

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



С 345 r 1

A - 398

2620/2-78

19/01-78

P9 - 11344

В.А.Аккуратов, А.А.Глазов, В.В.Кудряшов,  
М.М.Семенов, Н.Г.Шакун, Юн Хо Зин

СИСТЕМА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ПИТАНИЯ  
ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ДЕФЛЕКТОРА

**1978**

**P9 - 11344**

**В.А.Аккуратов, А.А.Глазов, В.В.Кудряшов,  
М.М.Семенов, Н.Г.Шакун, Юн Хо Зин**

**СИСТЕМА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ПИТАНИЯ  
ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ДЕФЛЕКТОРА**

*Направлено в ПТЭ*

Аккуратов В.А. и др.

P9 - 11344

Система высоковольтного питания электростатического дефлектора

Рассматривается система высоковольтного питания электростатического дефлектора циклотрона У-120М, отличительной особенностью которой является возможность глубокого и плавного (90%) регулирования выпрямленного напряжения при сохранении высокой его стабильности.

Для питания умножительной колонны, собранной по однотактной схеме на малогабаритных выпрямительных столбах 2Ц106Г и конденсаторах К15-4, используются транзисторный преобразователь и повышающий трансформатор оригинальной конструкции на разомкнутом ферритовом сердечнике. Для повышения коэффициента трансформации и получения напряжения синусоидальной формы частота преобразователя выбрана равной частоте последовательного резонанса индуктивности рассеяния трансформатора с входной емкостью колонны. Система стабилизации, состоящая из двух колец обратной связи, позволила совместить глубокую плавную регулировку выпрямленного напряжения и его стабилизацию с высокой точностью.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Akkuratov V.A. et al.

P9 - 11344

High Voltage Supply System for Electrostatic Deflector

A system of high voltage supply of the electrostatic deflector of the U-120M cyclotron is considered. Its characteristic feature is a possibility of precisely regulation of the voltage in wide limits (90 percent) by saving its high stability. As a primary supply for rectifier a transistor convertor and transformer with disconnected ferrite core was used. For increasing secondary voltage on the transformer a series resonance of dissipation inductivity with a capacity of rectifier was used. The stabilization system with two circles of feedback provided a possibility of deep and precise voltage regulation.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research.

Dubna 1978

В циклических ускорителях наибольшая эффективность вывода ускоренных частиц достигается в том случае, когда в качестве головного элемента выводной системы используется электростатический дефлектор. Это и обусловило их широкое применение<sup>/1/</sup>.

Система высоковольтного питания дефлектора должна обеспечивать напряжение до 100 кВ при максимальном токе порядка 1 мА. Кроме того, для получения высокого качества выведенного пучка частиц необходимо стабилизировать высокое напряжение и иметь малый уровень пульсаций.

Важной особенностью является также тот факт, что малый уровень пульсаций желательно обеспечивать при малой запасенной энергии /малых емкостях выпрямителя/, с тем чтобы при пробоях не происходило разрушения элементов дефлектора. Желательно также, чтобы габариты были по возможности меньшими.

Для удовлетворения указанным требованиям в качестве высоковольтных выпрямителей используют умножительные колонны, питаемые от полупроводниковых или ламповых преобразователей<sup>/2/</sup>.

Известно, что для уменьшения амплитуды пульсаций выпрямленного напряжения необходимо уменьшать число каскадов умножительной колонны или увеличивать частоту первичного напряжения. В случае лампового преобразователя /генератора/ легко может быть получено первичное напряжение достаточно высокой амплитуды и частоты, однако полупроводниковые выпрямительные столбы ввиду низкого частотного потолка не позволяют использовать частотные возможности ламповой схемы.

Использование же вакуумных диодов приводит к дополнительным техническим трудностям и ухудшает эксплуатационные характеристики. Недостатком ламповой схемы является ее относительная сложность, громоздкость и малый КПД.

Применяемые транзисторные преобразователи для повышения КПД работают в ключевом режиме. Нагрузкой является повышающий трансформатор, как правило, на феррите, вторичная обмотка которого питает умножительную колонну. Для повышения коэффициента передачи и получения напряжений синусоидальной формы с целью уменьшения пульсаций используется параллельный резонанс индуктивности обмотки с паразитной емкостью и входной емкостью колонны /рис. 1а/. При этом максимальный коэффициент передачи трансформатора

$$U_{m2} / U_{m1} = K_{01} = n R_H / (R_1 n^2 + R_H),$$

где  $n = W_2 / W_1$  - отношение витков обмоток,  $R_H$  - сопротивление нагрузки,  $R_1$  - внутреннее сопротивление источника /при  $R_H \rightarrow \infty, K_{01} \rightarrow n$ /. Несмотря на принятие специальных мер по уменьшению паразитной емкости, частоту такого резонанса ввиду значительной индуктивности обмотки трудно сделать достаточно высокой, особенно при желании получить значительный коэффициент передачи. Это затрудняет достижение необходимых параметров выпрямленного напряжения.

Известно, что на высоких частотах в трансформаторах наблюдается второй - последовательный /паразитный!/ резонанс паразитной емкости и емкости нагрузки с индуктивностью рассеяния /рис. 1б/. Коэффициент передачи на частоте этого резонанса  $K_{02}$  связан с коэффициентом  $K_{01}$  соотношением

$$K_{02} = K_{01} / d \sqrt{1 - d^2/4},$$

где  $d$  - величина, обратная добротности последовательного контура  $R_1, L_s, C_2'$ , емкость которого зашунтирована сопротивлением  $R_H$  (при  $R_H \rightarrow \infty, d = 1/Q = R_1 / \sqrt{L_s / C_2'}$ ).

Искусственно увеличивая индуктивность рассеяния

при уменьшении паразитной емкости путем создания трансформатора специальной конструкции /рис. 1в/ и уменьшая внутреннее сопротивление источника питания, что легко достигается в транзисторных схемах, можно сделать  $d$  достаточно малым. Таким образом, при тех же габаритах трансформатора и сохранении синусоидальной формы напряжения при работе на последовательном резонансе сразу решаются две задачи:

1. Увеличивается вторичное напряжение, что позволяет уменьшить количество каскадов в умножительной колонне.

2. Возрастает рабочая частота. Это, в свою очередь, приводит к уменьшению габаритов колонны и уменьшению пульсаций выпрямленного напряжения.

Блок-схема системы высоковольтного питания представлена на рис. 2.

Особенностью системы питания электростатического дефлектора изохронного циклотрона У-120М<sup>3/</sup> для которого осуществлена настоящая разработка, является необходимость значительного /10-80 кВ/ изменения напряжения на дефлекторе, что связано с ускорением различных частиц и глубоким регулированием конечной энергии. Для обеспечения такой возможности при сохранении высоких требований к стабильности выпрямленного напряжения /10<sup>-3</sup>/ схема регулирования и стабилизации выполнена двухконтурной. Первый контур выполнен по схеме стабилизатора напряжения с регулирующим транзистором, делителем высоковольтного напряжения после умножительной колонны и услителем постоянного тока УПТ<sub>1</sub>. Во второй контур входит регулирующий транзистор первого контура и регулируемый тиристорный выпрямитель с УПТ<sub>2</sub>. Принципиальная схема всего высоковольтного источника питания приведена на рис. 3,4. Высоковольтный трансформатор преобразователя выполнен на незамкнутых ферритовых сердечниках М600 прямоугольного сечения. Первичная обмотка имеет 10 витков рядовой намотки, вторичная - 2000 витков с конусообразной намоткой. Такая намотка уменьшает паразитную емкость и упрощает изоляцию высоковольтного вывода /рис. 1в/.

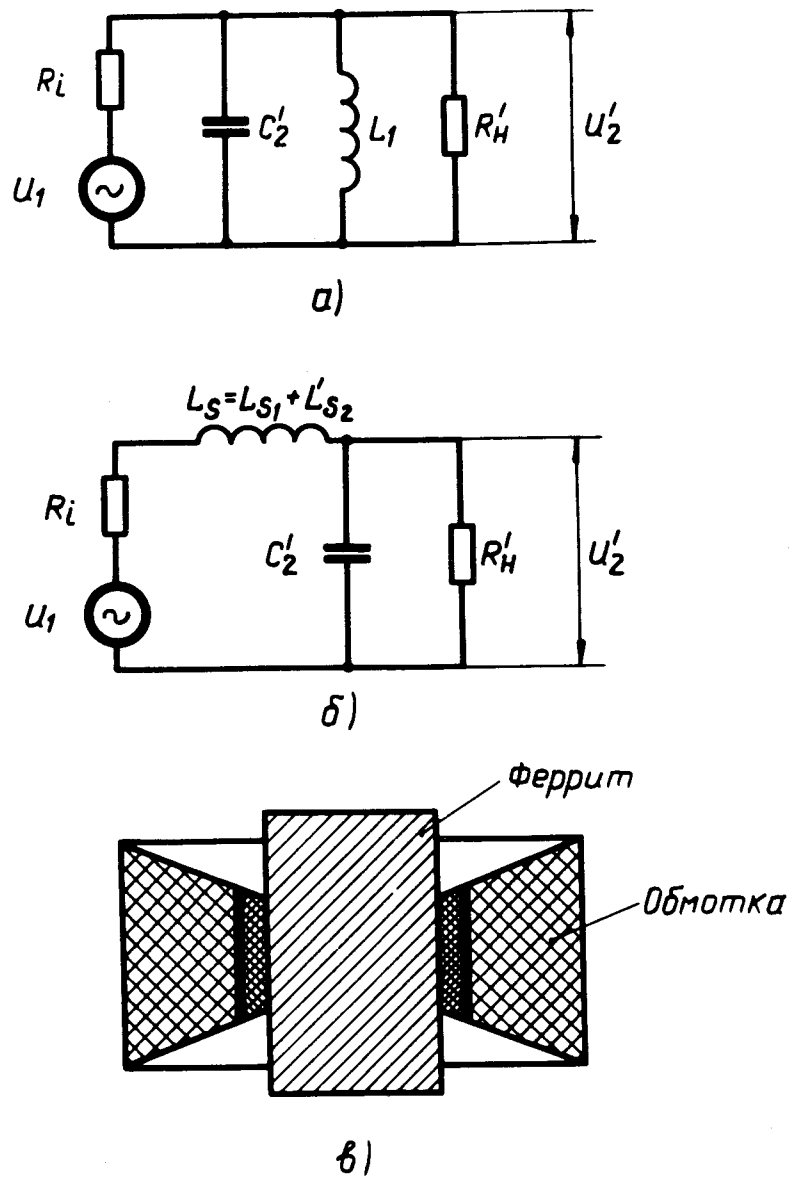


Рис. 1. Эквивалентные схемы и конструкция высоковольтного трансформатора /штрихами обозначены величины, приведенные к первичной обмотке/.

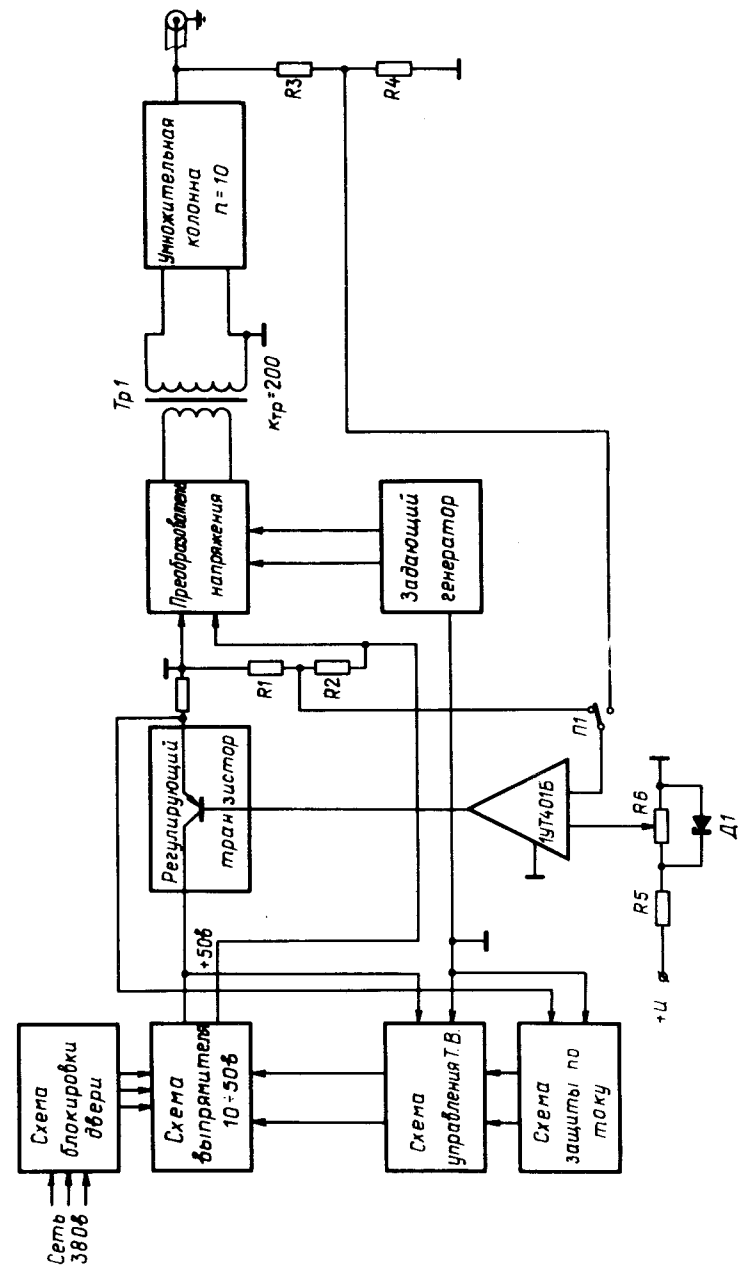


Рис. 2. Блок-схема системы высоковольтного питания.

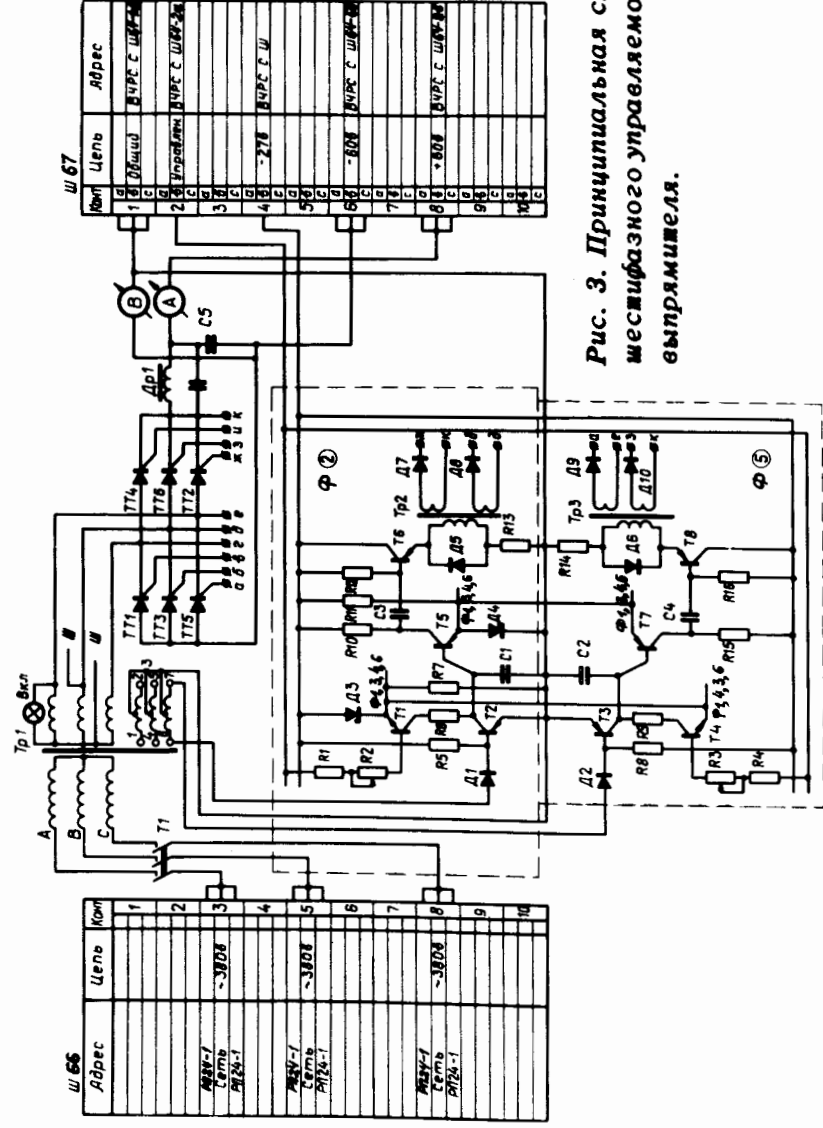


Рис. 3. Принципиальная схема шестиканального управляемого выпрямителя.

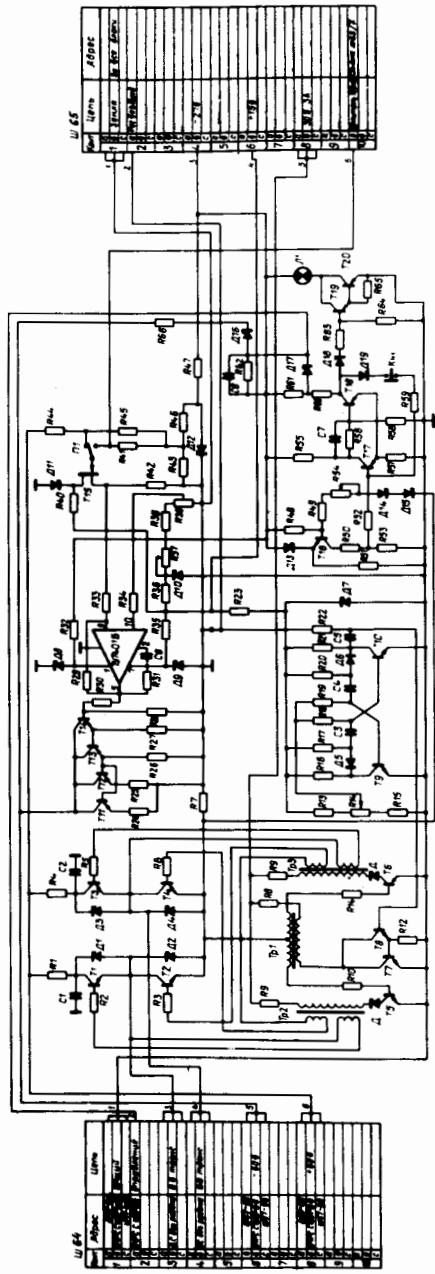


Рис. 4. Принципиальная схема мостового генератора, стабилизатора напряжения и защиты.

Трансформатор расположен в непосредственной близости от умножительной колонны и на расстоянии 30 м от преобразователя. Рабочая частота преобразователя, определяемая  $L_s$  и  $C_2'$ , равна  $f = 15 \cdot 10^3$  Гц. При этом  $C_2' = 300 \cdot 10^{-12}$  Ф. Вторичная обмотка выполнена проводом  $d = 0,1$  мм, ее сопротивление  $r = 10^3$  Ом, а эквивалентное сопротивление холостого хода нагрузки преобразователя

$$R_3' = \frac{\omega^2 L_s^2}{r \cdot n^2} = 70 \text{ Ом},$$

где

$$L_s = \frac{1}{\omega^2 C_2'}.$$

Напряжение питания преобразователя принято равным  $E_n = 50$  В, ток холостого хода преобразователя равняется 0,7 А, а максимальный ток при токе нагрузки  $I_n = 1$  мА составляет

$$I_n' = I_n \cdot K_y \cdot n = 2 \text{ А},$$

где  $K_y = 10$  - коэффициент умножения колонны. Полный ток, потребляемый от источника питания, с учетом потерь составляет  $I_n = 3$  А, а коэффициент полезного действия установки приближается к 70%.

Преобразователь напряжения выполнен по мостовой схеме на транзисторах КТ-908А, работающих в режиме насыщения. Для возбуждения преобразователя используется трехкаскадный усилитель с задающим генератором-мультивибратором.

Первый контур стабилизации выполнен на регулирующем транзисторе П-210А и усилителе постоянного тока УПТ-1 на микросхеме К1УТ401Б. Напряжение обратной связи поступает с делителя высокого напряжения, который конструктивно расположен в баке колонны. Опорное напряжение подается от диода Д-818Е через многооборотный потенциометр, являющийся одновременно регулятором выходного высоковольтного напряжения. Регулирующим элементом второго контура стабилизации является тиристорный шестифазный выпрямитель, который стабилизирует напряжение коллектор-эмиттер транзистора П-210А из первого контура стабилизации. Для уп-

равления углом открывания тиристоров в каждой фазе принята вертикальная схема с УПТ-2, выполненным на транзисторе МП-38А с коллекторной нагрузкой в виде транзисторного ключа МП25Б, управляемого напряжением соответствующей фазы выпрямителя. Напряжение пилы, снимаемое с емкости нагрузки ключа, дальше преобразуется в короткие импульсы запуска тиристоров. В источнике предусмотрена электронная схема защиты по максимальному току. Конструктивно описанная электронная часть источника размещена в двух блоках стойки "Вишня" /рис. 5/.

Умножительная колонна собрана по однотактной схеме. Такой выбор диктуется конструкцией высоковольтного трансформатора, имеющего один высоковольтный вывод, и желанием иметь максимально компактную конструкцию, т.к. в конкретном случае для питания электростатического дефлектора циклотрона У-120М требуются три отдельных высоковольтных выпрямителя.

Конструкция умножительной колонны показана на рис. 6. Колонна состоит из пяти каскадов, собранных на 10 конденсаторах К15-4 номиналом 2200 пФ каждый, и на 20 диодах 2Ц106Г, соединенных последовательно по два. В качестве корпуса для умножительной колонны используется корпус от серийно выпускаемых высоковольтных маслonaполненных конденсаторов ИМН-110-0,022, внешнее оформление которых рассчитано для работы с напряжением порядка 100 кВ.

Между высоковольтным выходом умножительной колонны и высоковольтным выводом /крышка корпуса/ последовательно включено сопротивление, состоящее из 14 резисторов ВС-5 номиналом 680 кОм, соединенных последовательно. Включение данного сопротивления позволяет предохранить элементы умножительной колонны в случае пробоев высоковольтного кабеля.

В рабочих условиях на ускорителе У-120М получено плавное изменение напряжения на выходе умножительной колонны от 10 до 100 кВ, осуществляемое с помощью одной ручки многооборотного потенциометра, при стабильности не хуже  $10^{-3}$ .

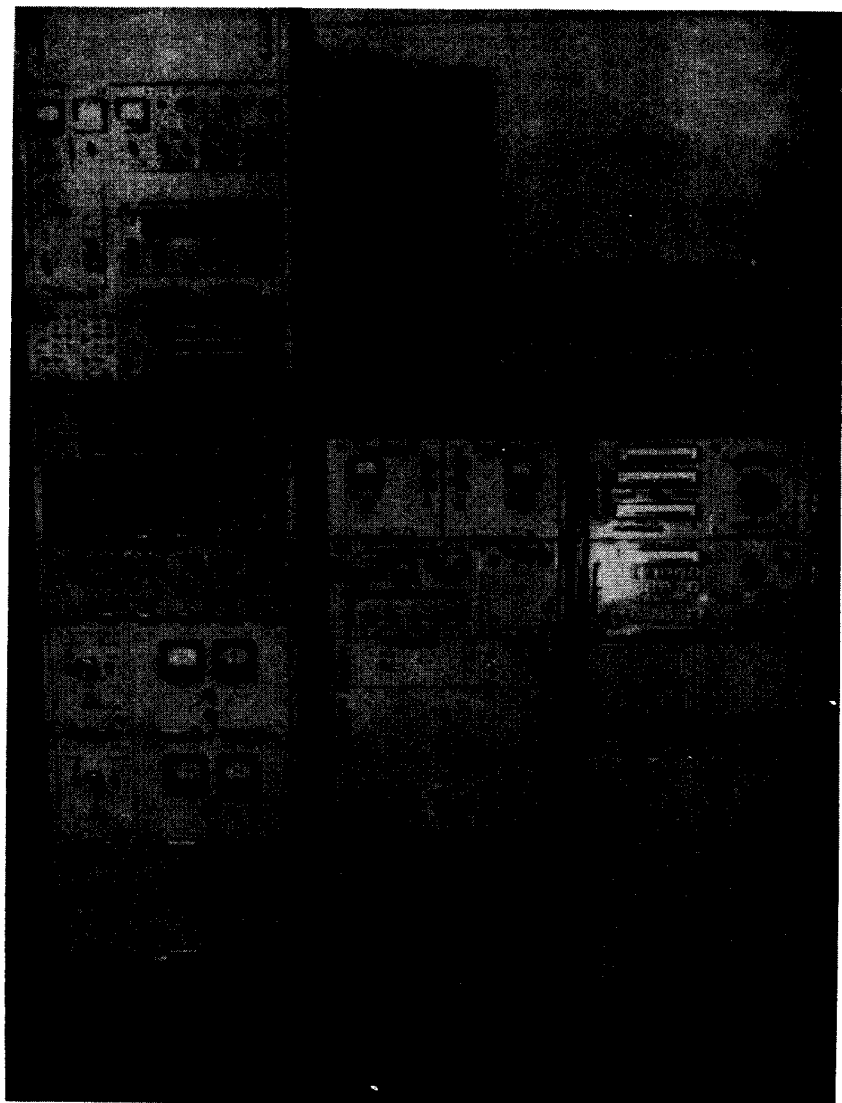


Рис. 5. Общий вид электронных блоков.

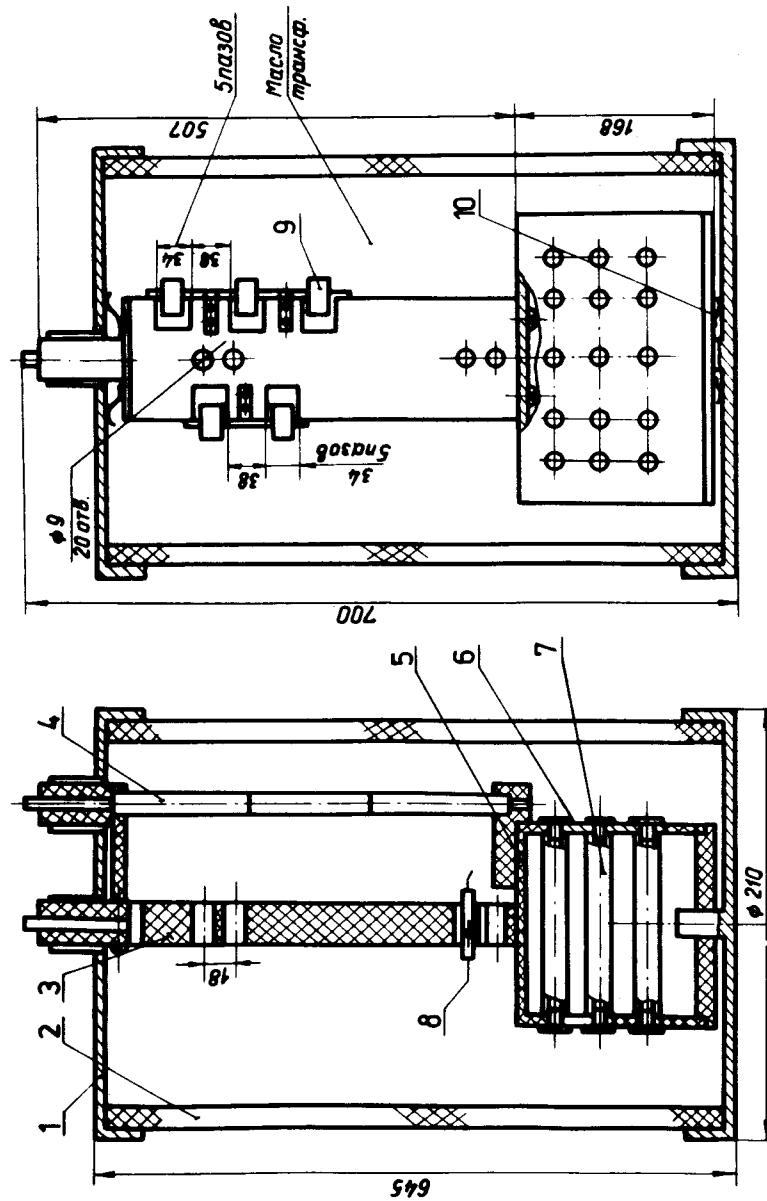


Рис. 6. Конструкция умножительной колонны.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Ливингуд Д. Принципы работы циклических ускорителей. ИЛ, М., 1963.
2. Источники электропитания на полупроводниковых приборах, проектирование и расчет /под ред. С.Д.Додика и Е.И.Гальперина/. "Советское радио", М., 1969.
3. Аленицкий Ю.Г. и др. ОИЯИ, 9-5292, Дубна, 1970.

Рукопись поступила в издательский отдел  
22 февраля 1978 года.