

92-277



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

P13-92-277

Г.Г.Казакова, В.В.Калиниченко, В.П.Соломников

СТАБИЛИЗАТОР ПОСТОЯННОГО ТОКА  
ДЛЯ ПИТАНИЯ ОСНОВНОЙ ОБМОТКИ  
ЖЕЛЕЗНО-ТОКОВОГО КАНАЛА  
ФАЗОТРОНА ОИЯИ

1992

Стабилизированный источник постоянного тока для питания основной обмотки железно-токового канала (ЖТК), выполненный на основе промышленного выпрямительного агрегата типа ВАК-12500, эксплуатируется на фазотроне ОИЯИ с 1984 г.<sup>1/</sup> в радиационных условиях. На этапе модернизации силовой части этого источника<sup>2/</sup> в 1991 г. с целью повышения надежности в выпрямительном агрегате ВАК-12500 вместо 144 тиристоров типа Т150 установлены 24 силовых диода типа Д143-1000, а на первичной стороне его силового трансформатора включен тиристорный регулятор переменного напряжения с системой импульсно-фазового управления.

Кроме того, на разных этапах модернизации измерительной части стабилизированного источника тока в эксплуатацию вво-дились различные варианты выполнения датчиков тока<sup>3-5/</sup>, последний из которых<sup>5/</sup> был смонтирован в 1991 г. и находится в эксплуатации до настоящего времени.

В 1991 г. был исследован новый вариант выполнения контура подавления пульсаций (активного фильтра). Этот вариант был создан на основе технических решений, описанных в работах<sup>6-8/</sup>. С учетом результатов этих исследований был разработан стабилизированный источник постоянного тока для питания основной обмотки ЖТК с новым контуром подавления пульсаций. Блок-схема этого стабилизированного источника представлена на рис.1. К апрелю 1992 г. этот источник был реализован с минимальным набором необходимых узлов (без СТ и В) и в таком виде введен в эксплуатацию. Все узлы контура подавления пульсаций размещены в пристройке № 3 первого корпуса ЛЯП.

Стабилизированный источник обеспечивает величины нестабильности тока и пульсаций  $\sim 10^{-3}$  при диапазоне регулирования тока в нагрузке от 10,0 до 12,5 кА (рабочий ток основной обмотки ЖТК - 11 кА).

Источник тока содержит тиристорный регулятор переменного напряжения (ТРПН), систему импульсно-фазового регулирования (СИФУ), выпрямительный агрегат (ВА), измерительный шунт ( $R_{ш}$ ), эталонный резистор ( $R_{э}$ ), источник эталонного тока (ИЭТ), устройство сравнения (УС), усилитель постоянного тока (УПТ), блок связи (БС), силовой трансформатор (СТ), мостовой выпрямитель (В), транзисторный регулятор (ТР), усилитель низкой частоты (УНЧ), устройство защиты (УЗ), силовые электрические линии (Л1, Л2) и электрическую линию, связывающую вход УНЧ с нагрузкой (Л3).

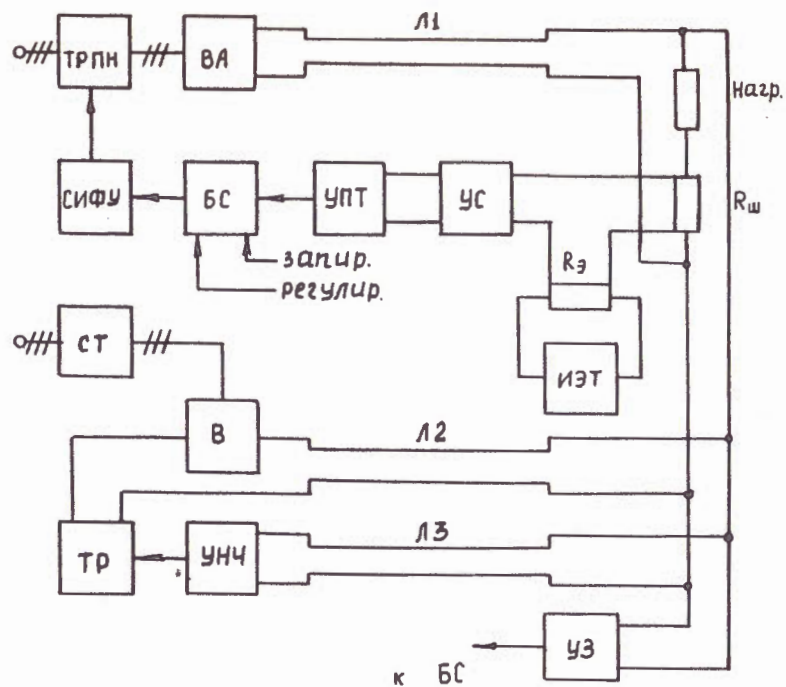


Рис.1. Блок-схема стабилизированного источника постоянного тока для питания основной обмотки ЖТК

Контур стабилизации тока, содержащий узлы ТРПН, ВА,  $R_{ш}$ ,  $R_{э}$ , ИЭТ, УС, УПТ, БС и СИФУ, в основном описан в работах [2,5]. Ниже приводятся дополнительные сведения по некоторым из этих узлов.

УС стабилизатора представляет собой магнитомодуляционное устройство сравнения постоянных напряжений, блок-схема рабочего варианта которого представлена на рис.2. УС содержит генератор возбуждения (1) с выходами основной (F) и удвоенной (2F) частот, фазочувствительный детектор (2), масштабный усилитель (3), рабочие магнитопроводы (4 и 5), магнитный экран (6), обмотки возбуждения (7 и 8), измерительную обмотку (9), обмотку коррекции (10), резистор (11), конденсатор (12). Отметим, что элементы 4 - 10 образуют магнитомодуляционный узел.

Обмотка коррекции (10) обеспечивает передачу переменной составляющей сигнала рассогласования на выход УС за счет прямой магнитной (трансформаторной) связи этой обмотки с измери-

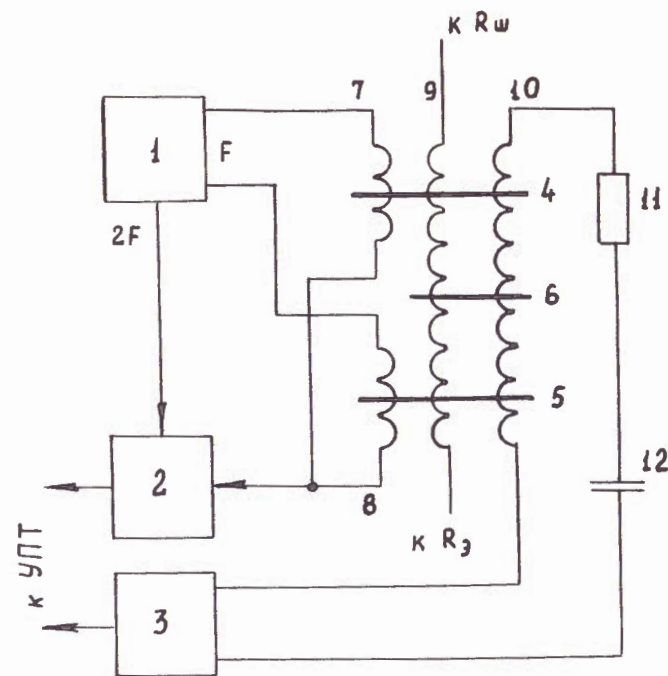


Рис.2. Блок-схема магнитомодуляционного устройства сравнения постоянных напряжений

тельной обмоткой (9) через магнитный экран (6). Благодаря этому достигается расширение полосы пропускания УС, что повышает устойчивость стабилизатора в целом. Конденсатор (12) предотвращает протекание в обмотке (10) постоянного тока (в том числе и обусловленного термоэдс), резистор (11) в ряде случаев уменьшает "звон", обусловленный импульсными сигналами или помехами. В остальном действие УС в целом соответствует описанному в [5].

Магнитомодуляционный узел характеризуется следующими данными.

Магнитопроводы 4 - 6 изготовлены из ленточного материала, витые, кольцевой формы, материал ленты - 71КНСР, толщина ленты - 0,03 мм. Размеры рабочих магнитопроводов: наружный диаметр - 82 мм, внутренний диаметр - 75 мм, высота - 5 мм. Соответствующие размеры экранирующего магнитопровода: 85 мм, 75 мм, 30 мм. Каждый магнитопровод заключен в защитный каркас из пластмассы. На рабочих магнитопроводах намотаны обмотки возбуждения, которые содержат по 200 витков каждая и выполне-

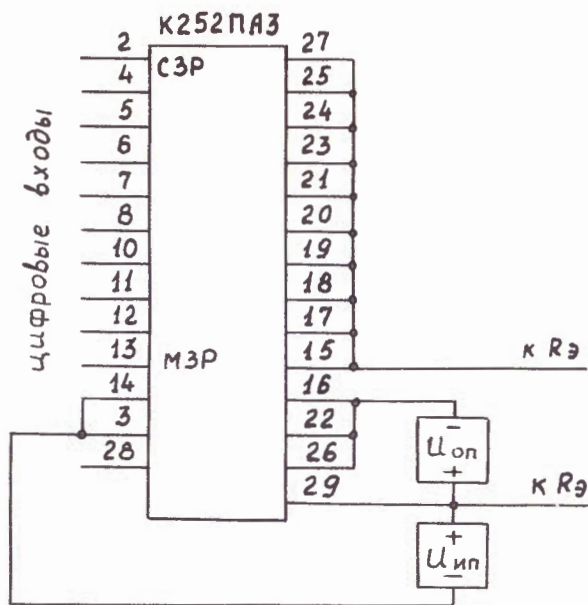


Рис.3. Схема включения ЦАП К252ПА3 в качестве источника эталонного тока

ны проводом ПЭВ-2 диаметром 0,45 мм. Измерительная обмотка содержит 1000 витков провода ПБД диаметром 0,86 мм, обмотка коррекции - 500 витков (провод ПЭВ-2 диаметром 0,45 мм). Частота модуляции - 8 кГц. По этим данным выполнен рабочий образец, а приведенные в работе<sup>15</sup> иные данные относятся к макету магнитомодуляционного узла.

Источник эталонного тока выполнен на основе 10-разрядного цифроаналогового преобразователя типа К252ПА3 (К2ПД524). Суммарный выходной ток этого ЦАП составляет 5 мА, весовой ток первого (старшего) разряда 2,5 мА. На рис. 3 показана схема включения микросхемы К252ПА3 в ИЭТ.

Упрощенная принципиальная схема УПТ представлена на рис.4. В ОУ типа К140УД1Б происходит суммирование сигналов, поступающих на первый и второй входы УПТ (Вх.1 и Вх.2). На вход 1 поступает сигнал с выхода фазочувствительного детектора 2, а на вход 2 - с выхода масштабного усилителя 3 (находятся в УС).

Контур подавления пульсаций содержит ТР, УНЧ, В, СТ, Л2, Л3. В работе контура участвуют также ВА и Л1. Контур подавления пульсаций является замкнутой системой автоматического регулирования стабилизирующего типа (стабилизация нулевого уров-

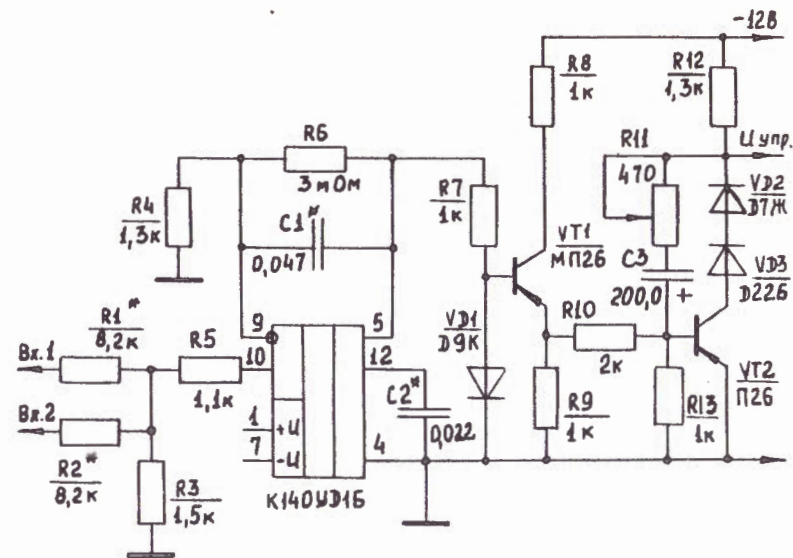


Рис.4. Принципиальная схема усилителя постоянного тока

ня, точнее, уровня, равного величине действующего рассогласования замкнутой системы авторегулирования).

Действие контура подавления пульсаций весьма приближенно может быть представлено следующим образом. Напряжения пульсаций  $U_{н\sim}$ , действующее на нагрузку, передается через электрическую линию Л3 на вход УНЧ. Выходное напряжение УНЧ поступает на управляющий вход ТР и вызывает протекание переменного тока  $I_{\sim}$  в его силовой цепи. Ток  $I_{\sim}$  протекает соответственно через ВА, Л1, Л2 и В. Этот ток создает падение напряжения  $U_L$  на индуктивном сопротивлении электрической линии Л1 (активным сопротивлением линии Л1 допустимо пренебречь), вследствие чего происходит уменьшение пульсаций на нагрузке:

$$U_{н\sim} = U_{\sim} - U_L,$$

где  $U_{\sim}$  - напряжение пульсаций на выходе ВА (в приведенном соотношении записаны мгновенные значения соответствующих напряжений). Заметим, что  $U_{н\sim}$  является действующим рассогласованием в замкнутом контуре авторегулирования (в контуре подавления пульсаций). При большом усилении в контуре авторегулирования  $U_{н\sim}$  составляет малую долю от  $U_{\sim}$ , таким образом обеспечивается эффективное подавление пульсаций.

Контур подавления пульсаций реализуется на основе относительно простых узлов. На рис.5 приведена принципиальная схема

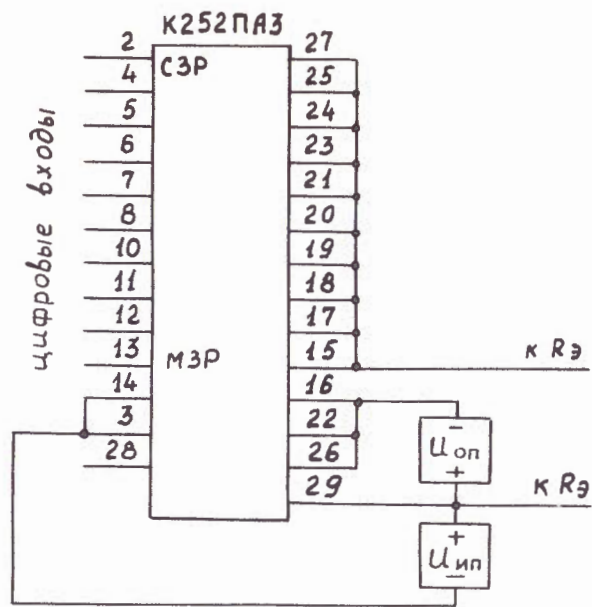


Рис.3. Схема включения ЦАП К252ПА3 в качестве источника эталонного тока

ны проводом ПЭВ-2 диаметром 0,45 мм. Измерительная обмотка содержит 1000 витков провода ПБД диаметром 0,86 мм, обмотка коррекции - 500 витков (провод ПЭВ-2 диаметром 0,45 мм). Частота модуляции - 8 кГц. По этим данным выполнен рабочий образец, а приведенные в работе<sup>15</sup> иные данные относятся к макету магнитомодуляционного узла.

Источник эталонного тока выполнен на основе 10-разрядного цифроаналогового преобразователя типа К252ПА3 (К2ПД524). Суммарный выходной ток этого ЦАП составляет 5 мА, весовой ток первого (старшего) разряда 2,5 мА. На рис. 3 показана схема включения микросхемы К252ПА3 в ИЭТ.

Упрощенная принципиальная схема УПТ представлена на рис.4. В ОУ типа К140УД1Б происходит суммирование сигналов, поступающих на первый и второй входы УПТ (Вх.1 и Вх.2). На вход 1 поступает сигнал с выхода фазочувствительного детектора 2, а на вход 2 - с выхода масштабного усилителя 3 (находятся в УС).

Контур подавления пульсаций содержит ТР, УНЧ, В, СТ, Л2, Л3. В работе контура участвуют также ВА и Л1. Контур подавления пульсаций является замкнутой системой автоматического регулирования стабилизирующего типа (стабилизация нулевого уров-

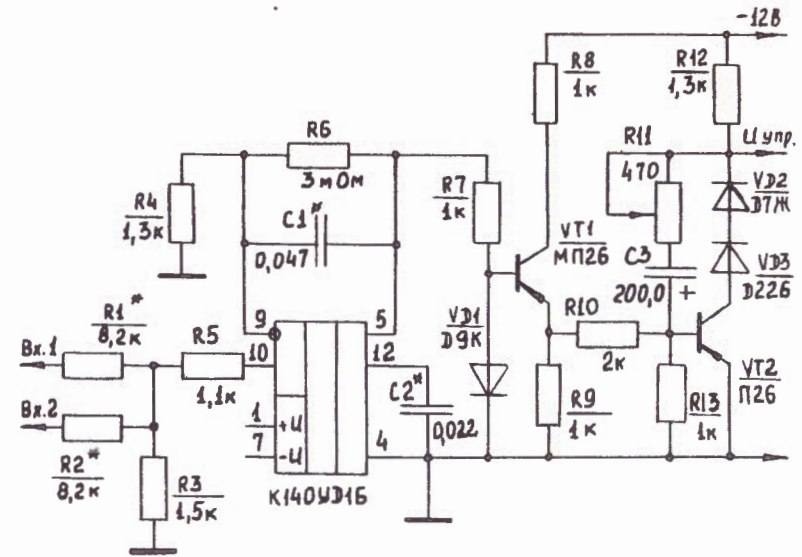


Рис.4. Принципиальная схема усилителя постоянного тока

ня, точнее, уровня, равного величине действующего рассогласования замкнутой системы авторегулирования).

Действие контура подавления пульсаций весьма приблизительно может быть представлено следующим образом. Напряжение пульсаций  $U_{н\sim}$ , действующее на нагрузку, передается через электрическую линию Л3 на вход УНЧ. Выходное напряжение УНЧ поступает на управляющий вход ТР и вызывает протекание переменного тока  $I_{\sim}$  в его силовой цепи. Ток  $I_{\sim}$  протекает соответственно через ВА, Л1, Л2 и В. Этот ток создает падение напряжения  $U_L$  на индуктивном сопротивлении электрической линии Л1 (активным сопротивлением линии Л1 допустимо пренебречь), вследствие чего происходит уменьшение пульсаций на нагрузке:

$$U_{н\sim} = U_{\sim} - U_L,$$

где  $U_{\sim}$  - напряжение пульсаций на выходе ВА (в приведенном соотношении записаны мгновенные значения соответствующих напряжений). Заметим, что  $U_{н\sim}$  является действующим рассогласованием в замкнутом контуре авторегулирования (в контуре подавления пульсаций). При большом усилении в контуре авторегулирования  $U_{н\sim}$  составляет малую долю от  $U_{\sim}$ , таким образом обеспечивается эффективное подавление пульсаций.

Контур подавления пульсаций реализуется на основе относительно простых узлов. На рис.5 приведена принципиальная схема

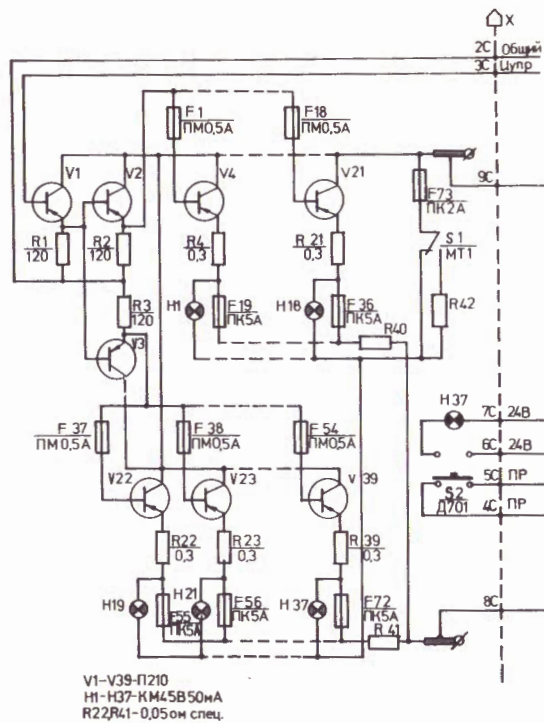


Рис.5. Принципиальная схема транзисторного регулирующего элемента

транзисторного регулирующего элемента. Два таких элемента (блока), соединенные параллельно по силовым цепям управления, образуют ТР контура подавления пульсаций. Эмиттерные выходные шины первого и второго блоков объединяются и подключаются к положительному выводу ВА (через соответствующие проводники линий Л2 и Л1). Коллекторные выходные шины блоков объединяются и подключаются к отрицательному выводу В. Контакты 2с и 8с первого блока объединяются и соединяются с объединенными контактами 2с и 8с второго блока. Объединенные контакты 2с первого и второго блоков служат в качестве управляющего входа ТР. Сведения по конструкции транзисторного регулирующего элемента приведены в работе<sup>19</sup>. Предельно допустимая мощность, рассеиваемая данным ТР, составляет ~ 2 кВт. Режим работы ТР при токе нагрузки 11 кА: постоянное напряжение на нагрузке ~ 7 В, амплитуда пульсирующего тока через ТР ~ 240 А, постоянная составляющая тока через ТР ~ 120 А.

Важным узлом стабилизатора является УЗ. Нарушение нормальной работы системы подавления пульсаций вызывает увеличение пульсаций тока в основной обмотке ЖТК, что может привести к механическим повреждениям указанной обмотки. Одной из функций УЗ является защита основной обмотки ЖТК от пульсаций тока. Эта функция подробно обсуждается в работе<sup>11</sup>, там же приведена принципиальная электрическая схема одного из вариантов выполнения УЗ.

Увеличение пульсаций тока, вызванное нарушением нормальной работы ВА, может привести к перегрузке ТР. Если уровень пульсаций превышает допустимое значение, в УЗ вырабатывается сигнал на отключение ВА. Таким образом, в результате действия УЗ обеспечивается защита ТР от перегрузки.

На рис. 6 представлена принципиальная электрическая схема одного из вариантов выполнения УНЧ. УНЧ содержит трансформатор гальванической развязки Т, первый (VT1) и второй (VT2) транзисторные резистивные усилительные каскады, первый (VT3) и второй (VT4) эмиттерные повторители. Диод VD3 обеспечивает восстановление постоянной составляющей сигнала, поступающего на базу VT3.

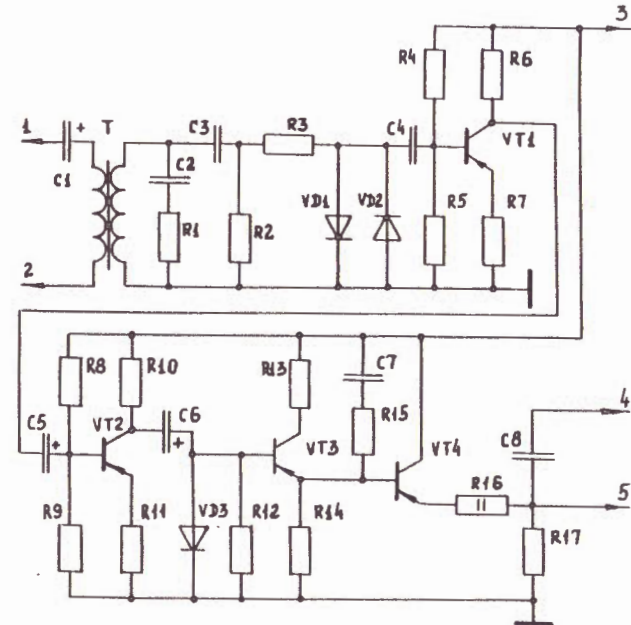


Рис.6. Принципиальная схема усилителя низкой частоты. 1,2 - к ЛЗ, 3 -  $-U_n$ , 4 - к коллекторной шине ТР, 5 - к управляющему входу ТР

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ахманов В.В. и др. - Сообщение ОИЯИ, P13-90-420, Дубна, 1990.
2. Ахманов В.В. и др. - Сообщение ОИЯИ, P9-91-255, Дубна, 1991.
3. Батманова Э.К. и др. - Сообщение ОИЯИ, P13-90-582, Дубна, 1990.
4. Батманова Э.К. и др. - Сообщение ОИЯИ, P13-91-295, Дубна, 1991.
5. Калиниченко В.В. - Сообщение ОИЯИ, P13-91-556, Дубна, 1991.
6. Шварц С. - Полупроводниковые схемы. М.: Изд-во иностр. лит., 1962, с.327.
7. Додик С.Д. - Полупроводниковые стабилизаторы постоянного напряжения и тока. М.: Изд-во "Советское радио", 1962, с.218, рис.62.
8. Гладков Б.Д. - А.с. 731426 (СССР). - Опубликовано в ОИ, 1980, №16, с.241.
9. Денисов Ю.Н. и др. - Труды Международного совещания по циклотронам и их применению. ОИЯИ, P9-85-707, Дубна, 1986, с.214.

Рукопись поступила в издательский отдел  
29 июня 1992 года.

Казакова Г.Г., Калиниченко В.В., Соломников В.П. P13-92-277  
Стабилизатор постоянного тока для питания основной обмотки  
железно-токового канала фазотрона ОИЯИ

Описан стабилизированный источник постоянного тока 12,5 кА, 12 В. Диапазон регулирования тока от 10,0 до 12,5 кА, величины нестабильности тока и пульсаций составляют  $\sim 10^{-3}$ . Регулирование тока осуществляется с помощью тиристорного регулятора переменного напряжения с фазовым управлением, включенного на первичной стороне силового трансформатора выпрямителя. Подавление пульсаций обеспечивается транзисторным регулятором, включенным параллельно нагрузке. Измерительная часть стабилизатора выполнена на основе магнитомодуляционного устройства сравнения постоянных напряжений, стандартного измерительного манганинового шунта с номинальным падением напряжения 75 мВ, источника эталонного тока и эталонного резистора. Приведены блок-схема стабилизатора, принципиальные электрические схемы его отдельных узлов, а также сведения по конструкции основных узлов.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1992

Перевод Потапова М.И.

Kazakova G.G., Kalinichenko V.V., Solomnikov V.P. P13-92-277  
Direct Current Stabilizer for Powering the Main Coil  
of the Iron-Current Channel at the JINR Phasotron

A 12.5 kA/12 V stabilized direct current power supply unit is described. The current range is from 10.0 to 12.5 kA, current instability and pulsation amount to  $\sim 10^{-3}$ . Current is regulated by means of a varying-voltage thyristor regulator with a phase control, connected to the primary side of the rectifier transformer. Pulsation is suppressed by a transistor regulator connected in parallel with the load. The measuring part of the stabilizer is based on a magnetic modulation device for comparison of constant voltages, a standard instrument managanin shunt with the voltage drop rating 75 mV, a reference current source and a reference resistor. The block diagram of the stabilizer, circuit diagrams of its individual parts and information on the design of its basic units are given.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1992