

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



Ц76
К-172

14/VI-76

13 - 9577

2236 / 2-76

В.В.Калиниченко

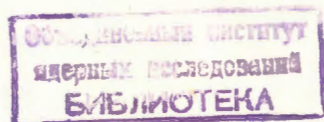
СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ИСТОЧНИК
ПОСТОЯННОГО ТОКА
ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ
ПИТАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

1976

13 - 9577

В.В.Калиниченко

СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ИСТОЧНИК
ПОСТОЯННОГО ТОКА
ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ
ПИТАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВОК



Внедрение кибернетических методов управления ускорителями заряженных частиц /1/ ставит задачу создания стабилизированных источников постоянного тока, управляемых с помощью ЭВМ. Такие источники необходимы для питания магнитных элементов как собственно ускорителей, так и разнообразной физической аппаратуры. Электрические параметры магнитных элементов различных физических установок весьма сильно различаются, различны также и требования к основным параметрам источников: диапазону регулирования тока, величине нестабильности, величине пульсаций и т.п. Разработка универсального источника тока, удовлетворяющего широкому диапазону изменения параметров нагрузки, по-видимому, нецелесообразна.

Управляемые от ЭВМ стабилизированные источники тока для питания магнитных элементов, имеющих малую постоянную времени, выполняются в Лаборатории ядерных проблем по блок-схеме *рис. 1*.

Цифро-аналоговый преобразователь 1 /ЦАП1/ предназначен для преобразования управляющего кода, поступающего от ЭВМ, в соответствующий уровень опорной величины. Этот уровень подается на один вход устройства сравнения /УС/, на другой вход УС поступает сигнал с датчика тока /ДТ/. Под действием контура регулирования, содержащего ЦАП1, ДТ, УС, УСО и РТ, в цепи нагрузки устанавливается ток $I = NM(I)$, где N - цифровой код величины тока, $M(I)$ - масштабный коэффициент ЦАП1.

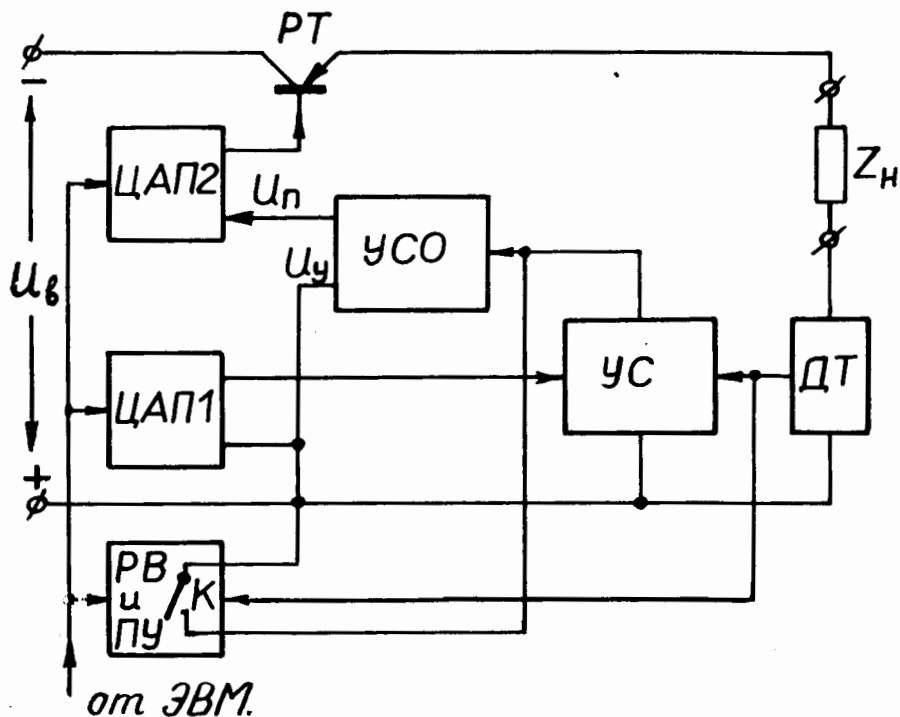


Рис. 1. Блок-схема стабилизированного источника постоянного тока, управляемого с помощью ЭВМ. РТ - регулирующий транзистор, Z_n - нагрузка источника, ДТ - датчик тока, УС - устройство сравнения, УСО - усилитель сигнала ошибки, ЦАП1 - цифро-аналоговый преобразователь 1, ЦАП2 - цифро-аналоговый преобразователь 2, РВ и ПУ - реле времени и пороговое устройство.

Цифро-аналоговый преобразователь 2 /ЦАП2/ предназначен для преобразования управляющего кода в напряжение $U_{п}$, величина которого $U_{п} = NM(U)$, где $M(U)$ - масштабный коэффициент ЦАП2.

Регулирующий транзистор /РТ/ работает в режиме эмиттерного повторителя. На вход РТ в установившемся режиме воздействует управляющее напряжение $U_{уп} = U_{п} + U_y$, где U_y - напряжение на выходе УСО.

Реле времени и пороговое устройство /РВ и ПУ/ обеспечивают выключение контура обратной связи на

определенный интервал времени /реле времени/ при установке нового значения тока, а также при возникновении рассогласований в контуре обратной связи стабилизатора, превышающих допустимые значения /пороговое устройство/.

Рассмотрим взаимодействие узлов стабилизатора в процессе отработки команды на установку нового значения тока в нагрузку, а также при срыве стабилизации. Установка тока в нагрузку осуществляется подачей на входы ЦАП1 и ЦАП2 соответствующего управляющего кода. Одновременно на вход реле времени подается управляющий импульс, приводящий к замыканию ключа "К" реле времени. Время выдержки реле /т.е. длительность замкнутого состояния ключа "К"/ выбирается несколько больше времени установления переходных процессов в силовых элементах стабилизатора. В течение этого времени выход устройства сравнения закорочен и большие сигналы рассогласования не поступают на вход усилителя сигнала ошибки. Под действием выходного напряжения ЦАП2, поступающего на вход регулирующего транзистора, ток в нагрузке устанавливается приблизительно равным $U_{п}/R_n$, поскольку регулирующий транзистор работает в режиме повторителя. Если масштабный коэффициент ЦАП2 выбран из условия $M(U) = M(I)R_n$, ток в цепи нагрузки будет равен $I = U_{п}/R_n \approx NM(I)$. По истечении времени выдержки ключ "К" размыкается, контур обратной связи включается и обеспечивает высокую точность соответствия величины тока установленному коду N и высокую стабильность.

При срыве стабилизации вследствие воздействия возмущений большой амплитуды, не обрабатываемых контуром регулирования, происходит срабатывание порогового устройства. При этом ключ "К" замыкается и контур обратной связи выключается. Одновременно пороговое устройство выдает информацию о срыве стабилизации и вырабатывает сигнал обращения к ЭВМ, требующий повторить установку тока. Пороговое устройство действует в течение всего интервала времени, пока величина отклонения тока нагрузки от требуемого значения превышает заданный уровень. Если в результате нескольких повторных установок контур стабилизации не

войдет в нормальный режим, ЭВМ выдает информацию о неисправности данного стабилизатора.

Важно отметить, что в стабилизаторе тока по блок-схеме *рис. 1* могут быть использованы датчики тока с S-образной выходной статической характеристикой, а также датчики, обладающие выходной характеристикой более сложного вида /например, с "ложными" нулями/. Подобные характеристики представлены на *рис. 2*. Характеристикой вида А обладает датчик тока, основанный на использовании явлений ядерного и электронного резонансов^{/2/}; характеристикой вида Б - магнитный компаратор постоянного тока^{/3, 4/} /условимся для краткости в дальнейшем изложении датчики с подобными выходными характеристиками называть датчиками типа А и типа Б, соответственно/.

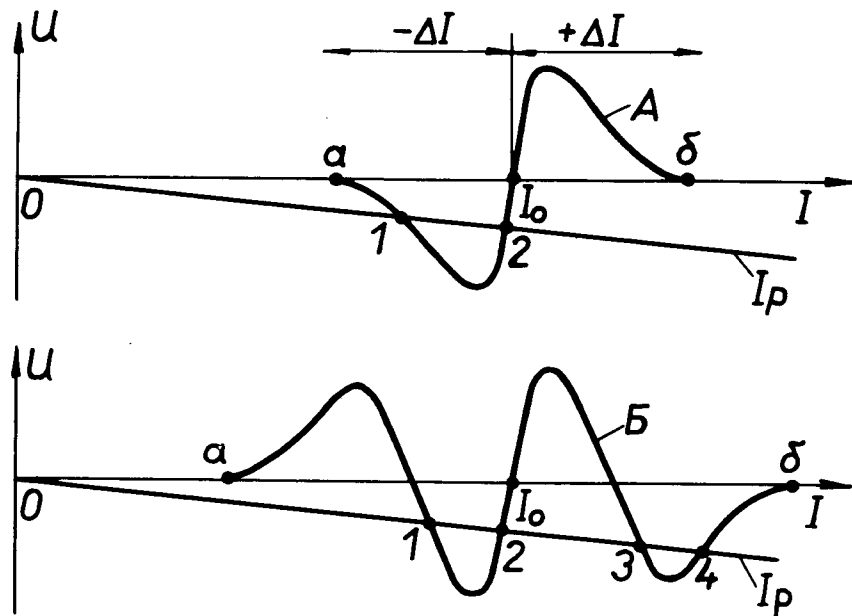


Рис. 2. Два вида выходных характеристик датчиков тока.

Обратим внимание на некоторые особенности работы классической схемы транзисторного компенсационного стабилизатора тока^{/5/} при использовании в ней датчиков

тока типа А или Б /классическая схема содержит узлы: ДТ, УС, УСО, ЦАП1, РТ/. На *рис. 2* дано графическое представление установившегося состояния для указанной схемы. Прямая I_p в обоих случаях представляет статическую характеристику регулятора.

Статический режим характеризуется одной устойчивой рабочей точкой /точка 2/ для стабилизатора с датчиком типа А и двумя устойчивыми точками /точки 2 и 4/ для стабилизатора с датчиком типа Б.

При начальных отклонениях стабилизируемого тока, превышающих абсциссы точек а и б, выходное напряжение датчика равно нулю, что равносильно размыканию контура обратной связи стабилизатора. Таким образом, стабилизатору с обсуждаемыми датчиками тока присущи следующие особенности:

а/ в общем случае для ввода стабилизатора в рабочий режим необходимо внешнее воздействие,

б/ если величина возмущений в цепи обратной связи превысит определенный уровень, возможен срыв стабилизации, приводящий к падению тока в нагрузке до нулевого значения; кроме того, для стабилизатора с датчиком типа Б возможен переход на "ложную" рабочую точку.

Совершенно очевидно, что транзисторный компенсационный стабилизатор тока, обладающий такими свойствами, практически неработоспособен.

На *рис. 3* приведено графическое представление установившегося состояния для стабилизатора, выполненного по блок-схеме *рис. 1*. Здесь представлены два варианта решения: для стабилизатора с датчиком типа А и для стабилизатора с датчиком типа Б.

Стабилизатор с датчиком типа А. Схема обладает одной точкой равновесия, лежащей на рабочем участке выходной характеристики датчика. Если точка пересечения характеристики регулятора I_p с прямой $U_{ц}$ лежит на отрезке прямой аб, соединяющем точки а и б характеристики датчика тока, схема стабилизации автоматически входит в равновесный режим и этот режим восстанавливается по окончании возмущающих воздействий. Смещение указанной точки пересечения

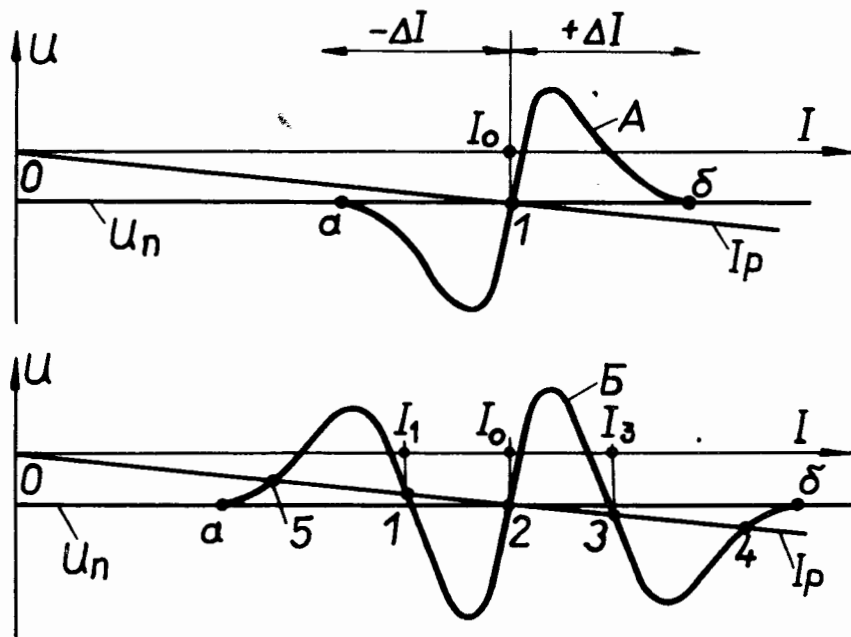


Рис. 3. Графическое представление установившегося состояния для стабилизированного источника тока, выполненного по блок-схеме рис. 1.

относительно середины отрезка аб обусловлено неустойчивостью и нелинейностью характеристик регулятора и ЦАП2. Если значения величин неустойчивости и нелинейности регулятора и ЦАП2 таковы, что на каком-либо участке рабочего диапазона токов точка пересечения прямых I_p и U_n выходит за границы отрезка аб, условия автоматического ввода схемы стабилизации в рабочий режим нарушаются. Величина тока нагрузки в этих условиях определяется точкой пересечения прямых I_p и U_n и находится вне пределов рабочей зоны датчика тока. В этом случае происходит срабатывание порогового устройства и ЭВМ получает информацию о нарушении нормальной работы данного стабилизатора. Таким образом, ПУ является элементом системы допускового контроля и других функций не выполняет. При наличии в автоматизированном комплексе системы допускового

контроля, построенной на других принципах, пороговое устройство можно не применять.

Реле времени защищает УСО от воздействия больших сигналов рассогласования при установке тока. В ряде случаев эта мера обеспечивает "спокойный" вход контура стабилизации в рабочий режим /без "забросов" стабилизируемого тока/ и его применение полезно. Если приемлемый характер переходного режима при установке тока обеспечен иным способом, реле времени можно не применять.

Стабилизатор с датчиком типа Б. Схема стабилизации обладает тремя точками равновесия /точки 2,4, 5/, причем рабочей точкой является лишь точка 2, а точки 4,5 - точки "неэффективной" работы схемы.

Условия автоматического ввода схемы стабилизации в равновесный режим /в область "эффективной" работы/:
 а/ точка пересечения характеристики регулятора I_p с прямой U_n должна лежать на отрезке прямой 1-3, соединяющем точки 1 и 3 характеристики датчика тока /кривая Б, рис. 3/;

б/ контур обратной связи должен быть включен в действие только тогда, когда величина тока нагрузки достигнет значения, лежащего внутри диапазона $I_1 \div I_3$.

Условие а/ обеспечивается согласованным выбором параметров ЦАП2 и регулятора. Выполнение условия б/ обеспечивается действием реле времени и порогового устройства.

Взаимодействие узлов стабилизатора в процессе отработки команды, а также при срыве стабилизации подробно обсуждалось выше. Здесь целесообразно сделать лишь одно дополнение к сказанному. Если пороговое устройство обладает достаточно высокой стабильностью порогов срабатывания /значения порогов устанавливаются внутри диапазона $I_1 \div I_3$ /, выполнение условия б/ обеспечивается действием порогового устройства и применять реле времени нет необходимости.

В заключение приведем краткое описание основных узлов стабилизатора тока, в котором реализованы принципы, изложенные выше.

На рис. 4 представлена часть принципиальной схемы стабилизатора, содержащая следующие узлы: датчик тока, устройство сравнения, цифро-аналоговый преобразователь 1 и цифро-аналоговый преобразователь 2.

ЦАП1 включает в себя два одинаковых комплекта обмоток W_K магнитного компаратора /в каждом комплекте 10 изолированных обмоток, количество витков в обмотках 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512/, соответствующее количество релейных ключей /P1 ÷ P20/ и два эталонных источника тока. Значения эталонных токов выбраны соответственно 1 А и 0,98 мА. ЦАП1 преобразует код установки тока в "эталонную" намагничивающую силу /н.с./, которая воздействует на сердечники магнитного модулятора С1 и С2. Величина "эталонной" н.с. равна $\sum I_{\text{эт}} W_K$. Контролируемый ток I протекает через обмотку W_1 и создает в сердечниках С1 и С2 н.с. $I W_1$, направленную противоположно "эталонной" н.с.

При нарушении баланса /т.е. $I W_1 \neq \sum I_{\text{эт}} W_K$ / на выходе модулятора появляется напряжение удвоенной частоты модуляции ($U_{\text{ВЫХ}}$), из которого с помощью фазового детектора /не показанного на схеме/ выделяется сигнал ошибки, подаваемый затем на вход УСО.

На рис. 5 приведена выходная характеристика магнитного компаратора /кривая 1/, представляющая собой зависимость напряжения на выходе фазового детектора ($U_{\text{ФД}}$) в функции отклонения (ΔI) контролируемого тока от его балансного значения .

ЦАП2 представляет собой преобразователь с суммированием напряжений ^{/6/}. Здесь использованы резисторы типа БЛП, класса $\pm 1\%$ (R41 ÷ R61). Величина нестабильности опорного напряжения не превышает 0,5%, номинальное значение $U_0 \approx 40$ В. Эмиттерный повторитель /T21/ уменьшает выходное сопротивление ЦАП2. Дополнительные сведения имеются в других работах: конструкция компаратора обсуждается в работе ^{/3/}, схемы эталонных источников - в работе ^{/7/}, схемы модуляционного генератора и фазового детектора приведены в работе ^{/8/}. На рис. 6 приведена принципиальная схема УСО и ПУ.

УСО представляет собой усилитель постоянного тока с малым дрейфом нуля. Усиление по напряжению обеспечивается интегральным усилителем 1УТ401Б /МС1/,

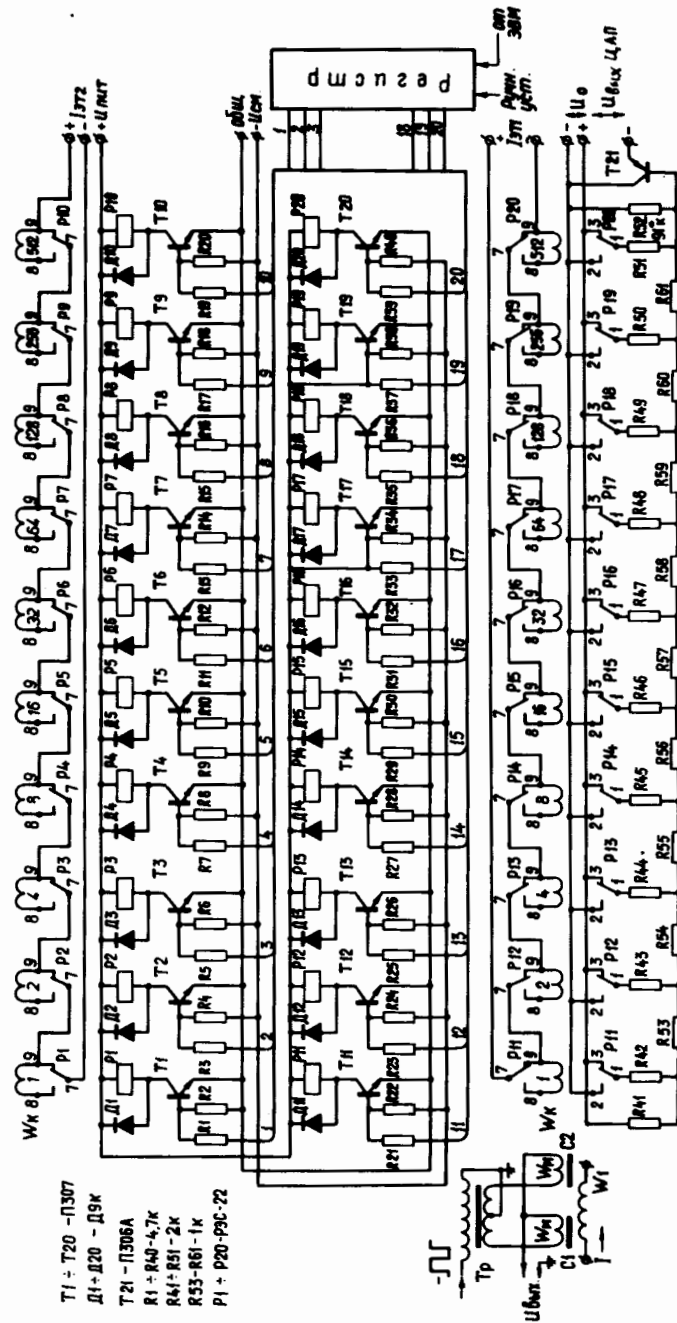


Рис. 4. Принципиальная схема измерительного устройства стабилизированного источника тока.

каскад на транзисторе Т1 является согласующим, усилитель мощности выполнен на транзисторах Т2, Т3. УСО охвачен отрицательной обратной связью /цепочка R2C1/.

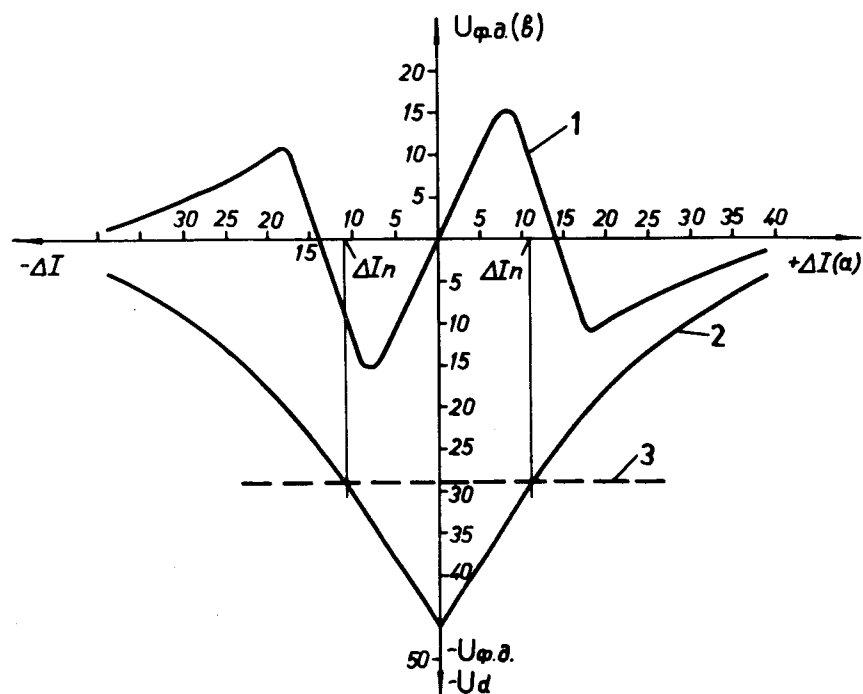


Рис. 5. Выходная характеристика магнитного компаратора.

Выходное напряжение УСО суммируется с выходным напряжением ЦАП2, полученное таким образом управляющее напряжение подается на вход регулирующего транзистора /через гнездо "Вых. УПТ", схема рис. 6/. Резисторы R12 и R16 служат для установки необходимого значения масштабного коэффициента ЦАП2. Указанная регулировка требуется при изменении параметров нагрузки стабилизатора.

ПУ содержит два двухполупериодных выпрямителя /Д7÷Д10/, пороговый элемент /Т4/, усилитель мощности /Т5/ и исполнительное реле /Р1/. Данное порого-

вое устройство в совокупности с магнитным компаратором способно обеспечить /без реле времени/ выполнение всех условий надежного функционирования стабилизатора в режиме управления от ЭВМ.

С выхода выпрямителя Д7 - Д8 отрицательное напряжение U_d /напряжение в точке d относительно общей шины, схема рис. 6/ поступает через делитель R19, R21, R22 на вход порогового элемента /Т4/. Величина U_d в первом приближении равна амплитуде первой гармоники напряжения на модуляционных обмотках компаратора и зависит от величины разбаланса ΔI . Зависимость $U_d = f(\Delta I)$ приведена на рис. 5 /кривая 2/. Здесь же нанесено пороговое напряжение транзистора Т4, приведенное к точке d /пунктирная прямая 3/. Выпрямитель Д9 - Д10 является "балластным" и служит для компенсации реакции выпрямителя Д7 - Д8 на модуляционный генератор. Такая компенсация позволяет практически исключить влияние ПУ на сдвиг нуля магнитного компаратора.

В случае нормальной работы стабилизатора $|\Delta I| < |\Delta I_{п}|$ и величина $|U_d|$ превышает пороговое значение, поэтому транзисторы Т4 и Т5 находятся в проводящем состоянии. Через обмотку реле Р1 протекает ток, вследствие чего контакты 7-8, 10-11 - замкнуты, а контакты 1-3 и 4-6 разомкнуты. Контакты 10-11 в замкнутом состоянии обеспечивают передачу на ЭВМ сигнала о нормальной работе стабилизатора. Через контакты 7-8 напряжение питания поступает на световой индикатор, который своим свечением также сигнализирует о нормальной работе стабилизатора.

При срыве стабилизации цепь питания обмотки реле Р1 размыкается, так как транзисторы Т4 и Т5 запираются /при срыве $|\Delta I| > |\Delta I_{п}|$ и величина U_d становится меньше порогового значения/. Контакты 7-8 и 10-11 размыкаются, контакты 1-3 и 4-6 замыкаются. Замыкание контактов 1-3 и 4-6 приводит к размыканию цепи обратной связи стабилизатора, в результате чего создаются условия для ввода стабилизатора в нормальный режим работы.

Контакты 10-11 в разомкнутом состоянии обеспечивают передачу на ЭВМ сигнала о срыве стабилизации.

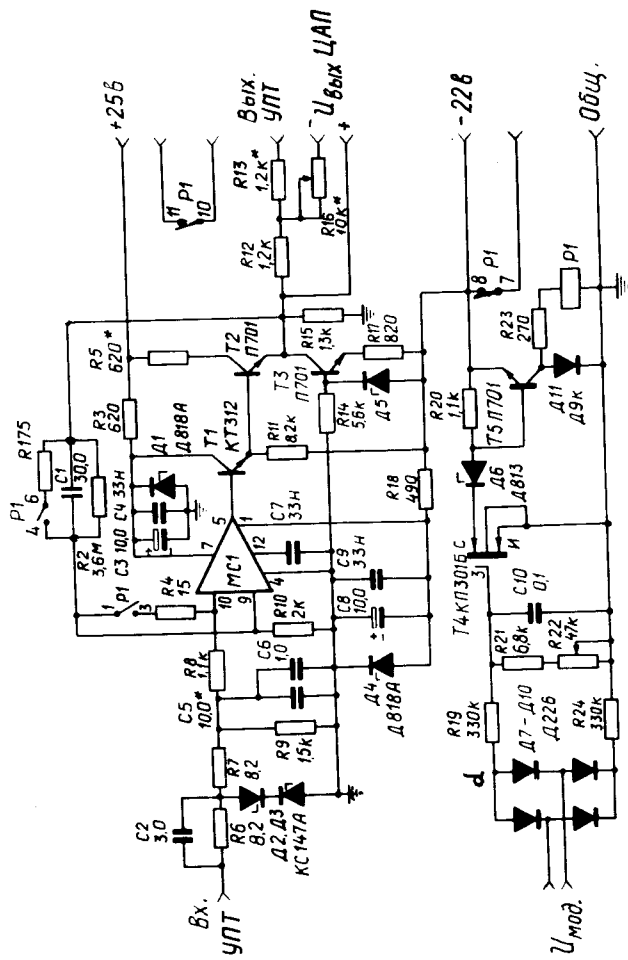


Рис. 6. Принципиальная схема усилителя сигнала ошибки и порогового устройства.

При размыкании контактов 7-8 гаснет световой индикатор.

Восстановление нормального рабочего режима стабилизатора приводит к установлению соответствующего состояния ПУ.

В транзисторном регуляторе /РТ/ используются регулирующие блоки, описанные в работе^{/9/}. Предельные параметры силовой части обсуждаемого образца стабилизатора: максимальный ток нагрузки - 600 А, максимальное напряжение на нагрузке - 40 В. Величина нестабильности тока и погрешность установки тока составляют менее 0,01%.

Автор благодарит Э.К.Батманову и Л.И.Иванникову, оказавших большую помощь при подготовке рукописи к печати.

Литература

1. А.А.Васильев. Труды III Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, т. 2, стр. 4., М., Наука, 1973.
2. Ю.Н.Денисов, С.А.Ивашкевич, В.В.Калиниченко. ПТЭ, №5, 177 /1966/.
3. Ю.Н.Денисов, В.В.Калиниченко. Сообщения ОИЯИ, 13-5960, Дубна, 1971.
4. Ю.Н.Денисов, В.В.Калиниченко. Сообщения ОИЯИ, 13-6531, Дубна, 1972.
5. С.Д.Додик. Полупроводниковые стабилизаторы постоянного напряжения и тока. М., Сов. радио, 1962.
6. Э.И.Гитис. Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств. М.-Л., Госэнергоиздат, 1961.
7. Ю.Н.Денисов, В.В.Калиниченко. Сообщения ОИЯИ, 13-7488, Дубна, 1973.
8. В.В.Калиниченко. Сообщения ОИЯИ, 13-8573, Дубна, 1975.
9. Л.К.Богомолова, Ю.Н.Денисов, В.В.Калиниченко, В.А.Пережогин. Препринт ОИЯИ, Р9-7339, стр. 62 Дубна, 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 марта 1976 года.