИСТОЧНИК  
ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТА БЕТА-СПЕКТРОМЕТРА.

Компенсационный стабилизатор постоянного тока

1997

В 1995 - 1996 годах в ЛЯП ОИЯИ разработан, изготовлен и введен в эксплуатацию стабилизированный источник постоянного тока для питания обмотки электромагнита бета-спектрометра, создаваемого в НЭОЯС и РХ ЛЯП. Этот источник должен удовлетворять следующим основным требованиям.

1. Диапазон регулирования тока 0,1+2,2 А.
2. Работать на активно-индуктивную нагрузку, сопротивление и индуктивность которой составляют 18,5 Ом и 0,73 Гн соответственно.
3. Относительные величины нестабильности тока и его пульсаций при величине тока нагрузки  $I_{н} \geq 1$  А не должны превышать  $10^{-4}$  при выполнении следующих условий:
  - нестабильность сетевого напряжения (+5+-10)%;
  - температура в рабочем помещении (22+27) °С;
  - изменение сопротивления нагрузки +8%.
4. Обеспечивать оперативное изменение полярности тока в нагрузке и работать в режиме размагничивания магнитопровода возбуждаемого электромагнита.

Упрощенная блок-схема обсуждаемого стабилизированного источника постоянного тока представлена на рис. 1. Устройство содержит: 1-силовой трансформатор, 2-блок стабилизаторов напряжения, 3-выпрямитель 20В, 4-контактор, 5-основной выпрямитель с фильтром, 6-транзисторный регулятор постоянного тока, 7-измерительный преобразователь постоянного тока (ИППТ), 8-блок реверса тока в нагрузке, 9-внешний измеритель тока в нагрузке, 10-измерительный резистор (шунт) для системы защиты и контроля ( $R_{изм}$ ), 11-релейно-транзисторный ключ "пуск", 12-релейно-транзисторный ключ "стоп", 13-схема защиты по току, 14-схема контроля наличия тока, 15-схема контроля обрыва цепи нагрузки, 16-измерительно-усилительный блок, 17-схема управления, 18-цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), 19-нагрузка, 20-регистр ввода-вывода, 21-внешний ЦАП, 22-цепь коррекции, 23-преобразователь кодов, SA1- сетевой тумблер, SA2-переключатель режима управления, SB1-кнопка "Стоп", SB2-кнопка "Пуск", VD-обратный диод.

Рассматриваемый стабилизированный источник постоянного тока (в дальнейшем для простоты именуемый источником тока) имеет два режима управления: ручной и внешний (от ЭВМ); два режима работы: "работа" и "размагничивание"; предусмотрен также реверс тока в нагрузке. В рабочем режиме через нагрузку протекает постоянный ток, установленной величины и полярности. В режиме "размагничивание" полярность тока в нагрузке изменяется с частотой ~0,5Гц, а его величина постепенно (с дискретностью ЦАП - 1мА) уменьшается от рабочего значения до 0 за 20 минут.

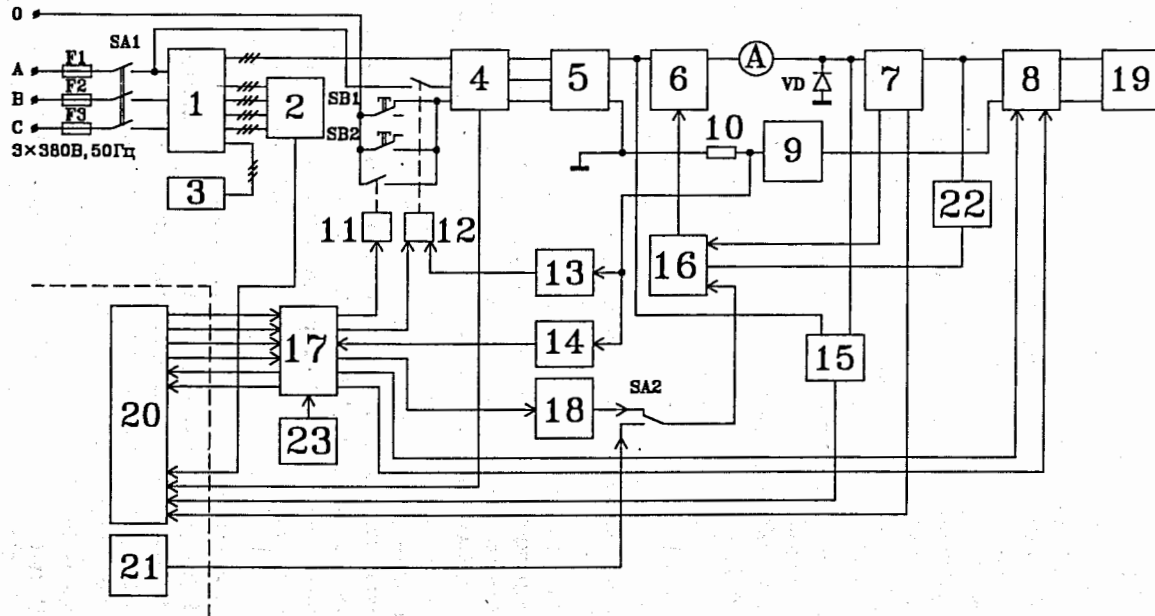


Рис. 1. Упрощенная блок-схема стабилизированного источника тока

ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
 НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ИНСТИТУТ

При включении тумблера SA1 "сеть" сетевое напряжение подается на первичную сторону силового трансформатора 1, а его вторичные напряжения используются для питания блока стабилизаторов напряжения 2, выпрямителя 3 и основного выпрямителя 5.

Изменения режима управления и полярности тока в нагрузке возможны только в режиме "размагничивание" и при отсутствии тока в нагрузке. Поэтому для выбора режима управления и полярности тока в нагрузке необходимо переключатель режима работы "работа-размагничивание" схемы управления 17 установить в положение "размагничивание". Режим управления устанавливается двухсекционным тумблером SA2 (на блок-схеме показана только одна его секция), а полярность тока нагрузки тумблером "полярность" (схема управления 17), после этого источник тока переводится в режим "работа". Установка значения выходного тока производится четырехрядным кодовым переключателем (преобразователь кодов 23) и нажатием кнопки "установка тока ручная" (блок ЦАП 18) записывается в регистр хранения ЦАП.

Включение и выключение тока нагрузки выполняется кнопками SB1 "пуск", и SB2 "стоп" соответственно. При нажатии кнопки SB1 "пуск" происходит включение основного выпрямителя 5. Последовательный транзисторный регулятор 6 обеспечивает регулирование тока в нагрузке 19, а блок реверса тока 8 - изменение его полярности.

В источнике тока предусмотрена максимальная защита по току. С измерительного резистора 10 сигнал поступает на схему защиты 13, управляющую релейно-транзисторным ключом 12. При превышении током нагрузки максимального допустимого значения (2.5 А) релейно-транзисторный ключ 12 разрывает цепь питания контактора 4, что приводит к выключению тока в нагрузке.

При внешнем управлении источником тока тумблер SA2 подключает выход внешнего ЦАП 21 ко входу измерительно-усилительного блока 16. Через регистр ввода-вывода 20 в источник тока поступают сигналы управления и собираются сигналы диагностики.

Рассматриваемый источник тока содержит в основном элементы (узлы, блоки и др.) двух типов: элементы силовой и измерительной электроники и элементы цифровой электроники. Элементы силовой и измерительной электроники образуют компенсационный стабилизатор постоянного тока непрерывного действия, который, собственно, и является предметом обсуждения в настоящей работе. Элементы цифровой электроники образуют схему управления источника тока, которая в данной работе обсуждается в минимальном объеме,

необходимом для описания работы источника, то есть практически на уровне выполняемых функций.

Рассмотрим основные элементы силовой электроники, входящие в источник тока. Для питания всех схем источника требуются нестабилизированные источники напряжения +10, +24 и +20В, стабилизированные источники напряжения +5, +15 и -15В, а также регулируемый стабилизированный источник (18±22)В с изолированными выходами. Нестабилизированное напряжение +20В получается с помощью выпрямителя 3, выполненного по трехфазной мостовой схеме с емкостным фильтром (принципиальная схема не приводится). Все остальные напряжения получаются в блоке стабилизаторов напряжения 2, принципиальная схема которого представлена на рис. 2.

Блок стабилизаторов напряжения 2 содержит 4 трехфазных мостовых выпрямителя: VD1-VD6, VD7-VD12, VD13-VD18, и VD19-VD24, 4 емкостных фильтра: C1, C4, C6 и C8, а также 4 интегральных стабилизатора напряжения: DA1-DA4. Стабилизированный источник постоянного напряжения, содержащий выпрямитель VD19-VD24 и интегральный стабилизатор DA4, обеспечивает регулировку выходного напряжения (с помощью переменного резистора R2) в требуемых пределах, а также имеет изолированные выходы. Все необходимые для блоков 2 и 3 переменные трехфазные напряжения подаются на предназначенные для этого входы этих блоков от соответствующих обмоток силового трансформатора 1.

Силовой трансформатор 1 состоит из трех одинаковых однофазных трансформаторов, вторичные обмотки которых соединены соответствующим образом для получения необходимых трехфазных напряжений, а первичные обмотки, соединенные должным образом, подключаются к трехфазной силовой сети. Кроме упомянутых выше обмоток, необходимых для блоков 2 и 3, трансформатор 1 имеет обмотки для основного выпрямителя 5. Эти обмотки подключаются к выводам переменного напряжения выпрямителя 5 (VD1-VD6 на рис.3) через нормально разомкнутые контакты КМ контактора 4 (рис.3) здесь же показаны цепи управления контактором 4, (принципиальная схема трансформатора 1 не приводится).

Как уже указывалось, основой источника тока является компенсационный стабилизатор постоянного тока непрерывного действия. Этот тип стабилизатора характеризуется относительно большими потерями мощности, но практически не создает электромагнитных помех. Обладающие более высокими электрическими и массогабаритными показателями стабилизаторы импульсного действия характеризуются повышенным уровнем электромагнитных помех, что плохо совмещается с измерительными системами высокой чувствительности.

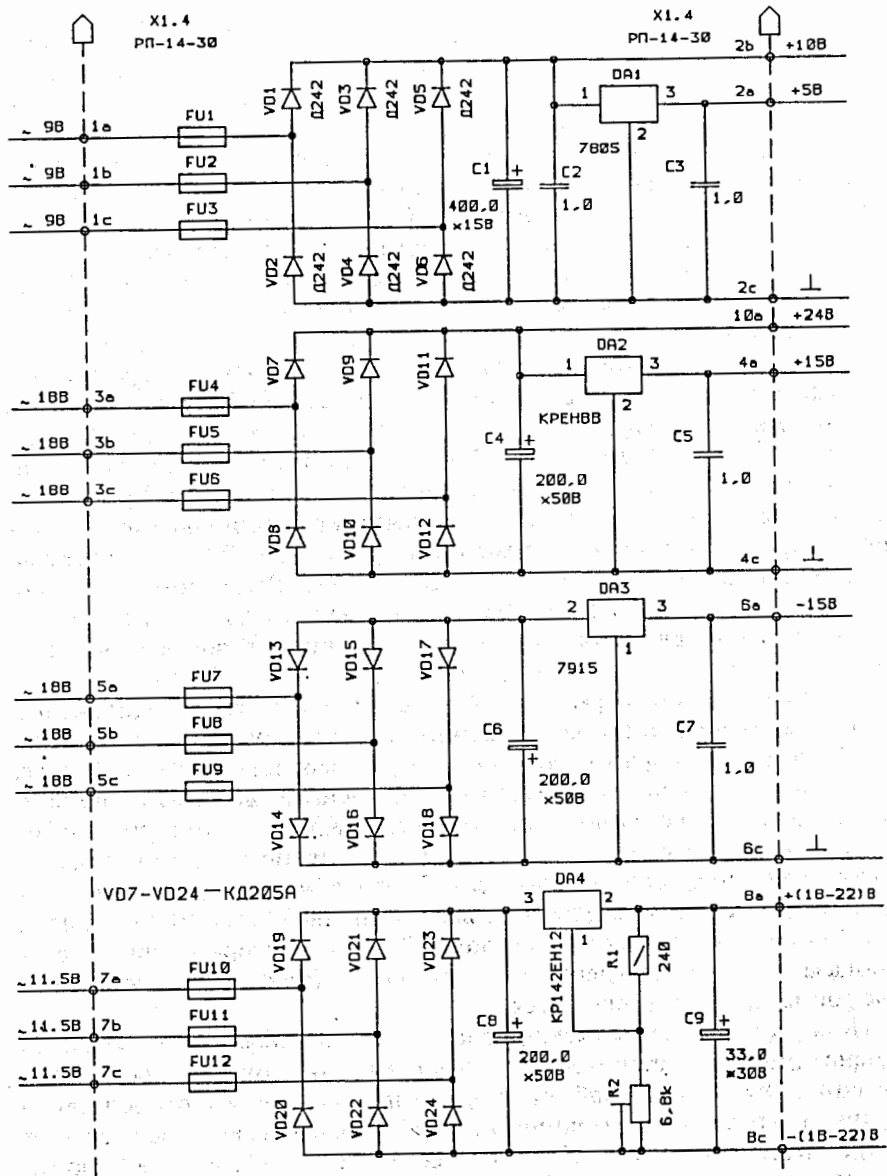


Рис. 2. Принципиальная схема блока стабилизаторов напряжения

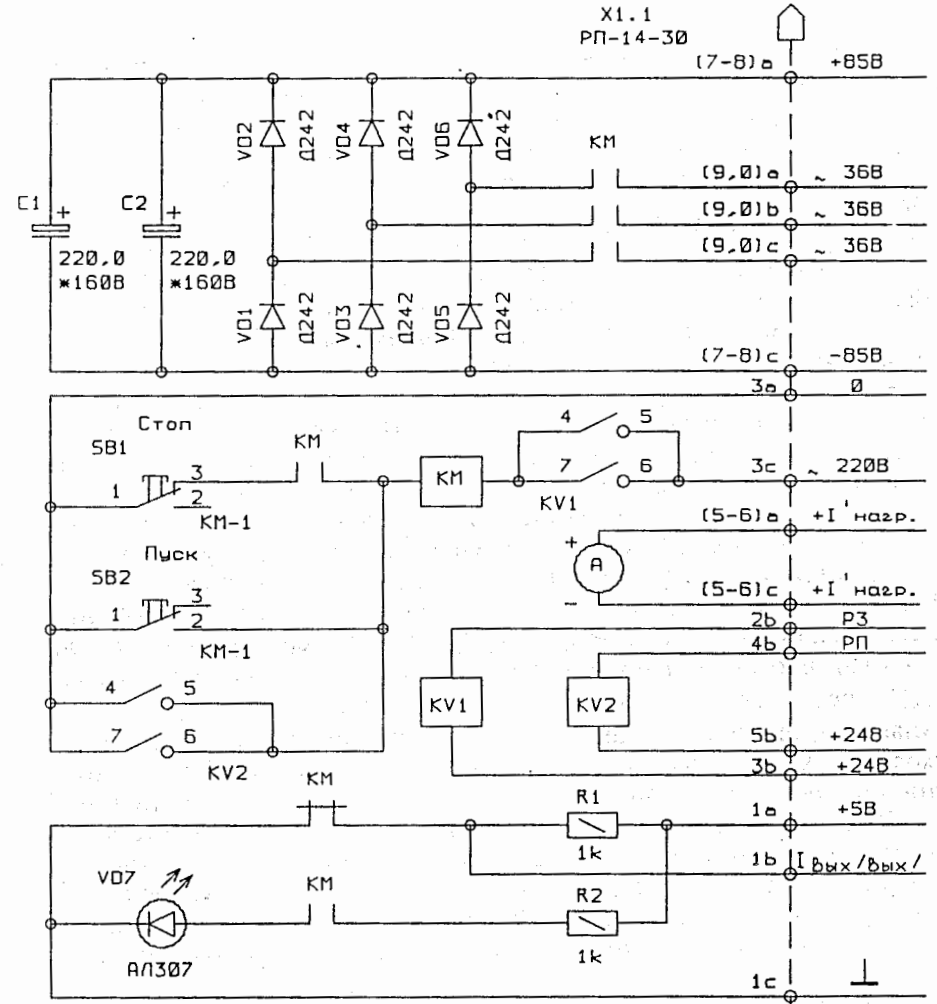


Рис.3. Принципиальная схема блока основного выпрямителя

Основными узлами обсуждаемого стабилизатора тока непрерывного действия является транзисторный регулятор постоянного тока 6, измерительный преобразователь постоянного тока 7, измерительно-усилительный блок 16 и источник опорного напряжения, роль которого выполняют внутренний 18 или внешний 21 цифро-аналоговые преобразователи.

На рис. 4 представлена принципиальная схема силового транзисторного блока, содержащего 5 транзисторов КТ808, включенных параллельно. Симметрирование параллельно работающих силовых транзисторов обеспечивается с помощью стандартных средств [1]. В силовой цепи каждого из транзисторов включен плавкий предохранитель, с помощью которого отключается пробившийся транзистор. Пробой транзистора индицируется свечением соответствующего светодиода. Транзисторы VT1-VT5 установлены на ребристом радиаторе из алюминия, размеры которого 170x110x60 мм. В транзисторном регуляторе 6 используется два таких блока, включенных параллельно. Транзисторный регулятор 6 работает при естественном воздушном охлаждении. Одним из требований к источнику тока является требование многосуточной непрерывной работы, поэтому установлен облегченный режим работы силовых транзисторов. При выходе из строя 1-3 силовых транзисторов в процессе многосуточного сеанса нет необходимости выключать источник тока раньше намеченного срока окончания эксперимента.

Принципиальная схема измерительно - усилительного блока (ИУБ) 16 показана на рис. 5. ИУБ 16 содержит схему сравнения (DA1), усилитель напряжения (VT2) и эмиттерный повторитель (VT4, VT6). Выходное напряжение ИППТ ( $U_{ин}$ ) и опорное напряжение ( $U_{оп}$ ) подаются, соответственно, на инвертирующий 2 и неинвертирующий 3 входы DA1. Напряжение рассогласования с выхода 6 DA1 поступает на вход усилителя напряжения VT2, к выходу которого подключен вход составного эмиттерного повторителя VT4, VT6. Выход эмиттерного повторителя VT6 через контакт 0b разъема X2.3 соединен с управляющим входом транзисторного регулятора постоянного тока 6. База транзистора VT4 подключена к контакту ба (разъем X2.3), который через цепь коррекции 22 соединен с соответствующим участком (см. блок- схему рис. 1) токовой цепи источника тока.

Цепочка VD8C8 и VD7C14 служит для фильтрации напряжения +85В. Диод VD5 предохраняет транзистор VT2 от перегрузки по току при пробое промежутков коллектор - база транзисторов VT4, VT6. Цепочки R11C1, R22C9C10 являются цепями частотной коррекции в контуре стабилизации тока.

Защита микросхемы DA1 при выходе из строя транзистора VT2 осуществляется с помощью цепочки R23VD1: она обеспечивает

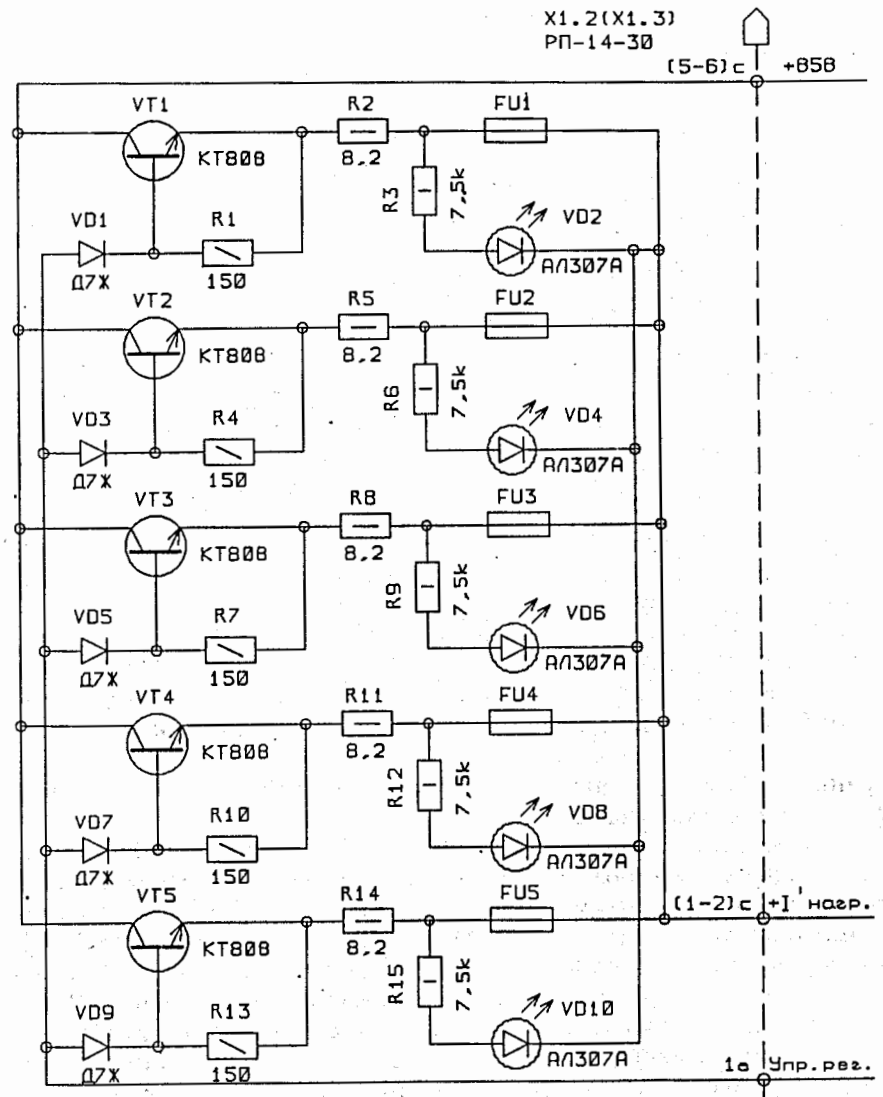


Рис.4. Принципиальная схема силового транзисторного блока

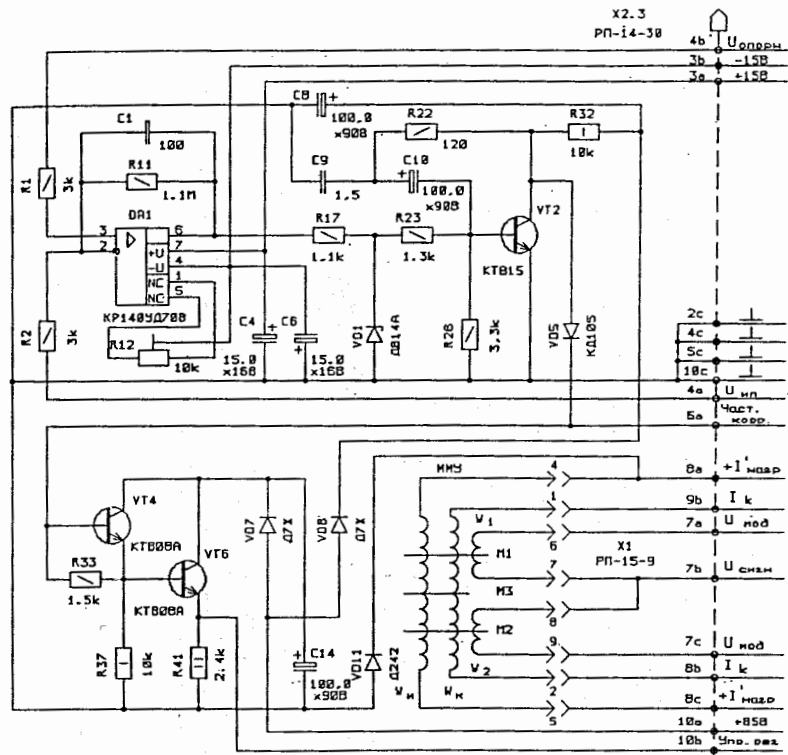


Рис.5. Принципиальная схема измерительно-усилительного блока

ограничение напряжения, поступающего в этом случае на вывод 6 DA1 до безопасного для DA1 уровня.

Измерительный преобразователь 7 выполнен на основе магнитного модулятора с удвоением частоты. Преимущества ИППТ этого типа перед другими хорошо известны [2]. ИППТ 7 содержит магнитомодуляционный узел (ММУ) и электронную схему. По конструктивному исполнению ММУ и схемотехническим решениям обсуждаемый ИППТ очень близок к рассмотренному в работе [3].

На рис. 5, кроме принципиальной схемы ИУБ, представлена также принципиальная схема ММУ. ММУ содержит рабочие магнитопроводы M1 и M2, соответственно, с модуляционными обмотками W1 и W2 на них, так называемый магнитный экран M3, а также обмотки измерительную  $W_{и}$  и компенсационную  $W_{к}$ .

Для полноты описания силовой части источника тока необходимо рассмотреть ещё блок реверса тока  $\delta$ .

Блок реверса тока  $\delta$ , как показано на блок - схеме рис.1, включен между выходом компенсационного стабилизатора тока и

нагрузкой 19. Такая структура может быть применена в высокоточных стабилизаторах тока только при отсутствии в блоке  $\delta$  токов утечки. В противном случае качество стабилизации тока в нагрузке будет существенно ухудшено. Блок реверса тока  $\delta$  был разработан с учетом этого требования.

На рис. 6 приведена его принципиальная схема. Силовая часть блока реверса тока  $\delta$  представляет собой мостовую схему, содержащую 4 бесконтактных ключа ( составные транзисторы VT1VT3, VT2VT4, VT5VT7 и VT6VT8) и 4 контактных ключа ( KV1.1, KV1.2, KV2.1 и KV2.2). При этом каждое плечо мостовой схемы содержит два соединенных последовательно ключа, один из которых является бесконтактным, а другой - контактным. Контактные ключи являются контактами электромагнитных поляризованных реле KV1 и KV2, на обмотки которых через соответствующие контакты разъема X2.1 подаются возбуждающие импульсы напряжения от схемы управления 17. В обсуждаемой мостовой схеме запертые бесконтактные ключи могут быть отключены с помощью контактных ключей по сигналам схемы управления, при этом все замыкания и размыкания контактных ключей происходят при обесточенных контактных ключах. При размыкании контактного ключа разрывается цепь, через которую протекает ток утечки соответствующего бесконтактного ключа.

В режиме "размагничивание" в течение всего процесса размагничивания включены все 4 контактных ключа (KV1.1, KV1.2, KV2.1, KV2.2). Бесконтактные ключи в процессе размагничивания включаются и выключаются с частотой  $\sim 0,1$  Гц попарно по очереди: когда включаются ключи VT1VT3 и VT6VT8, то ключи VT2VT4 и VT5VT7 выключаются, а после включения ключей VT2VT4 и VT5VT7 ключи VT1VT3 и VT6VT8 выключаются, а затем все повторяется. В режиме "работа" состояние всех ключей определяется положением тумблера "полярность": при одной полярности включены, например, бесконтактные ключи VT1VT3, VT6VT8 и контактные ключи KV1.1, KV1.2, а остальные - выключены; при другой полярности, наоборот, включены VT2VT4, VT5VT7 и KV2.1, KV2.2, а другие выключены. Иными словами, для изменения полярности тока в нагрузке необходимо изменить соответственно состояния всех ключей.

Управление бесконтактными ключами также осуществляется схемой управления 17. В схеме управления 17 имеются два ключа (ключи 1 и 2), которые специально предназначены для управления бесконтактными ключами блока реверса тока  $\delta$ . При нормальной работе схемы управления 17 может быть замкнут либо ключ 1, либо ключ 2, одновременное замыкание обоих ключей происходит при возникновении неисправностей. В блоке реверса тока  $\delta$  имеется генератор переменного напряжения прямоугольной формы (DD1, DD2, VT9-VT14), к выходным выводам которого через диоды

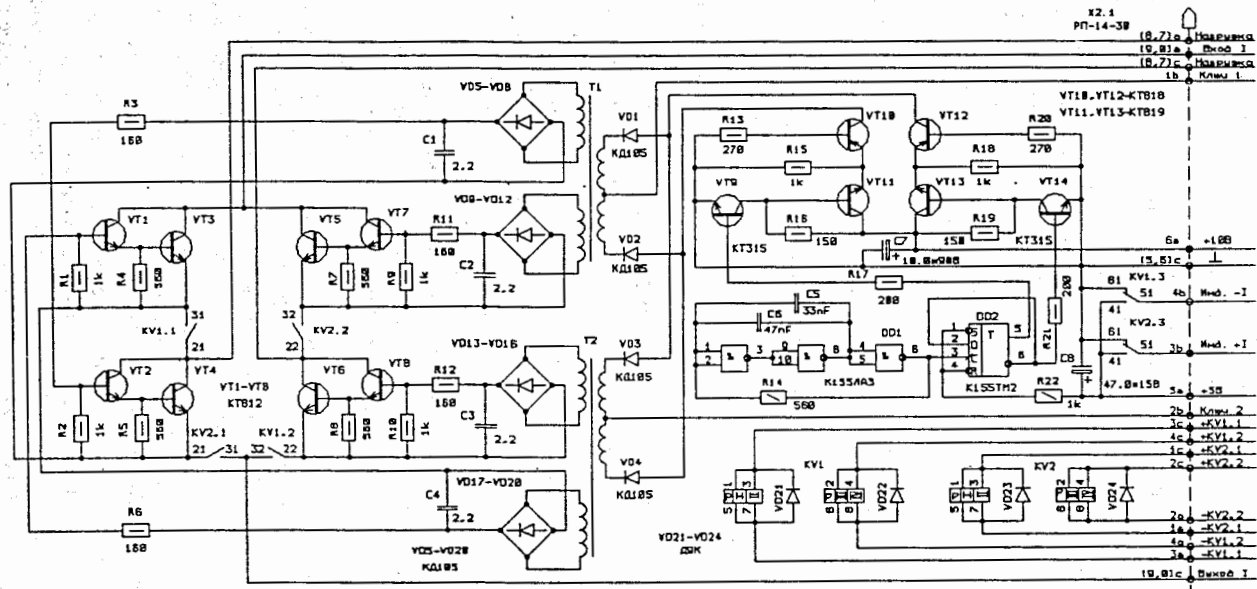


Рис. 6. Принципиальная схема блока реверса



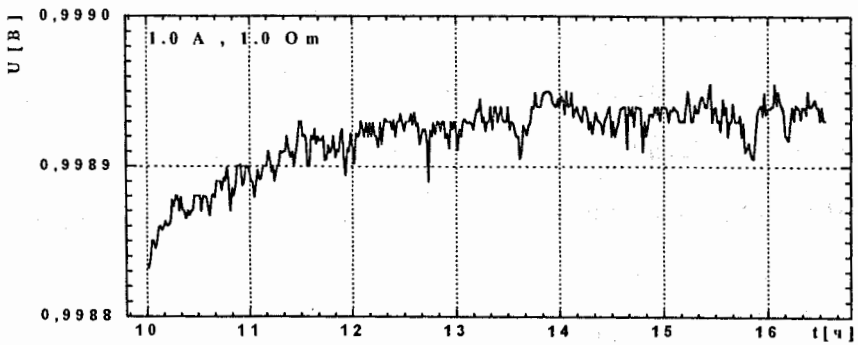
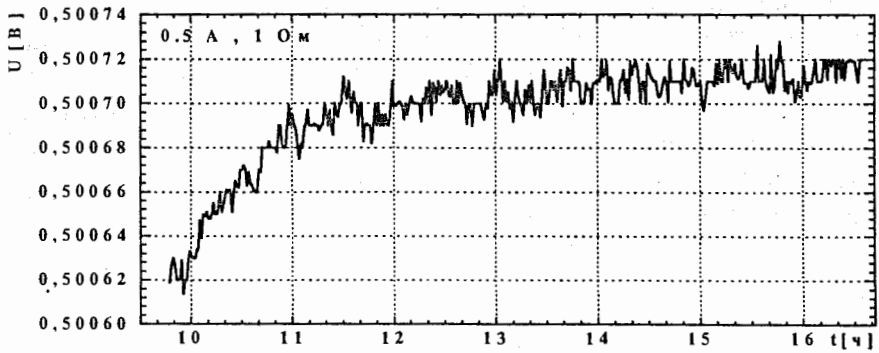
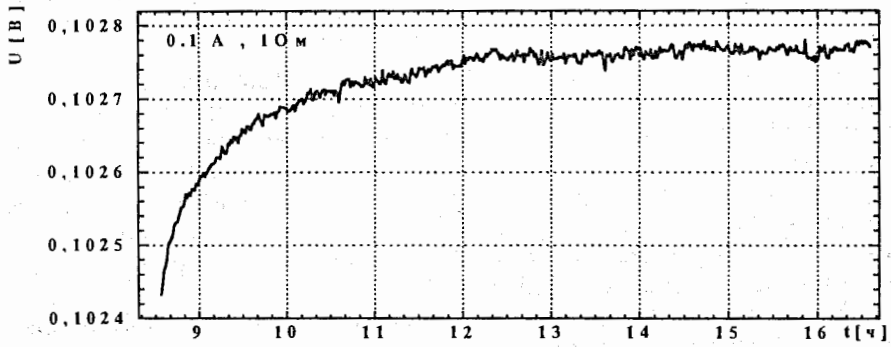


Рис. 7

VD1, VD2 и VD3, VD4 подсоединены, соответственно, первичные обмотки импульсных трансформаторов T1 и T2. Средние выводы указанных обмоток через контакты 1b и 2b разъема X2.1 соединены, соответственно, с ключами 1 и 2.

При замыкании ключа 1 средний вывод первичной обмотки T1 соединяется с общей шиной, вследствие чего к этой обмотке подводится переменное напряжение. Соответственно, на выходах выпрямителей VD5-VD8 и VD9-VD12 появляются положительные напряжения, которые являются отпирающими для бесконтактных ключей VT2VT4 и VT5VT7. Аналогично при замыкании ключа 2 отпирающие напряжения появляются на управляющих входах бесконтактных ключей VT1VT3 и VT6VT8.

Временные испытания рабочего образца обсуждаемого источника тока были проведены в апреле-июне 1996 года на автоматизированном измерительном стенде, выполненном в стандарте КАМАК. В стенде использованы ПК Правец-16 и цифровой вольтметр В7-34, а также катушка сопротивления измерительная образцовая типа P321 1,0 Ом. На рис.7 представлены временные зависимости тока для трех значений уставки: 0,1, 0,5 и 1,0А. Выбег тока практически заканчивается через 1,5 часа после включения источника и составляет  $2,5 \times 10^{-3}$ ,  $1,6 \times 10^{-4}$  и  $1 \times 10^{-4}$ , соответственно, для уставок 0,1, 0,5 и 1,0А. Дрейф за последующие 6 часов работы составляет  $0,8 \times 10^{-4}$  ( для уставок 0,1 и 0,5А) и  $0,5 \times 10^{-4}$  ( для уставки 1,0А ).

#### Литература

1. Денисов Ю.Н., Калиниченко В.В. и др. Сообщение ОИЯИ 13-5068, Дубна, 1970.
2. Казакова Г.Г., Калиниченко В.В. Сообщение ОИЯИ P13-96-326, Дубна, 1996.
3. Спектор С.А. Измерение больших постоянных токов. Л.: Энергия, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел  
5 июня 1997 года.

Калиниченко В.В., Федоренко С.Б.

P13-97-181

Стабилизированный источник постоянного тока  
для возбуждения электромагнита бета-спектрометра.  
Компенсационный стабилизатор постоянного тока

Описан стабилизированный источник постоянного тока для питания обмотки электромагнита бета-спектрометра. Диапазон регулирования тока составляет 0,1 + 2,2 А, номинальное напряжение источника — 45 В. Величины нестабильности тока и пульсаций составляют  $\sim 10^{-4}$  при рабочем токе  $I_n \geq 1$  А. Приведены блок-схема источника, а также принципиальные схемы ряда силовых и измерительных узлов.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1997

#### Перевод авторов

Kalinichenko V.V., Fedorenko S.B.

P13-97-181

Direct-Current-Regulated Power Supply  
for Excitation of Beta Spectrometer Electromagnet.  
Compensation Direct-Current Stabilizer

A dc-regulated power supply for the winding of the beta spectrometer magnet is described. The current regulation range is 0,1 + 2,2 A, the rated voltage is 45 V. Current instabilities and pulsations are of the order of  $10^{-4}$  for the working current  $I \geq 1$  A. The block diagram of the source and schematic diagrams of some power and measurement units are given.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1997