

5068

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

13 - 5068



Ю.Н. Денисов, В.В. Калиниченко,
А.Г. Комиссаров, Ю.И. Сусов

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

СИСТЕМА ПИТАНИЯ
ОБМОТОК ЭЛЕКТРОМАГНИТА
ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛИ
ИЗОХРОННОГО ЦИКЛОТРОНА

1970

Ю.Н. Денисов, В.В. Калиниченко,
А.Г. Комиссаров, Ю.И. Сусов

СИСТЕМА ПИТАНИЯ
ОБМОТОК ЭЛЕКТРОМАГНИТА
ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛИ
ИЗОХРОННОГО ЦИКЛОТРОНА

Топография магнитного поля электронной модели изохронного циклотрона/1/ формируется при помощи обмоток различной конфигурации/2/. Тридцать семь обмоток – кольцевые концентрические, а четыре, предназначенные для создания спиральной вариации магнитного поля ускорителя и компенсации нежелательной компоненты поля Земли, имеют специальную форму. Параметры всех обмоток магнитной системы ускорителя даны в таблице (стр. 8-9).

Приведенные в таблице характеристики обмоток показывают, что источники питания магнитной системы могут быть разбиты на три группы:

а) стабилизированные источники на максимальные токи нагрузки 2+3 а, имеющие относительно узкий диапазон плавного регулирования ($\pm 20\%$);

б) стабилизированные источники на максимальные токи в нагрузке 100 + 800 а с диапазоном регулирования $\pm 30\%$;

в) стабилизированные источники с плавным регулированием тока в нагрузке от нуля до $I_{max} = 10+12$ а.

Требования к стабильности тока возбуждения практически одинаковы для всех обмоток: она должна составлять $\approx 0,1\%$.

При выборе типа стабилизированных источников тока возбуждения необходимо учитывать также, что магнитная система электронной модели изохронного циклотрона "безжелезная" и, следовательно, индуктивности обмоток малы. Это практически исключает фильтрацию пульсаций за счёт индуктивного реактанса нагрузки. Сглаживание питающего напряжения должно производиться регулирующим элементом системы стабилизации.

Все три типа источников питания выполнены с компенсационными схемами стабилизации тока в нагрузке. Небольшая величина требуемого напряжения на обмотках позволила использовать в качестве регулирующих элементов полупроводниковые триоды. В стабилизаторах применяется последовательное включение регулирующего элемента, поскольку из анализа, проведенного в работе^{3/}, и наших экспериментальных исследований следует, что при выходных напряжениях, превышающих 5 + 8 в, к.п.д. стабилизатора с параллельно включенным регулирующим элементом значительно ниже. Кроме того, при напряжениях на нагрузке, больших 20+25 в, надежность параллельного транзисторного регулирующего элемента на обычно применяемых триодах типа П4 и П210 резко падает. Это определяется сравнительно невысокими допустимыми напряжениями коллектор-база для мощных германиевых триодов этих серий.

Относительно большие величины токов в нагрузке (до 800 а) обусловили параллельное включение транзисторов в регулирующем элементе. В этом случае в целях равномерного распределения токов через триоды необходимо принимать специальные меры для симметрирования транзисторов. Выравнивание характеристик отдельных параллельных ветвей производится включением в эмиттер каждого триода небольших сопротивлений R_{\ominus} . Величина этого сопротивления для заданной неравномерности распределения рассеиваемой мощности определяется по формуле

$$R_{\ominus} = [k(\bar{1} - p) - \bar{1}] / p k S_{\min}$$

где $k = S_{\max} / S_{\min}$; S_{\max} и S_{\min} - максимальное и минимальное значения крутизны используемых в регулирующем элементе транзисторов; $p = (P_{T\max} - P_{T\min}) / P_{T\max}$; $P_{T\max}$ и $P_{T\min}$ - максимальная и минимальная мощности, рассеиваемые предельно отличающимися экземплярами в группе параллельно включенных транзисторов.

В качестве регулирующих транзисторов во всех источниках питания используются германиевые триоды типа П4Д. Измерение параметров этих транзисторов (более 2000 штук) показало, что реальные значения крутизны S лежат в интервале (1+7) а/в. Однако около 80% транзисторов имели крутизну в пределах от 2 а/в до 4 а/в. Транзисторы с таким значением крутизны и были использованы в регулирующих элементах

стабилизаторов. Если допустить, что неравномерность рассеиваемой мощности на триодах составляет $\approx 20\%$, то при $S_{\min} = 2$ а/в и $k = 2$ минимальная величина сопротивлений в эмиттерах равна 0,75 ома.

Во всех разработанных стабилизаторах усилители постоянного тока (УПТ) в цепи обратной связи выполнены также на транзисторах.

Принципиальная схема стабилизированных источников, обеспечивающих $I_{H\max} \approx 2$ а, приведена на рис. 1. Регулирующие транзисторы (Т1, Т2) крепятся к черному дюралюминиевому радиатору, позволяющему поддерживать нормальный температурный режим регулирующих транзисторов при рассеиваемой в них мощности до 26 вт. В одном из выбранных режимов работы этих источников $P_{k\max}$ колеблется в интервале (7+16) вт. Источником опорного сигнала в схеме сравнения служит двухконтурный параметрический стабилизатор напряжения на кремниевых стабилитронах (Д14+Д16, Д19). С помощью германиевых диодов типа Д7Ж (Д17, Д18), включенных в прямом направлении, осуществляется компенсация ТКН кремниевых стабилитронов.

Установка требуемого диапазона значений тока нагрузки осуществляется подбором соответствующей величины $R_{\text{эт}}$. Для плавной регулировки тока в узком диапазоне служат потенциометры R10 и R11. Контроль установленной величины тока на каждом источнике питания производится путем измерения цифровым вольтметром напряжения на стабильном, калиброванном сопротивлении $R_{\text{ш.изм.}}$.

На рис. 2 приведена принципиальная схема стабилизированного источника питания, обеспечивающего $I_{H\max} \approx 3$ а. В отличие от предыдущей схемы первый каскад УПТ в цепи обратной связи этого стабилизатора тока собран по балансной схеме. В регулирующем каскаде используется четыре транзистора (Т1+4). Эти транзисторы и согласующий эмиттерный повторитель Т8 монтируются на дюралюминиевом черном радиаторе. Максимальная рассеиваемая регулятором мощность может достигать 60 вт.

Блок-схема сильноточных стабилизированных источников на токи до 800 а показана на рис.3.

В качестве регулируемых источников постоянного тока в этих схемах используются мотор-генераторы (источники №№13, 38; 40,41), либо трехфазные выпрямители (источники №№1, 39). Напряжение на выходе генератора постоянного тока машинного агрегата регулируется изменением тока в обмотке возбуждения. Питаются эти обмотки от регулируемых источников тока, стабилизированных с точностью $\approx 1\%$. Принципиальная схема источника тока возбуждения для мотор-генератора с максимальным током до 1040а дана на рис. 4. Источник стабилизируется полупроводниковым стабилизатором тока с последовательным регулирующим элементом. Оптимальный режим работы регулирующих триодов поддерживается изменением напряжения на первичной стороне силового трансформатора. Для этих транзисторов используется водяное охлаждение - медная пластина с напаянными на нее трубками.

Трехфазные выпрямители в источниках № 1, 39 собраны по схеме Ларионова/4/. Напряжение на выходе этих выпрямителей регулируется автотрансформаторами на первичной стороне силовых трансформаторов. Полупроводниковые диоды типа Д242 собраны группами по 24 штуки и охлаждаются водой. Для выравнивания токов через диоды последовательно с каждым вентиляем включено сопротивление 0,1 ома.

Принципиальная схема полупроводникового стабилизатора тока последовательного типа на ток в нагрузке до 800 а приведена на рис. 5. Для всех других источников этого типа схемы стабилизации будут различаться только параметрами регулирующих блоков и схем сравнения. Источниками опорного напряжения в схемах сравнения служат стабильные ртутные элементы. В качестве эталонных сопротивлений $R_{эт}$ применяются выпускаемые промышленностью манганиновые сопротивления с водо-масляным охлаждением. Плавное регулирование величины стабилизируемого тока производится многооборотным переменным сопротивлением R_4 .

Регулирующие блоки всех сильноточных стабилизаторов конструктивно разбиты на секции, через каждую из которых пропускается ток до 50 а, $P_{max} = 350$ вт. Конструкция секции показана на рис. 6. Охлаждение регулирующих триодов водяное. Секции подсоединяются к общей шине через выравнивающие сопротивления 0,01 ома. Эти же выравнивающие сопротив-

ления служат ограничителями тока в случае пробоя регулирующих или управляющих транзисторов в секциях.

Принципиальная схема стабилизированных источников, обеспечивающих ток в нагрузке до 10 а, приведена на рис. 7. В этих стабилизаторах предусмотрена возможность плавного регулирования тока во всем диапазоне значений (R_{22} , R_{23}) и оперативного реверсирования его направления в нагрузке переключателем ПЗ.

Общий вид всего комплекса источников питания обмоток магнитной системы электронной модели изохронного циклотрона представлен на рис. 8.

Опыт двухгодичной эксплуатации рассмотренного комплекса систем питания обмоток электронной модели изохронного циклотрона показал, что предъявлявшиеся к ним требования по стабильности, диапазону регулирования и надежности реально удовлетворяются.

Л и т е р а т у р а

1. В.Н. Аносов, А.Т. Василенко, С.Б. Ворожцов и др. Препринт ОИЯИ, Р9-3787, Дубна, 1968.
2. С.Б. Ворожцов, Н.Л. Заплатин, Л.А. Саркисян. Препринт ОИЯИ, Р9-3448, Дубна, 1967.
3. С.Д. Додик. Полупроводниковые стабилизаторы постоянного напряжения и тока. "Сов. радио", 1962.
4. Б.П. Терентьев. Электропитание радиоустройств. Связьиздат, 1958.

Рукопись поступила в издательский отдел

23 апреля 1970 года.

ПАРАМЕТРЫ ОБМОТОК

Таблица

№№ источ. обмот.	№№ обмот.	Ø провода	I/2W обм.	R обм. (ом)	U обм.) (в)	P (вт)	I _{max} (а)	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	Ø8x1,5	1	0,8·10 ⁻³	0,292	102	350	
2	2	1,56	150	2,4	4,8	5,6	2	
3	3	1,56	30	1,1	2,2	4,4	2	
4	4	1,56	30	1,4	2,8	5,6	2	
5	5	1,56	30	1,8	3,6	7,2	2	
6	6	1,56	30	2,2	4,4	8,8	2	
7	7	1,56	30	2,6	5,2	10,4	2	
8	8	1,95	60	3,9	7,8	15,6	2	
9	9	1,95	60	4,4	8,8	17,6	2	
10	10	2,44	62	4,4	8,8	17,6	2	
11	11	2,44	62	4,9	14,7	44,1	3	
12	12	Ø8x1,5	1	9,3x10 ⁻³	1,4	210	150	
13	13	Ø8x1,5	1	9,7x10 ⁻³	4,8	2420	500	
=====								
14	1	3,53	5	4,7·10 ⁻²	0,47	4,7	10	
15	2	3,53	5	5,2·10 ⁻²	0,52	5,2	10	
16	3	3,53	5	5,6·10 ⁻²	0,56	5,6	10	
17	4	3,53	5	6,1·10 ⁻²	0,61	6,1	10	
18	5	3,53	5	6,5·10 ⁻²	0,65	6,5	10	
19	6	3,53	5	6,8·10 ⁻²	0,68	6,8	10	
20	7	3,53	5	7,3·10 ⁻²	0,73	7,3	10	
21	8	3,53	5	7,8·10 ⁻²	0,78	7,8	10	
22	9	3,53	5	8,3·10 ⁻²	0,83	8,3	10	

Обмотки грубой коррекции

Обмотки тонкой коррекции

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
23	10	3,53	5	8,6·10 ⁻²	0,86	8,6	10	
24	11	3,53	5	9,0·10 ⁻²	0,9	9,0	10	
25	12	3,53	5	9,5·10 ⁻²	0,95	9,5	10	
26	13	3,53	5	10,0·10 ⁻²	1,0	10,0	10	
27	14	3,53	5	10,3·10 ⁻²	1,03	10,3	10	
28	15	3,53	5	10,8·10 ⁻²	1,08	10,8	10	
29	16	3,53	5	11,2·10 ⁻²	1,12	11,2	10	
30	17	3,53	5	11,8·10 ⁻²	1,18	11,8	10	
31	18	3,53	5	12,0·10 ⁻²	1,2	12,0	10	
32	19	3,53	5	12,6·10 ⁻²	1,26	12,6	10	
33	20	3,53	10	23,6·10 ⁻²	2,36	23,6	10	
34	21	3,53	15	35,7·10 ⁻²	3,57	35,7	10	
35	22	3,53	15	37,1·10 ⁻²	3,71	37,1	10	
36	23	2,63	11	46,4·10 ⁻²	1,03	4,65	4,5	
37	24	3,53	24	54,10 ⁻²	6,8	85	12,5	
=====								
38	-	Ø8x1,5	1	17·10 ⁻³	14	11000	800	Гармоническая обмотка
39	-	20 x 3	1	1,6·10 ⁻³	0,16	16	100	Компенсационная обмотка
40	-	Ø8 x 1,5	1	44·10 ⁻³	4,4	440	100	Обмотки компенсации поля
41	-	Ø8x1,5	1	31·10 ⁻³	9,3	2800	300	Земли

Обмотки тонкой коррекции

Тр-р : $W_1 = (1082 + 130 + 134 + 135 + 135) \text{ вит. ПЭВ2 } \phi 0,57;$
 $W_2 = 173 \text{ вит. ПЭВ2 } \phi 1,31; W_3 = 278 \text{ вит. ПЭВ2 } \phi 0,55;$
 $W_4 = 42 \text{ вит. ПЭВ2 } \phi 0,9. \text{ Магнитопровод ЦЭМ 125 Вт.}$
 Др 560 вит ПЭВ2 $\phi 1,3$ Магнитопровод ЦЭМ 125 Вт.

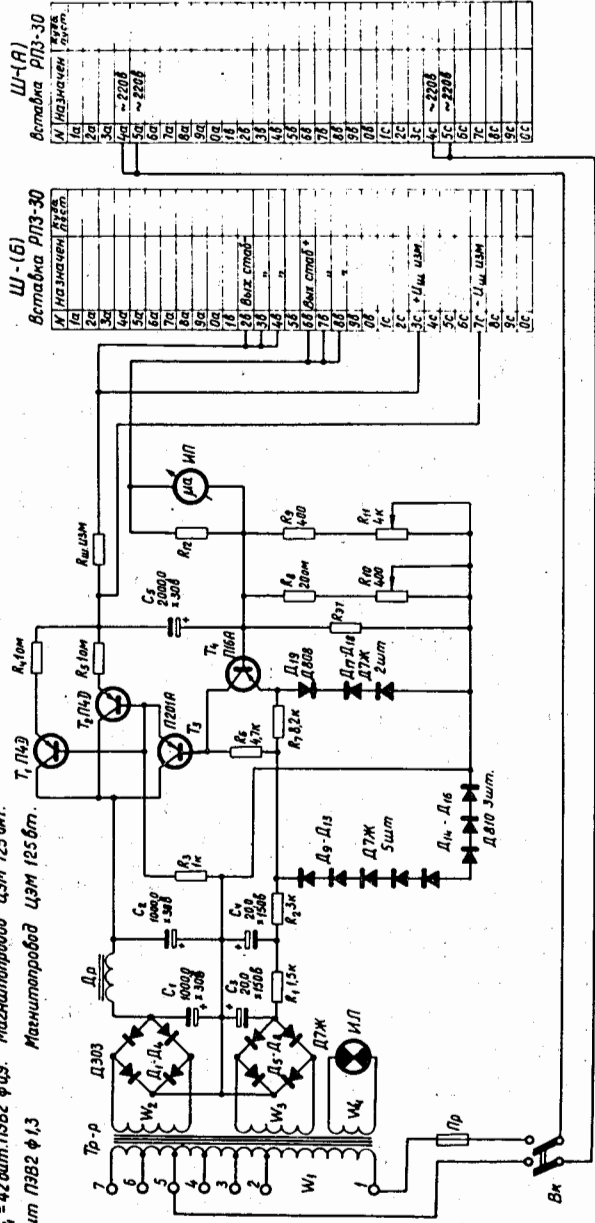
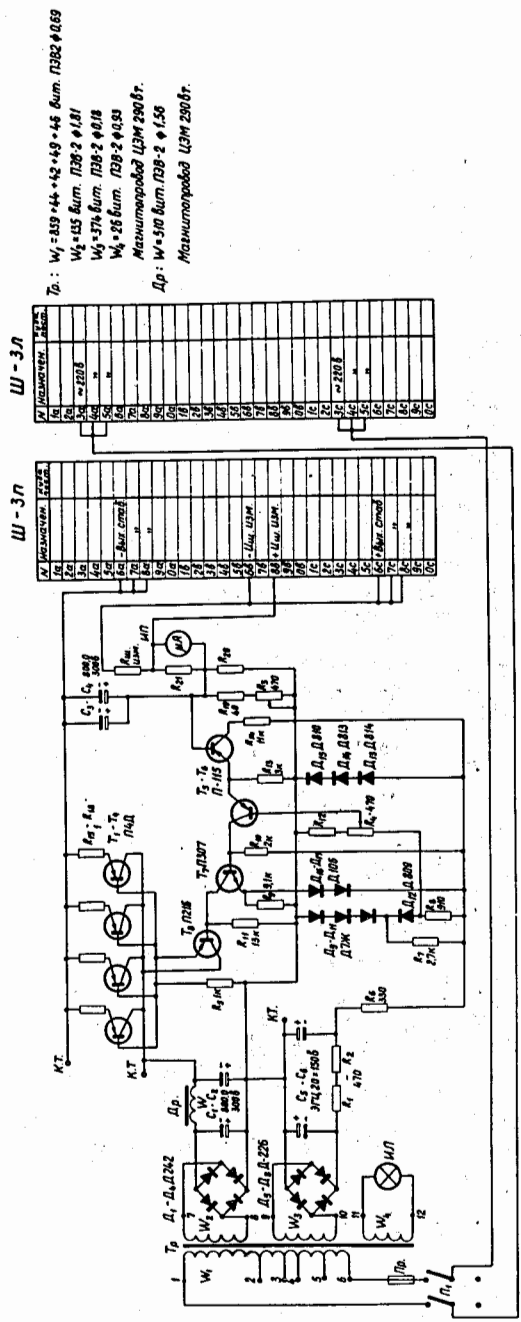


Рис. 1. Принципиальная схема стабилизированного источника постоянного тока, $I_{H \max} = 2 \text{ а.}$



Тр : $W_1 = 539 + 44 + 42 + 43 + 45 \text{ вит. ПЭВ2 } \phi 0,69$
 $W_2 = 145 \text{ вит. ПЭВ2 } \phi 1,01$
 $W_3 = 374 \text{ вит. ПЭВ2 } \phi 0,18$
 $W_4 = 26 \text{ вит. ПЭВ2 } \phi 0,91$
 Магнитопровод ЦЭМ 290 Вт.
 Др : $W_5 = 510 \text{ вит. ПЭВ2 } \phi 1,56$
 Магнитопровод ЦЭМ 290 Вт.

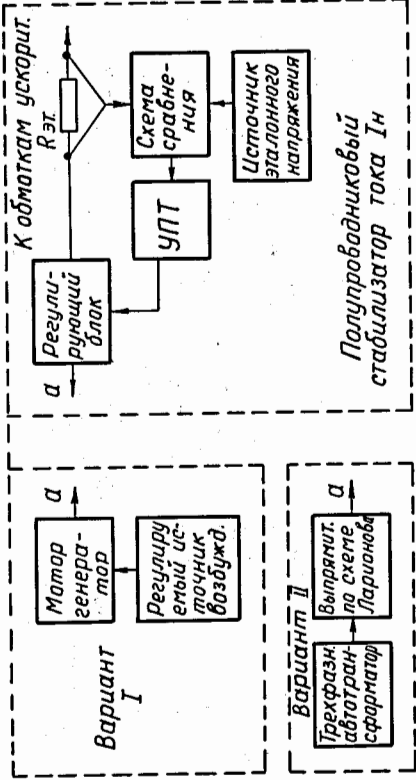


Рис. 2. Принципиальная схема стабилизированного источника тока, $I_{H \max} = 3 \text{ а.}$

Рис. 3. Блок-схема сильноточного стабилизатора тока.

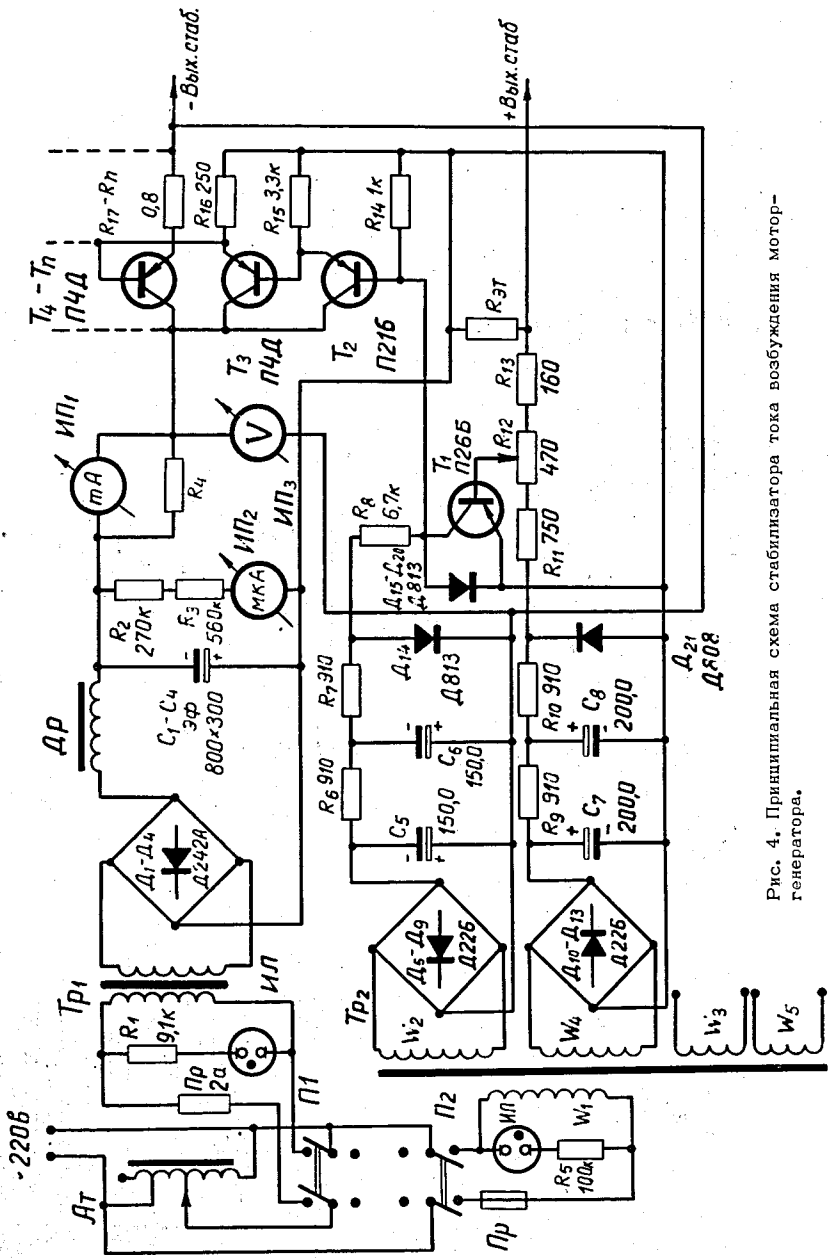


Рис. 4. Принципиальная схема стабилизатора тока возбуждения мотор-генератора.

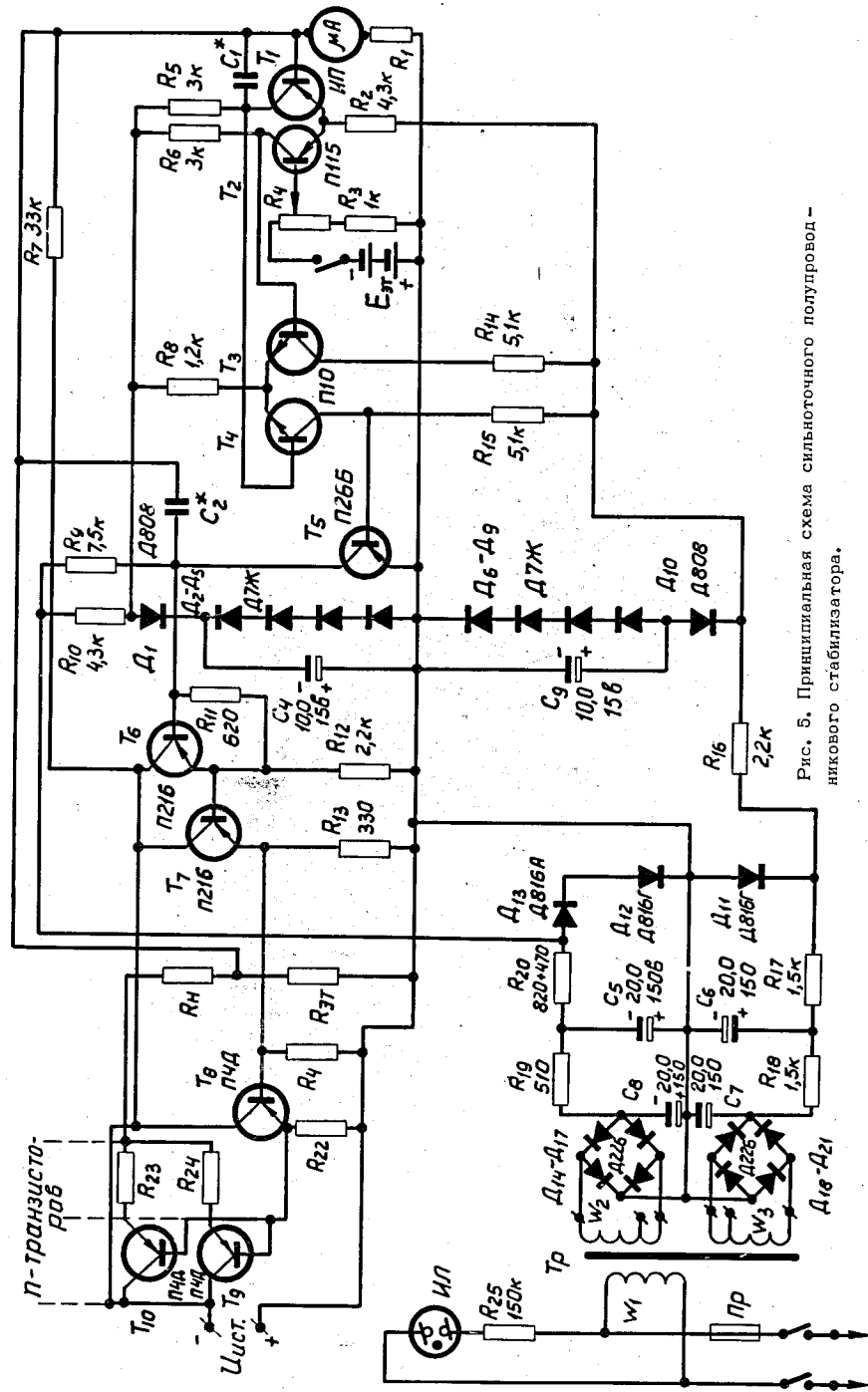


Рис. 5. Принципиальная схема силового полупроводникового стабилизатора.

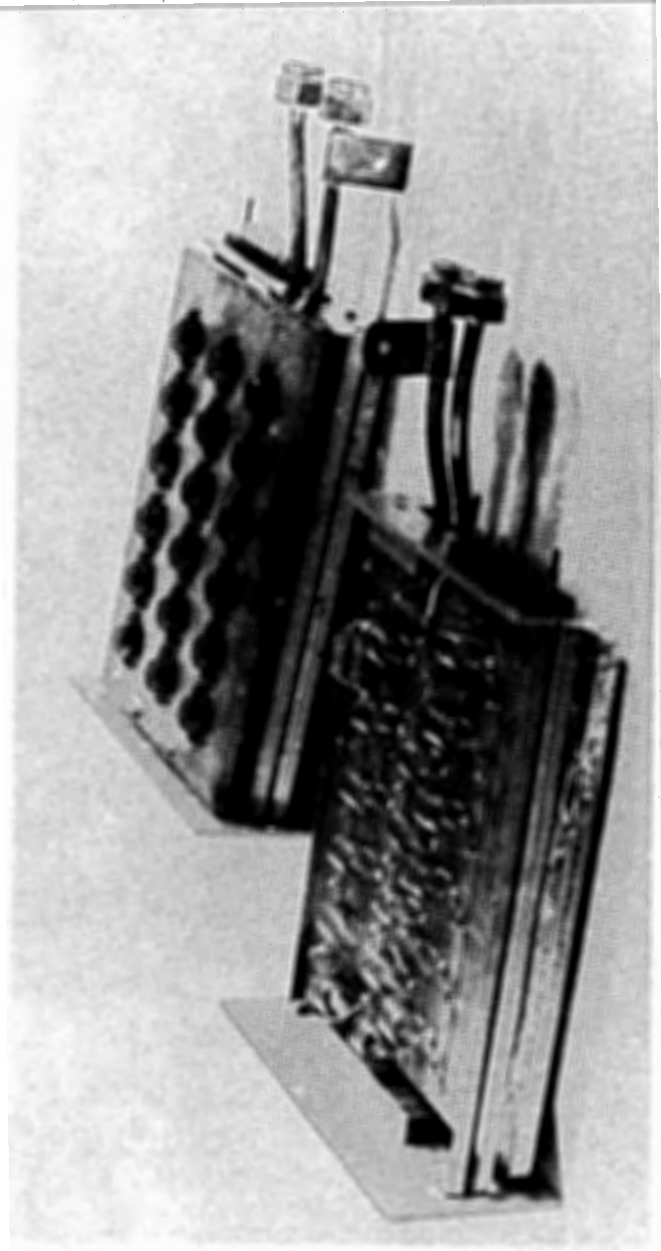


Рис. 6. Секция транзисторного регулятора, обеспечивающая $I_{\max} = 50$ а.

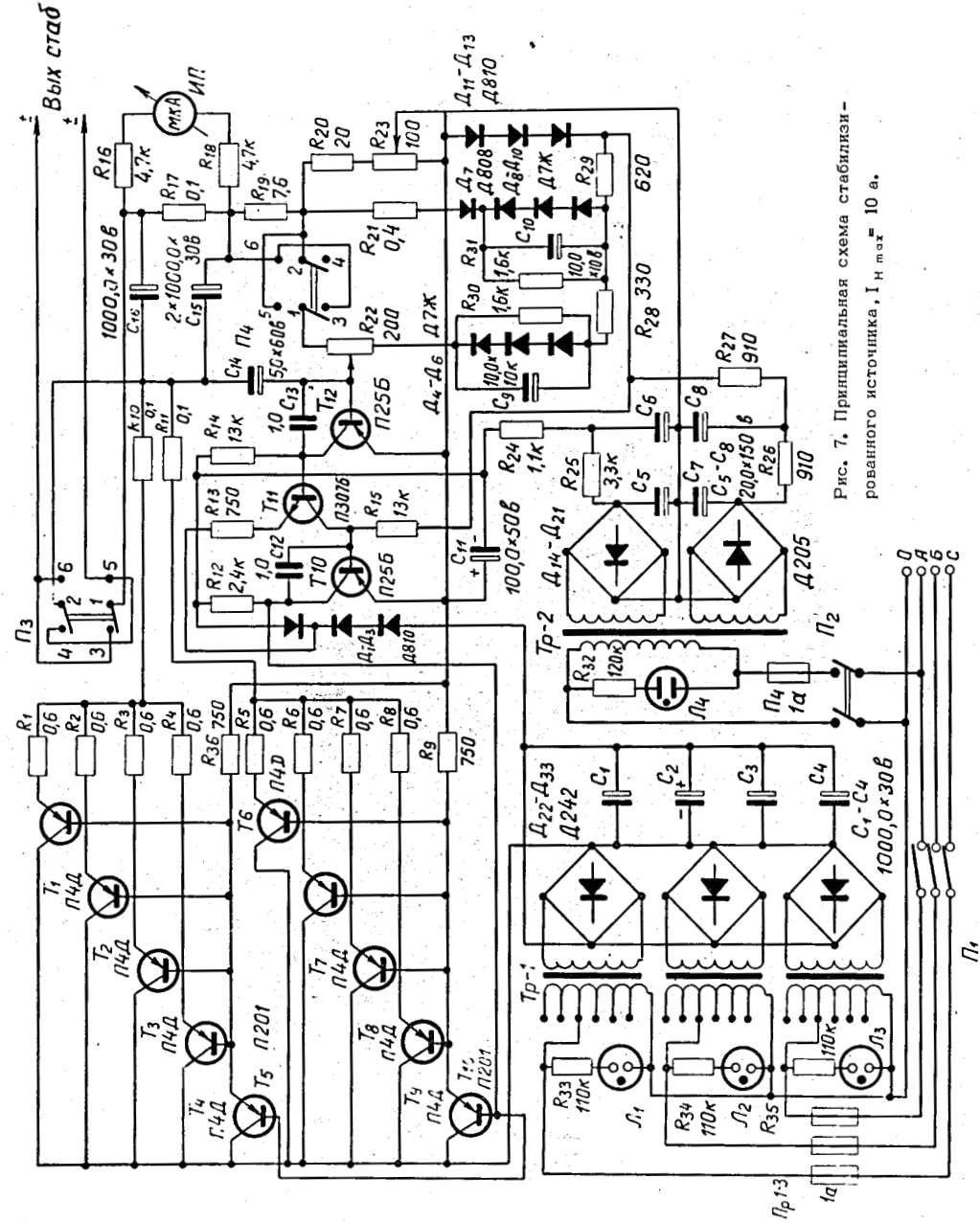


Рис. 7. Принципиальная схема стабилизированного источника, $I_{\max} = 10$ а.

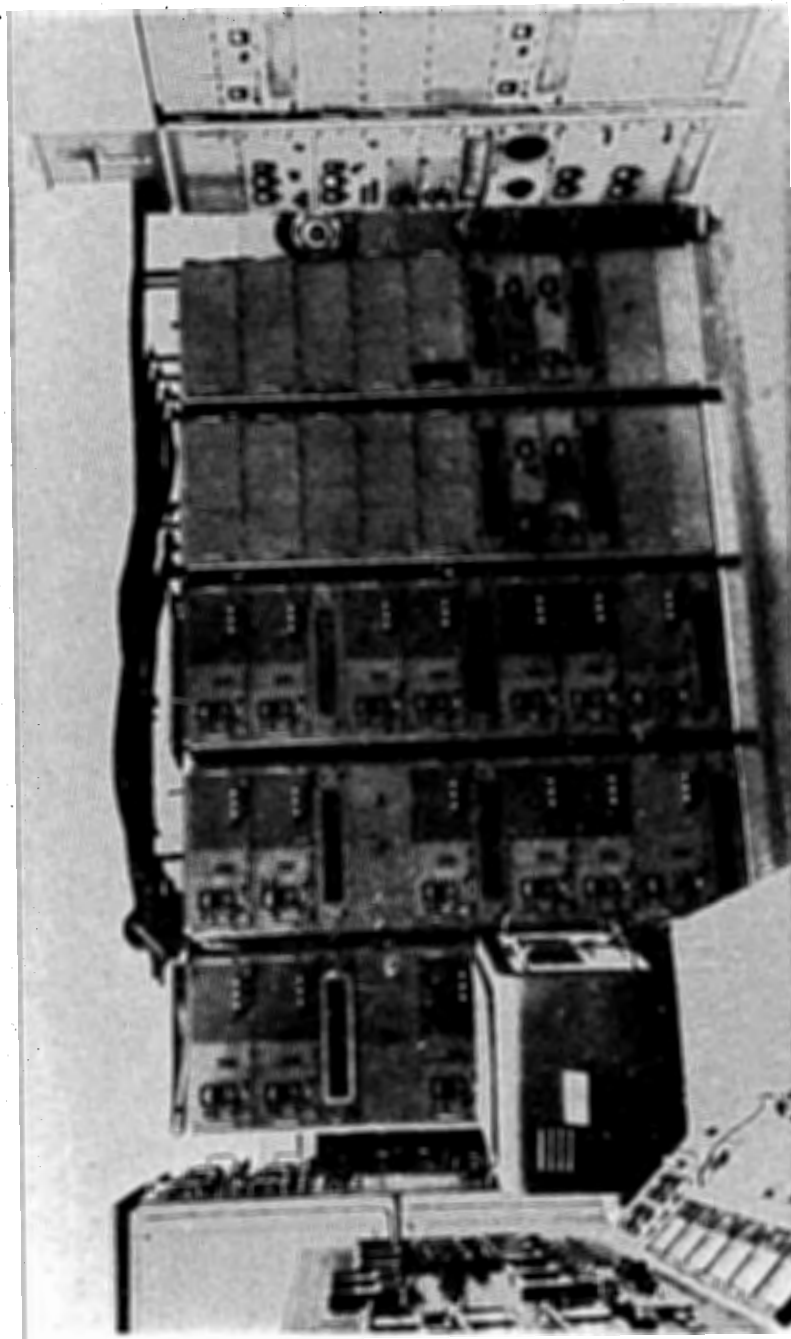


Рис. 8. Общий вид комплекса источников питания обмоток магнитной системы электронной модели изохронного циклотрона.