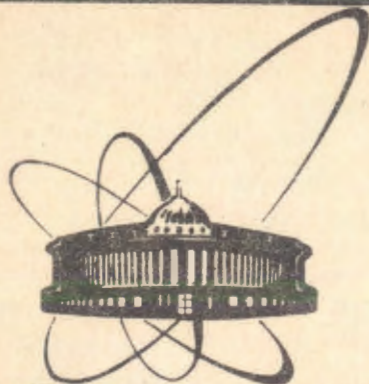


91-406



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P13-91-406

Э.К.Батманова, Ю.Н.Денисов, Г.Г.Казакова,
В.В.Калиниченко, М.Крживанек

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСА ИСТОЧНИКОВ
ПИТАНИЯ КОРРЕКТИРУЮЩИХ ОБМОТОК
ЦИКЛОТРОНА У-120М

1991

Комплекс источников питания корректирующих обмоток циклотрона У-120М включает 20 широкодиапазонных стабилизаторов постоянного тока с максимальными токами 400-600 А. В 1978 г. комплекс введен в эксплуатацию в ИЯФ ЧСАН¹¹. К июню 1989 г. общее время работы источников комплекса составило более 35 тыс. часов¹².

Основной недостаток стабилизаторов комплекса состоит в критичности настройки некоторых их узлов, что при переключении нагрузок стабилизаторов требует переналадки этих узлов. Второй недостаток — использование в транзисторных регуляторах и блоках реверса относительно большого количества силовых полупроводниковых приборов, включенных параллельно (около 200 транзисторов в каждом регуляторе и 4 тиристора в каждом плече мостового коммутатора блока реверса).

Целью модернизации является повышение надежности и упрощение эксплуатации источников комплекса.

В 1986 — 1989 гг. для обсуждаемого комплекса были разработаны, изготовлены (20 комплектов) и введены в эксплуатацию следующие новые узлы: источник эталонного тока, модуляционный генератор и демодулятор. Относительная величина нестабильности тока источников комплекса с этими новыми узлами не превышает в условиях эксплуатации $1 \cdot 10^{-3}$ от номинального значения тока.

Кроме того, была выполнена разработка нового силового узла, объединяющего транзисторный регулятор и блок реверса тока. В первой половине 1990 г. изготовлен опытный образец этого силового узла и начаты его испытания.

Упрощенная блок-схема модернизированного стабилизатора тока приведена на рис.1. Стабилизатор тока выполнен на основе технического решения, предложенного в работе¹³.

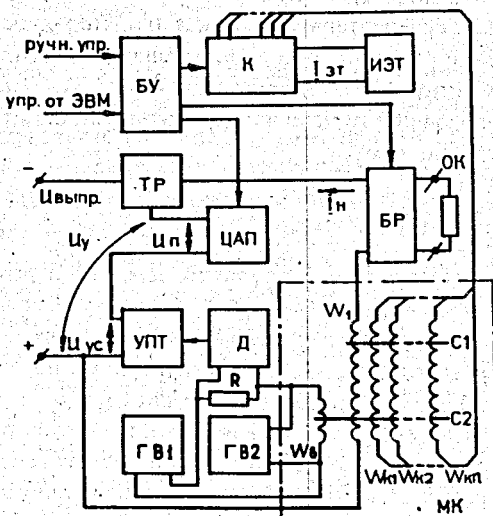


Рис.1. Упрощенная блок-схема стабилизатора тока.

Измерительный элемент стабилизатора представляет собой магнитный компаратор (МК) постоянного тока, содержащий экранирующий (С1) и рабочий (С2) магнитопроводы. На рабочем магнитопроводе С2 имеется обмотка возбуждения (W_B). Магнитопровод С2 с обмоткой W_B , резистор R, первый (ГВ1) и второй (ГВ2) генераторы возбуждения образуют магнитный модулятор. Магнитный модулятор совместно с демодулятором (Д) обеспечивают преобразование разбаланса н.с. в постоянное напряжение, величина и знак которого зависят соответственно от величины и знака разбаланса н.с. (то есть образуют преобразователь разбаланса н.с.).

Магнитопроводы С1 и С2 охвачены измерительной (W_1) и компенсационной обмотками, при этом компенсационная обмотка выполнена из отдельных секций ($W_{K1} \dots W_{Kn}$) с разным числом витков (1,2,4,8,16,...512 витков). С помощью коммутатора (К) секции компенсационной обмотки подключаются к выходу источника эталонного тока (ИЭТ).

При работе стабилизатора на магнитопроводы С1 и С2 действует намагничивающая сила (н.с.) $I_{ЭТ} W_K$, где W_K — число витков компенсационной обмотки, включенных в цепь эталонного тока $I_{ЭТ}$. Н.с. $I_{ЭТ} W_K$ является задающим воздействием в стабилизаторе тока I_H . В то же время на магнитопроводы С1 и С2 действует н.с. $I_H W_1$, создаваемая стабилизируемым током I_H . Н.с. $I_H W_1$ направлена навстречу н.с. $I_{ЭТ} W_K$.

При отклонении величины тока I_H от заданного значения возникает разбаланс н.с. постоянных токов $\Delta I W = I_H W_1 - I_{ЭТ} W_K$. Управляющее напряжение U_y , поступающее на вход транзисторного регулятора (ТР), имеет две составляющие: U_{II} и U_{yc} ($U_y = U_{II} + U_{yc}$). Здесь U_{II} — выходное напряжение цифроаналогового преобразователя (ЦАП) и U_{yc} — выходное напряжение усилителя постоянного тока (УПТ), на вход которого поступает напряжение рассогласования с выхода преобразователя разбаланса н.с. Под действием составляющей U_{yc} ток I_H изменяется до тех пор, пока величина разбаланса н.с. не уменьшится до величины действующего рассогласования $\Delta I W_{II}$ контура стабилизации. Величина $\Delta I W_{II}$ при большом усилении в контуре стабилизации имеет пренебрежимо малое значение, поэтому

$$I_H = I_{ЭТ} W_K / W_1 \quad (1)$$

Магнитный модулятор работает в режиме возбуждения двуполярными импульсами. Обмотка возбуждения W_B магнитного модулятора подключена через резистор R к выходу ГВ1 и непосредственно к выходу ГВ2. Генератор ГВ1 имеет частоту F_1 , частота генератора ГВ2 выбирается равной $F_2 = F_1/n$, где $n = 1, 2, 3, \dots$ (в простейшем случае $F_2 = F_1$). В любом случае ГВ1 и ГВ2 должны быть синхронизированы (на блок-схеме рис.1 цепи синхронизации не показаны).

Генератор ГВ1 вырабатывает относительно короткие импульсы тока обеих полярностей ($\tau_{II} \leq 0,1 T$, где τ_{II} — длительность импульса, T — период повторения импульсов), амплитуда I_{1m} которых должна удовлетворять условию

$$I_{1m} W_B \geq 2 I_{Hном} W_1 \quad (2)$$

где W_B — число витков обмотки возбуждения. При выполнении этого условия выходная статическая характеристика преобразователя разбаланса н.с. (под которой понимается зависимость выходного напряжения демодулятора Д от разбаланса н.с. $\Delta I W = I_H W_1 - I_{ЭТ} W_K$) не имеет "ложных" нулей во всем рабочем диапазоне регулирования тока стабилизатора.

Как следует из условия (2), большому номинальному току стабилизации соответствует большой уровень возбуждения модулятора. Однако при таких условиях возбуждения (большая амплитуда при относительно малой длительности импульсов тока возбуждения) на выходной статической характеристике преобразователя разбаланса н.с. появляется мертвая зона¹³. Для преобразователя разбаланса н.с., выполненного на магнитопроводах из пермаллоя 79НМ с размерами 70x50x10 мм (именно такие магнитопроводы используются в магнитных компараторах обсуждаемого здесь комплекса источников), мертвая зона наблюдается уже при $I_{1m} W_B > (500 \div 1000)$ ампервитков.

Мертвая зона на выходной статической характеристике преобразователя разбаланса н.с. устраняется, если наряду с возбуждением от ГВ1 ввести дополнительное возбуждение магнитного модулятора импульсами относительно малой амплитуды и относительно большой длительности (по сравнению с параметрами возбуждения от ГВ1). Это дополнительное возбуждение обеспечивается от генератора ГВ2.

Генератор ГВ2 вырабатывает переменное напряжение синусоидальной формы и работает в режиме источника тока. Амплитуда I_{2m} тока, вырабатываемого ГВ2, грубо должна удовлетворять условию

$$I_{2m} W_B \leq 10 \div 50 \text{ ампервитков.} \quad (3)$$

На рис.2 представлена принципиальная схема генератора возбуждения ГВ1 и демодулятора Д. Генератор ГВ1 выполнен на основе тиристорного мостового инвертора (тиристоры VS1÷VS4) и транзисторного (VT1÷VT8) формирователя импульсов запуска инвертора. На вход транзисторного формирователя поступает синусоидальное напряжение (6 В, 50 Гц) от специальной обмотки силового трансформатора блока питания. В моменты перехода синусоидального напряжения через нулевое значение формируются импульсы, которые после усиления по мощности подаются через разделительный конденсатор С8 на первичную обмотку трансформатора Т1. С его вторичных обмоток 2, 3 и 4 импульсы запуска поступают на управляющие электроды тиристоров инвертора. Диоды VD6—VD9 предотвращают подачу на управляющие электроды тиристоров импульсов отрицательной полярности.

Выводы переменного напряжения инвертора через конденсатор С7 и резистор R23 подключены к выходным выводам ГВ1 (соответственно выводы 2а и 8а — $U_{возб}$). При этом резистор R23 выполняет функцию резистора R

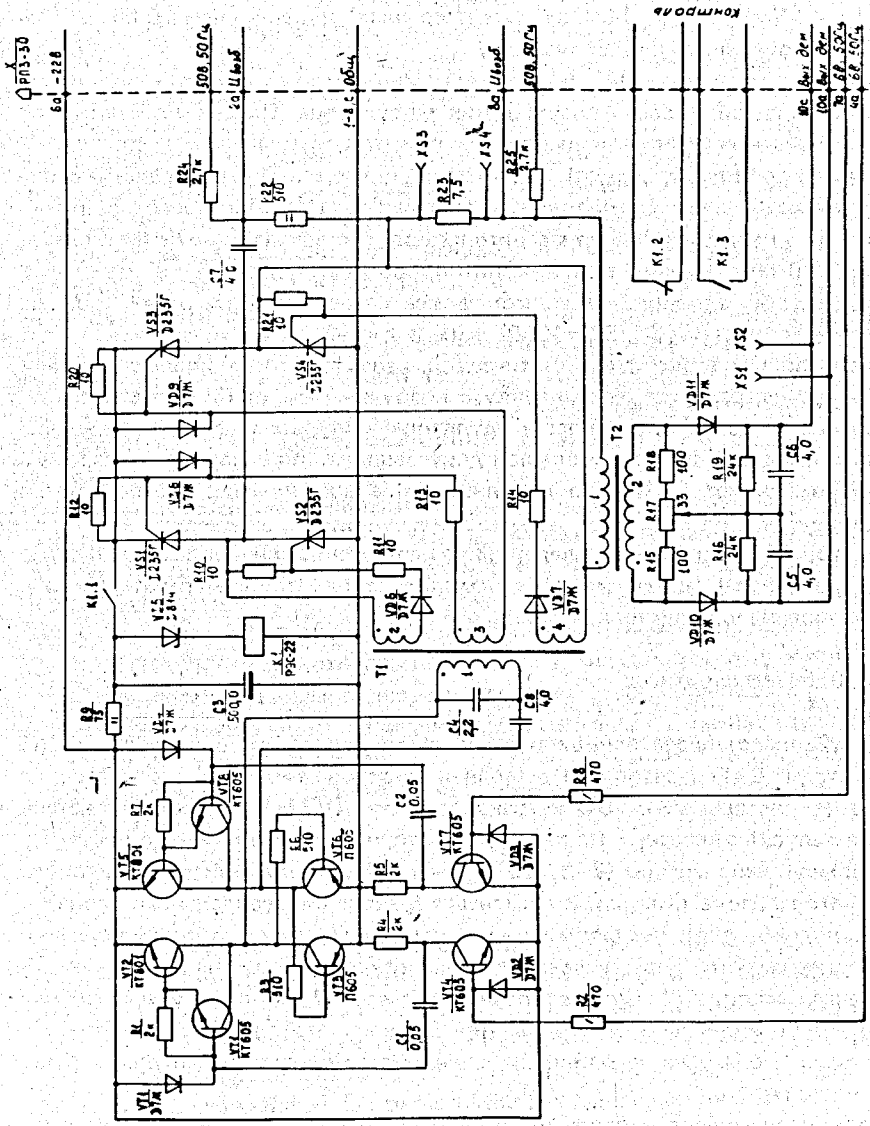


Рис.2. Принципиальная схема генератора возбуждения и демодулятора.

(см. блок-схему рис.1) : к потенциальным выводам R23 подключен вход демодулятора (через развязывающий трансформатор T2). К выводам 2а и 8а подключена обмотка возбуждения W_B . Демодулятор содержит фазорасщепитель R15, R17, R18 и два однополупериодных пиковых детектора: VD10, R16, C5 и VD11, R19, C6.

При включении GB1 происходит заряд накопительного конденсатора C3 от источника — 22 В. Как только напряжение на C3 достигнет порога срабатывания реле K1, реле срабатывает, контакт K1.1 замыкается и инвертор включается в работу.

При нормальной работе инвертора в каждый полупериод его работы происходит перезаряд конденсатора C7 (напряжением на накопительном конденсаторе C3) через обмотку возбуждения W_B магнитного модулятора и резистор R23. При отсутствии разбаланса н.с. ($\Delta I_W = 0$) импульсы тока в цепи W_B одной полярности в точности повторяют импульсы тока другой полярности (по амплитуде и форме) вследствие симметрии кривой намагничивания магнитопровода C2. Этим же свойством обладают и импульсы напряжения на резисторе R23. Поэтому постоянные напряжения на выходах пиковых детекторов одинаковы, а так как они включены встречно, то выходное напряжение демодулятора равно нулю.

При наличии разбаланса н.с. ($\Delta I_W \neq 0$) магнитопровод C2 подмагничивается полем постоянного тока, при этом симметрия импульсов тока возбуждения в цепи W_B нарушается, соответственно нарушается симметрия импульсов напряжения на резисторе R23. Теперь постоянные напряжения на выходах пиковых детекторов будут неодинаковы, соответственно их разность будет отлична от нуля. Выходное напряжение демодулятора по величине и знаку будет соответствовать величине и знаку ΔI_W . Так как работа и взаимодействие узлов стабилизатора в общем виде уже обсуждались выше, более подробно обсуждать эти вопросы нет необходимости.

Ввиду склонности тиристорного инвертора к опрокидыванию, в GB1 имеются средства для вывода инвертора из этого аварийного состояния. При опрокидывании инвертора конденсатор C3 быстро разряжается, реле K1 отключается, контакт K1.1 размыкается, отключая постоянное напряжение питания инвертора. Пока происходит заряд конденсатора C3 до напряжения порога срабатывания реле K1, тиристоры инвертора восстанавливают свою вентиляющую прочность и при замыкании контакта K1.1 инвертор включается в нормальную работу.

Генератор возбуждения GB2 в обсуждаемом варианте реализации стабилизатора выполнен простейшим образом. Силовой трансформатор блока питания содержит специальную изолированную обмотку на напряжение 50 В, к которой через резисторы R24 и R25 (показаны на схеме рис.2) подключена обмотка возбуждения W_B магнитного модулятора. Номиналы резисторов R24 и R25 выбираются таким образом, чтобы было обеспечено выполнение условия 3).

Одним из основных показателей магнитного компаратора постоянного тока является дрейф нуля, приведенный к измерительной обмотке (одному витку). Выборочный контроль компараторов рассматриваемого типа показал, что дрейф

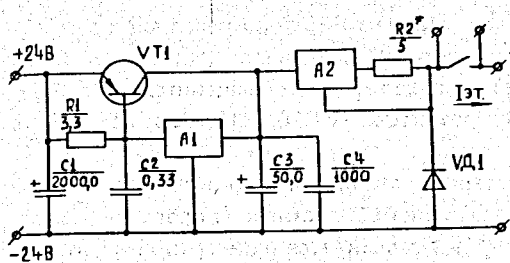
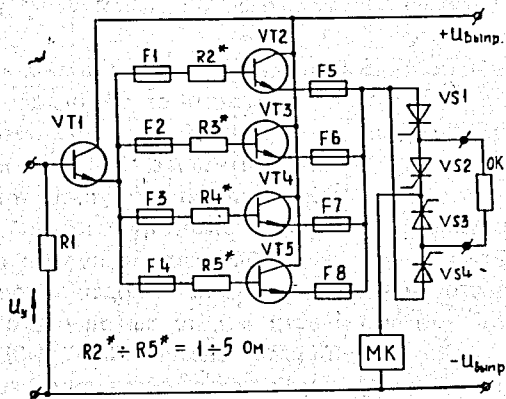


Рис.3. Принципиальная схема источника эталонного тока.

Рис.4. Принципиальная схема транзисторного регулятора и блока реверса тока.



нуля составляет $(10-30) \cdot 10^{-3}$ ампервитков. Чувствительность компараторов равна $\sim 0,6$ В/ампервиток.

На рис.3 представлена принципиальная схема источника эталонного тока на номинальный ток 1А. Собственно стабилизатор тока содержит интегральный стабилизатор напряжения А2 (МА7805) и эталонный резистор R2, выполненный из манганина. На вход стабилизатора тока подается напряжение 15 В с выхода стабилизатора напряжения, который содержит интегральный стабилизатор напряжения А1 (МА7815) и транзистор VT1. Питание источника эталонного тока осуществляется от нестабилизированного источника постоянного напряжения 24 В. Элементы VT1, А1 и А2 устанавливаются на радиаторах с воздушным охлаждением. В условиях эксплуатации нестабильность эталонного тока не хуже $1 \cdot 10^{-3}$.

На рис.4 представлена принципиальная схема силового узла на номинальный ток 400 А, содержащего транзисторный регулятор и силовую часть блока реверса. Регулятор выполнен на транзисторах VT2÷VT5 типа ТТ256-160. Количество включенных параллельно транзисторов зависит от номинального тока регулятора. Силовая часть блока реверса выполнена на тиристорах VS1÷VS4 типа Т956-400. Полупроводниковые приборы устанавливаются на радиаторах с водяным охлаждением. Силовой узел размещается в корпусе, имеющем габариты 500x350x200 мм. Транзисторы и тиристоры указанных типов производятся в ЧСФР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Денисов Ю.Н. и др. — В сб.: Труды Международного совещания по циклотронам и их применению. ОИЯИ, Р9-85-707, Дубна, 1985, т.1, с.214.
2. Бейшовец В. и др. — В сб.: Труды II Международного совещания по циклотронам и их применению. ОИЯИ, Д9-89-708, Дубна, 1989, т.1, с.44.
3. Калинин В.В., Крживанек М. — Стабилизатор постоянного тока. Авт. свидетельство СССР № 1288665, опубл. в ОИ, 1987, № 5, с.191.
4. Батманова Э.К. и др. — В сб.: XII Всесоюзное совещание по ускорителям заряженных частиц. Тезисы докладов. М.: ИТЭФ, 1990, с.237.

Рукопись поступила в издательский отдел
6 сентября 1991 года.