

И Н С Т И Т У Т
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН С С С Р

И Я Ф 28 - 72

Т.П.Стародубцева, Е.А.Пирушкин

К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСКОРИТЕЛЯ
ИОНОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК
ИОННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ

Новосибирск

1972

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
АКАДЕМИИ НАУК СССР

препринт

Т. П. СТАРОДУБЦЕВА, Е. А. ПИРУШКИН.

К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСКОРИТЕЛЯ
ИОНОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК ИОННОГО
ЛЕГИРОВАНИЯ.

Новосибирск, 1972.

Рассматривается и обосновывается вариант ускорителя ионов для промышленной установки ионного легирования с энергией однозарядных ионов $20 + 200$ килоэлектронвольт и током пучка до 1 ма , в котором, благодаря отсутствию открытых высокопотенциальных элементов конструкции, исключено за ненадобностью высоковольтное ограждение, что позволяет эксплуатировать такой ускоритель в цеховых помещениях, в том числе в помещениях повышенной чистоты. Лёгкий доступ к ионному источнику, который обычно имеет малый срок службы, характерный для установок с высоковольтным ограждением, сохранён.

Для внедрения примесей в полупроводники с целью образования в них р-п- переходов в настоящее время наряду с диффузионным методом всё большее распространение получает метод ионного легирования их элементами III и V групп. Ионное легирование имеет бесспорное преимущество в части формирования более четкой границы р-п- перехода, и следовательно, обладает потенциальными возможностями получения полупроводниковых приборов с лучшими характеристиками, например, частотными. Однако, поскольку все последующие операции в процессе изготовления полупроводниковых приборов пока не отработаны в применении к ионному легированию, а заимствованы из диффузионной технологии, то упомянутые большие потенциальные возможности как бы "смазываются". Поэтому не исключена возможность, что при производстве полупроводниковых приборов, параметры которых диффузионной технологией обеспечиваются всецело, установки ионного легирования могут иногда оказаться неконкурентноспособными по сравнению с существующими диффузионными. Но требования к полупроводниковым приборам, повышающиеся из года в год, дают основания полагать, что придёт время, когда без ионной имплантации нельзя будет обойтись [1]. Разумеется, последующие операции технологического процесса производства полупроводниковых приборов должны быть изменены так, чтобы положительные качества ионного легирования сохранились. Результаты, полученные с помощью внедренных ионов, достаточно подробно изложены в работе [2], при этом неоднократно подчёркиваются такие преимущества метода ионного легирования, как возможность автоматически управлять процессом и вводить масс-спектрально чистые примеси, многие из которых не удаётся внедрить в полупроводниковый материал ни диффузией, ни сплавлением.

Параметры оборудования для ионного легирования, включая японское, приведены в работе [3]. Этот список необходимо дополнить отечественной установкой ИЛУ-3 [4] и машиной, описанной в работе

[5], в которой сильноточные пучки предлагается делить на несколько с целью одновременной обработки большого количества полупроводниковых пластин.

Принимая во внимание упомянутые выше работы и промышленные требования к глубинам переходов ныне существующих приборов, получаемых диффузионным методом, энергия однозарядных ионов в рассматриваемом варианте ускорителя выбрана варьируемой в пределах от 20 до 200 килоэлектронвольт путём изменения ускоряющего напряжения от 20 до 200 кв, а величина тока ионов в пучке - в 1 + 2 миллиампера. На такую же величину тока должен быть рассчитан ионный источник. Источник ускоряющего напряжения, ориентировочно, должен выдерживать ток нагрузки в 10-20 ма из-за возможного появления большой электронной составляющей тока ускорителя, особенно при работе с тяжёлыми ионами.

Конструкция машины в значительной мере определяется типом применяемого ионного источника. Наиболее перспективным источником ионов, позволяющим автоматизировать процесс производства полупроводниковых приборов, является, видимо, источник типа *SDM* разработанный фирмой "Thomson-CSF" (Франция) / на базе дуоплазматрона фон-Арденне [6]. Источник позволяет получать токи ионов различных элементов порядка 100 мка и имеет срок службы не менее 100 часов. Ионные источники с пучками круглого сечения, дающие возможность проводить ускорение до больших энергий на коротком отрезке пути [7] должны, по-видимому, получить широкое применение в установках ионного легирования, хотя их прототипом является магнитный сеператор с ленточной формой ионного пучка.

Оптика рассматриваемого ускорителя предполагает круглую форму пучка, поставляемого ионным источником, поскольку первые опыты предполагалось проводить с обычным источником дуоплазматронного типа, который сносно работает с парами VCl_3 и PCl_3 , хотя срок его службы конечно, мал.

Блок-схема рассматриваемого варианта ускорителя

теля приведена на рис.1.

Как видно из рисунка, ускоритель включает в себя ионный источник, ускорительную трубку и фокусирующую систему с соответствующими блоками питания. Ионный источник и ускорительная трубка помещены в металлическую вакуумную камеру, стенки которой обеспечивают надежную рентгеновскую и высоковольтную защиту. Электроды фокусирующего устройства конструктивно размещены в отдельной вакуумной камере, которая герметически стыкуется с вакуумной камерой, где расположен ионный источник и ускоритель. К выходу камеры фокусирующих линз подсоединяется магнитный сепаратор или иной анализатор.

Вопрос о размещении ионного источника является для промышленной установки ионного легирования из-за малого срока его службы принципиальным, определяющим фактически, работоспособность машины; т.к. при практически любых манипуляциях с источником, вакуум в ускорительной трубке всё равно нарушается, то размещение ионного источника и ускорительной трубки в общей вакуумной камере не усложняет доступа к источнику: для этого достаточно снять боковую стенку вакуумной камеры. В то же время, единство вакуумной системы снаружи и внутри ускорительной трубки позволяет осуществить лучшую откачку газов на выходе ионного источника, что повышает электрическую прочность первого ускоряющего промежутка.

Высоковольтные и высокопотенциальные источники питания ускоряющих электродов, ускорителя, фокусирующей системы и ионного источника размещаются в двух герметичных металлических сосудах, которые заполнены смесью углекислого газа и азота под давлением 6 атм. Высокое напряжение от этих источников до вакуумных камер подводится высоковольтными экранированными кабелями, а затем через специально разработанные компактные экранированные вводы — к соответствующим электродам в вакуумной камере.

Схема конструкции одного такого ввода изобра-

жена на рис.2.

Электрическая прочность изоляции такого незначительного по размерам ввода обеспечивается с внутренней стороны вакуумной камеры самим вакуумом, а с внешней стороны — высокой электрической прочностью смеси газов, поступающих во внешнюю полость ввода из сосудов с высоковольтными источниками через центральные отверстия для жил в высоковольтных кабелях.

Стабилизация высоковольтных источников питания осуществлена таким образом, что ни в одной точке схем стабилизации напряжение не превышает 10 кв относительно корпуса, в результате все блоки стабилизации могут быть смонтированы в отдельной экранированной стойке или пульте управления ускорителем.

Предлагаемое исполнение ускорителя усовершенствует известную конструкцию ионно-лучевых пушек [4] с максимальной энергией $100 + 200$ кэв, в которых ионный источник, ускорительная трубка и сами стабилизированные высоковольтные источники снаружи открыты для доступа, что вынуждает применять защитные ограждения.

Благодаря описанным выше конструктивным особенностям предлагаемого ускорителя, в нём отсутствуют открытые токоведущие части, более того, все закрытые токоведущие части надёжно экранированы, а сами экраны надёжно заземлены, как, впрочем, и все металлические части конструкции ускорителя. Всё это позволяет исключить защитное высоковольтное ограждение, существенно уменьшает габариты установки и делает возможным её применение в помещениях повышенной чистоты.

Остановимся на конструктивных особенностях элементов ускорителя несколько подробнее.

В основу конструкции ускорительной трубки положены результаты работы [7]. Отличие состоит в том, что описываемая ускорительная трубка содержит лишь два ускоряющих промежутка. Кроме того, её стенки выполнены из эпоксидного компаунда горячего отверждения с кварцевым наполнителем и склеены с металлическими фланцами, в которых крепятся уско-

ряющие электроды, эпоксидным компаундом холодного отверждения. Механические свойства компаунда таковы, что сравнительно тяжелый ионный источник со всей системой газового хозяйства для его питания висит на расположенной горизонтально ускорительной трубке без каких-либо дополнительных опор. Рецепт эпоксидного компаунда следующий: смола ЭД-6-100 весовых частей; пылевидный кварц-230 весовых частей, фталевый ангидрид - 30 весовых частей. Вакуумирование производилось в течение 1 часа, отверждение - 8 часов при давлении 10 мм Hg и температуре 130° С. В стенках трубки имеются отверстия для объединения вакуумных систем снаружи и внутри трубки. Как и в работе [7] сохранён принцип ускорения ионов до максимальной энергии на возможно более коротком отрезке пути, причем при изменении напряжения на трубке от 200 до 20 кВ сначала до нуля уменьшают напряжение на второй ступени ускорения, и лишь потом начинают уменьшать напряжение на первой ступени. Всё это позволяет обеспечить достаточно хорошую интенсивность пучка ионов при малых энергиях.

В качестве фокусирующего устройства применен дублет квадрупольных электростатических линз, расчет которых проводился на основе работ [8,9]. Электроды линз укреплены на четырех длинных металлических стержнях, разделенных посередине изолирующей вставкой из эпоксидного компаунда, что позволяет осуществить независимую регулировку напряжений на линзах дублета и тем самым менять их фокусирующие свойства в широком интервале значений [10].

Следует указать, что эпоксидный компаунд широко применяется и при изготовлении отдельных блоков источника питания ускорителя либо с целью уменьшения их габаритов, либо с целью обеспечения работоспособности некоторых элементов схемы в среде под давлением порядка 6 ати.

На решении вопроса стабилизации ускоряющего напряжения также следует остановиться более подробно. Стабилизация высоких напряжений порядка сотен киловольт с помощью обычных электронных

схем значительно усложняется тем, что в качестве регулирующих элементов надо брать радиолампы, допускающие большой диапазон изменения анодных напряжений, не считая того, что и размещение схемы стабилизации вместе с высоковольтным выпрямителем в одном баке, заполненном смесью газов под давлением в несколько атмосфер, создавало бы много трудностей при настройке и ремонте самой схемы стабилизации.

На рис.3 представлена предлагаемая функциональная схема стабилизации ускоряющих напряжений выпрямителей В4 и В5.

Выпрямитель В4 питает первую ступень ускорения и рассчитывается на напряжение до 50 кВ и ток до 20 мА; выпрямитель В5 питает вторую ступень ускорения и рассчитывается на напряжение до 150 кВ и ток до 10 мА.

Качество сепарации ионов по массам в сильной степени зависит от стабильности их энергии, последнее предъявляет высокие требования к стабильности ускоряющих напряжений. Однако, нет необходимости стабилизировать напряжение выпрямителей В4 и В5 в отдельности. Выпрямители В4 и В5 соединены последовательно. Так как важна только интегральная энергия, то достаточно застабилизировать относительно корпуса их суммарное напряжение в точке В.

Стабилизацию постоянной составляющей и сглаживание пульсаций предлагается выполнять двумя различными блоками П1 и П2, причем оба блока вынесены из бака ПЗ, в котором размещены сами выпрямители, и, как упоминалось, могут быть смонтированы либо в виде отдельной стойки, либо в пульте управления установкой.

Сглаживание пульсаций осуществляется электронным фильтром, который включает в себя усилитель напряжения низкой частоты 4Г, усилитель мощности на лампе Л1 (1П-3), конденсаторы С5 и С6 и резистор R12. Схема сглаживания пульсаций имеет следующие особенности: резистор фильтра R14

включен между минусовой клеммой выпрямителя В5 (точка А) и корпусом, конденсатор фильтра С6 включен между точкой А и анодом выходной лампы электронного фильтра. Пульсации суммарного ускоряющего напряжения через конденсатор обратной связи С5 и делитель R_2, R_3 поступает на вход усилителя напряжения электронного фильтра, усиливается им, в результате в т.А через конденсатор фильтра С6 подается переменное напряжение, равное по величине суммарному напряжению пульсации обоих выпрямителей, но в противофазе ему (т.е. потенциал точки А относительно корпуса будет изменяться в противофазе с пульсацией выпрямителей В4 и В5). В результате суммирования пульсация в точке В относительно корпуса резко уменьшается. Схема позволяет снизить пульсации в т.В до уровня более низкого, чем 10^3 .

Основные расчетные соотношения: Емкость конденсаторов в фильтрах выпрямителей В4 и В5 выбрана такой, что в отсутствие сглаживания пульсаций электронным фильтром суммарная амплитуда пульсирующего напряжения при максимальных расчетных токах выпрямителей составляет не более 5 кв (при любой величине суммарного ускоряющего напряжения). Наименьшее ускоряющее напряжение $U_{\text{уск. мин.}}$ равно 20 кв. При работе электронного фильтра коэффициент пульсации K должен быть не более 10^{-3} . Поэтому допустимая амплитуда напряжения пульсации $U_{\text{доп. макс.}}$ должна быть: $U_{\text{доп. макс.}} \leq K \cdot U_{\text{уск. мин.}} = 20 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} = 20 \text{ в.}$ Коэффициент передачи делителя С5, R_2, R_3 без заметного сдвига фазы составляет 10^{-2} . Амплитуда сигнала на входе усилителя низкой частоты равна $20 \text{ в.} \cdot 10^{-2} = 0,2 \text{ в.}$

Амплитуда корректирующего напряжения на выходе электронного фильтра (на сопротивлении R_{I4}) должна быть равна амплитуде пульсаций суммарного напряжения, т.е. 5 кв. Тогда общий коэффициент усиления электронного фильтра $K_{\text{ф. об.}} = \frac{5 \cdot 10^3 \text{ в.}}{0,2 \text{ в.}} = 25 \cdot 10^3$.

Для коэффициента усиления каскада, собранного на лампе Л1 (П-3), имеем:

$$K_{\text{гн-3}} = \mu \cdot \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{с}} + R_{\text{н}}}; \quad R_{\text{н}} = \frac{R_1 \cdot R_{I4}}{R_1 + R_{I4}}; \quad R_1 = 510 \text{ ком};$$

$$R_{I4} = 1 \text{ Мом}, \text{ тогда } R_{\text{н}} = 330 \text{ ком}; \quad \mu_{\text{гн-3}} = 25 \cdot 10^3;$$

$$R_{\text{с}} = 10 \text{ Мом. Отсюда: } K_{\text{гн-3}} = 25 \cdot 10^3 \times \frac{330}{10000 + 330} =$$

= 800. Таким образом коэффициент усиления усилителя низкой частоты может не превышать

$$K_{\text{у1}} = \frac{25 \cdot 10^3}{800} = 32.$$

Описанная схема сглаживания пульсаций экспериментально опробована в масштабе по напряжению 1:1000. Эксперимент показал, что схема работоспособна; при этом полученный коэффициент пульсации составил не более $2 \cdot 10^{-3}$.

Стабилизация постоянной составляющей выпрямленного высокого напряжения в точке В осуществляется выносным блоком стабилизации. В качестве регулирующего элемента схемы стабилизации в цепи питания первичных обмоток трансформаторов Тр5 и Тр6 высоковольтных выпрямителей В4 и В5 последовательно включен импедансный трансформатор Тр1. Величина сопротивления импедансного трансформатора возрастает при увеличении потенциала точки В и убывает при уменьшении этого потенциала, т.е. импедансный трансформатор компенсирует изменения высокого напряжения, вызванные как изменением напряжения сети, так и изменением тока, потребляемого от высоковольтного выпрямителя. Вторичная обмотка III трансформатора Тр1 через выпрямитель В1 подключена к внутреннему сопротивлению лампы Л2 которое, благодаря отрицательной обратной связи через обмотку II и выпрямитель В2, практически линейно при изменении напряжения на аноде от нуля до амплитудного

значения. Напряжение на аноде лампы Л2 имеет форму выпрямленной синусоиды положительной полярности, а напряжение обратной связи, подаваемое на сетку лампы Л2 будет тоже иметь форму выпрямленной синусоиды, но только всегда отрицательной полярности. Величина отрицательного напряжения на сетке лампы Л2 выпрямителя В2 в любой момент времени такова, что в отсутствии сигнала из цепи управления стабилизацией от трансформатора Тр2 лампа Л2 остается запертой, т.е. ее внутреннее сопротивление бесконечно. В этом случае импеданс сопротивления трансформатора Тр1 равен индуктивному сопротивлению первичной обмотки трансформатора, что составляет приблизительно 1500 ом. Принимая во внимание, что величина рабочих токов, проходящих через первичную обмотку трансформатора Тр1 в нормальном рабочем режиме составляет 10 ± 30 а, то при такой величине импеданса трансформатора Тр1 всё напряжение сети упадет, практически, на нём, а на первичной обмотке повышающих трансформаторов Тр5 и Тр6 напряжение будет практически равно нулю. Выпрямленное напряжение на выходе выпрямителя в точке В тоже будет равно нулю. В результате величина напряжения, снимаемого с сопротивления R_{I3} , окажется меньше величины постоянного напряжения батареи Б1, и на выходе усилителя постоянного тока У2 появится отрицательный сигнал ошибки, который после усиления в положительной полярности поступает на управляющие сетки ламп Л3 и Л4, ранее закрытые по этой сетке. Лампы Л3 и Л4 открываются и усиливают переменное напряжение частоты 50гц, поступающее на их защитные сетки с обмоток IУа и IУб импедансного трансформатора. Двухтактный усилитель на лампах Л3 и Л4 с переменной крутизной, зависящей от величины постоянного напряжения смещения на управляющих сетках. Появившееся в обмотке II выходного трансформатора Тр2 переменное напряжение синусоидальной формы выпрямляется выпрямителем В3 и вычитается из напряжения выпрямителя В2, что приводит к уменьшению отрицательной обратной связи и уменьшению величины внутрен-

него сопротивления лампы Л2 а, следовательно, и к уменьшению величины импеданса трансформатора Тр1. В конечном итоге, величина импеданса Тр1 установится таким, чтобы высокое напряжение в т.В стало равным +200кв. Следовательно, величина сигнала ошибки на входе У2 управляет величиной импеданса трансформатора Тр1.

В случае необходимости изменения величины стабилизируемого напряжения следует изменить положение движка потенциометра R_{I3} .

Основные расчетные соотношения. Коэффициент трансформации для обмотки III трансформатора Тр1 $K_{III} = 0,1$ выбран, исходя из величины предельно-допустимых значений напряжений и тока лампы Л2 (ГМ-3А). Величина напряжения в обмотке II составляет $1/7$ часть напряжения обмотки III, что обеспечивает надёжное запирающее лампы ГМ-3А в любой момент времени. Величина регулируемой мощности при вышеуказанных напряжениях и токах не более 3,2 квт (полагаем к.п.д. выпрямителей В4 и В5 не менее 50%). Ток в первичной обмотке трансформатора Тр1 I7а, а его амплитудное значение — 24а. Амплитудное значение тока вторичной обмотки трансформатора не более 2,4 а. При изменении напряжения на входе трансформатора Тр1 от 0 до 190в + 10% напряжение на вторичной обмотке Тр1 будет изменяться от 1,9 до 4,2 кв, а амплитудное значение — от 2,7 до 6 кв. Из анодных характеристик лампы ГМ-3А видно, что для обеспечения регулировки анодных напряжений и токов в заданных пределах необходимо, чтобы область регулировки амплитуды синусоидальных напряжений на её управляющей сетке изменялась в пределах от -50 в до -600 в. Т.к. величина напряжения в обмотке II трансформатора Тр1 составляет $1/7$ часть от величины напряжения обмотки III (т.е. равна 860 вольтам), то амплитуда синусоидального напряжения, снимаемого со вторичной обмотки трансформатора Тр5, должна регулироваться в пределах от 260 до 810 вольт. Последнее можно легко обеспечить двухтактным усилителем

мощности, выполненным на двух лампах ЛЗ и Л4 (ГУ-50), путём подачи синусоидального напряжения в противофазе на защитные сетки и регулировки крутизны лампы по 3-ей сетке изменением величины постоянного смещения на управляющих сетках этих ламп в пределах от -1 в до -30в. Постоянное напряжение на управляющие сетки этих ламп поступает с выхода У2, на вход которого приходит сигнал ошибки стабилизируемого напряжения. Величина сигнала ошибки $U_{с.ош.}$, снимаемого с делителя $R_{15^{(1)}} \dots R_{15^{(n)}}$, равна $U_{с.ош.} = U_{ст.} \cdot K_{дел.} \cdot K_{ст.}$, где $U_{ст.}$ - величина стабилизируемого напряжения (регулируется в пределах 20 + 200кв); $K_{дел.}$ - коэффициент деления напряжения делителем $R_{15^{(1)}} \dots R_{15^{(n)}}$; $K_{ст.}$ - коэффициент стабилизации стабилизируемого напряжения. Пусть $K_{ст.} = 1 \cdot 10^{-3}$, тогда $U_{с.ош.} =$

$$= \frac{20 \cdot 10^3 \text{ в}}{200} \times 10^{-3} = 0,1 \text{ в.}$$

Чтобы обеспечить на выходе У2 напряжение в пределах от -1 до -30в необходимо, чтобы коэффициент усиления У2 был не менее 300. У2 выполнен интегрирующим для предотвращения влияния на работу схемы стабилизации случайных всплесков и пульсаций стабилизируемого напряжения. Расчёт усилителя мощности и выходного трансформатора Тр2 проводился обычным методом по заданным требованиям и дополнительным снятым анодно-сеточным характеристикам лампы ГУ-50 по третьей сетке. Макетирование по напряжению в масштабе 1:1000 подтвердило работоспособность схемы стабилизации постоянной составляющей.

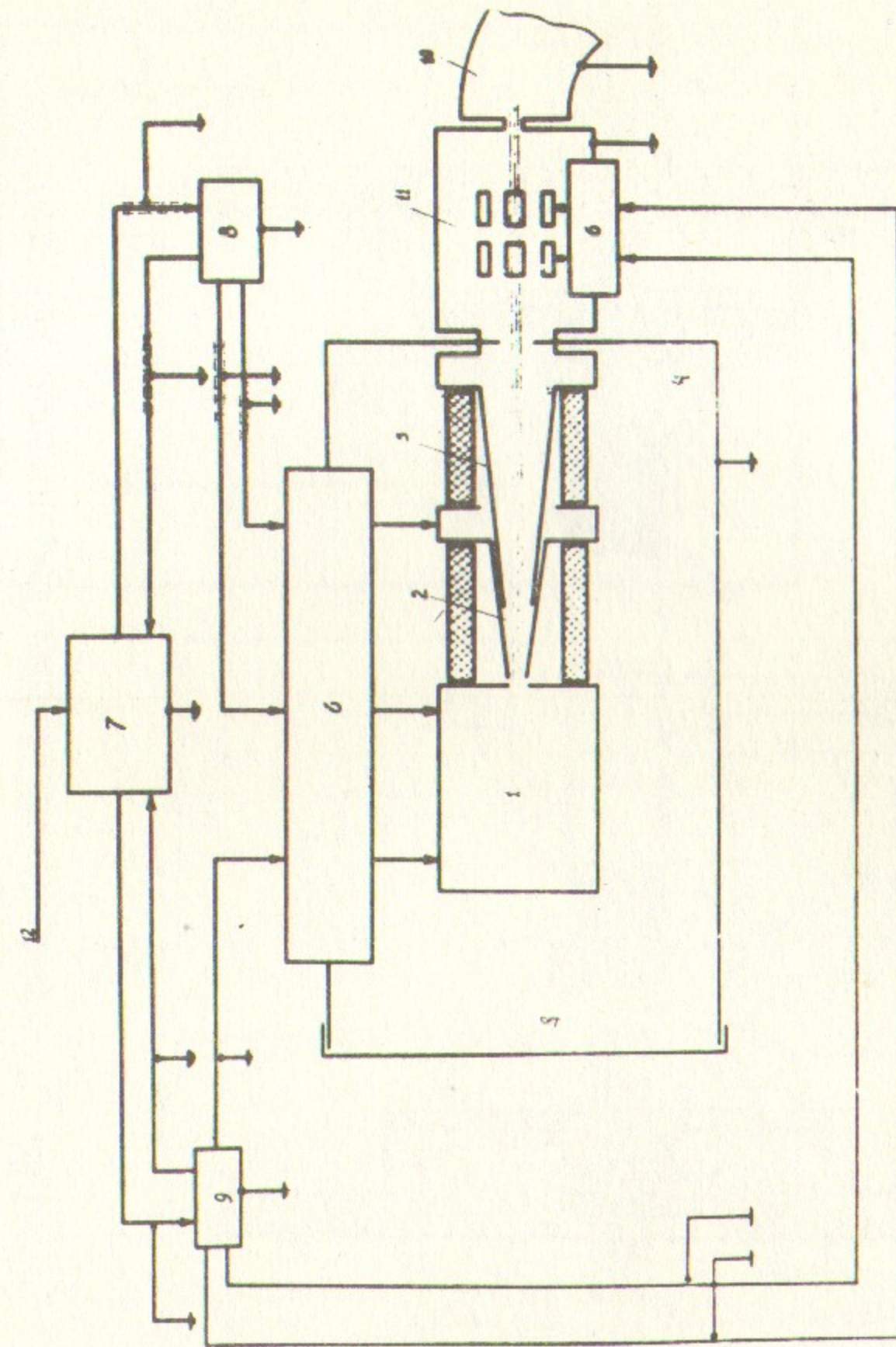


Рис.1. Блок -схема ускорителя.

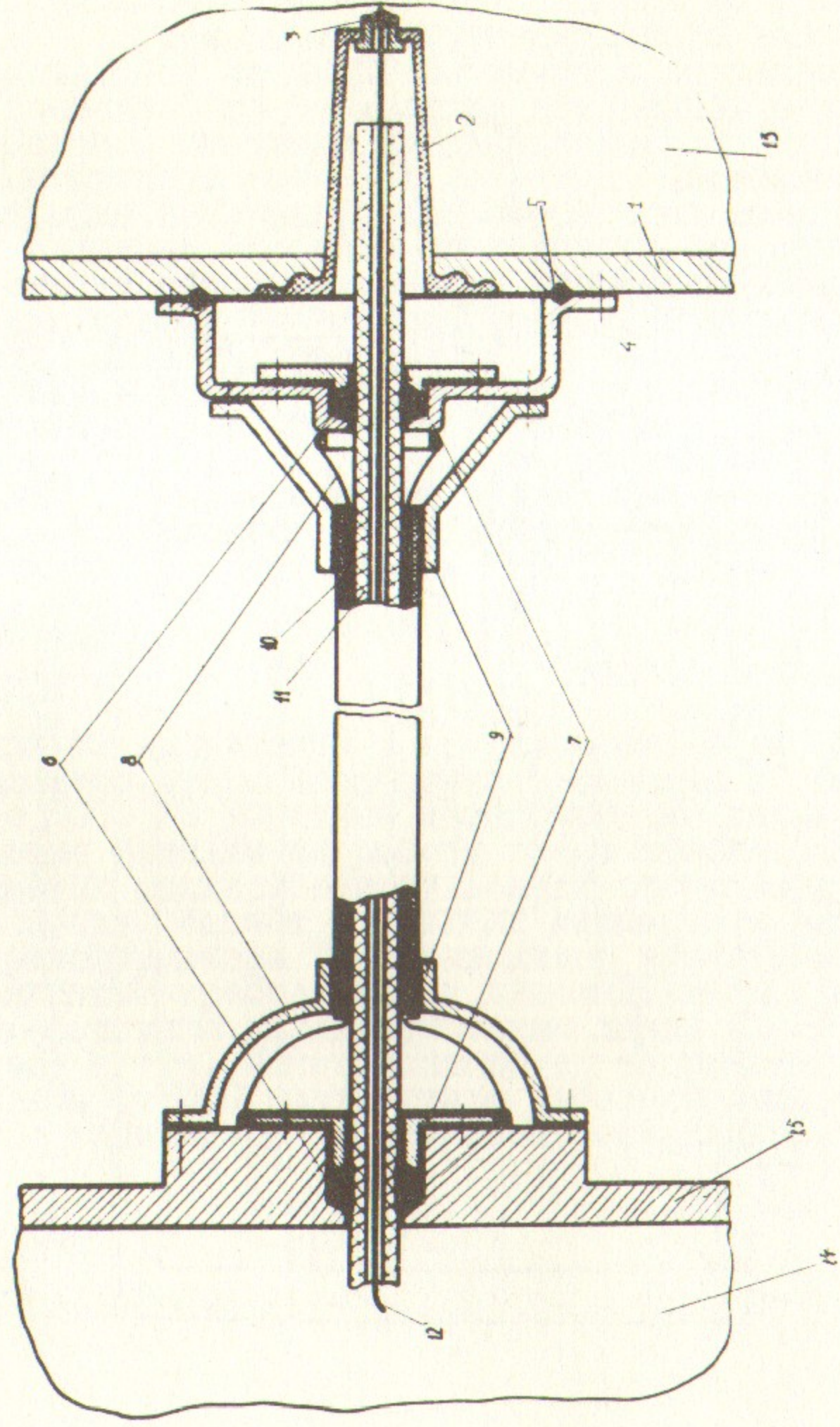


Рис. 2. Схема конструкции кабельного ввода.

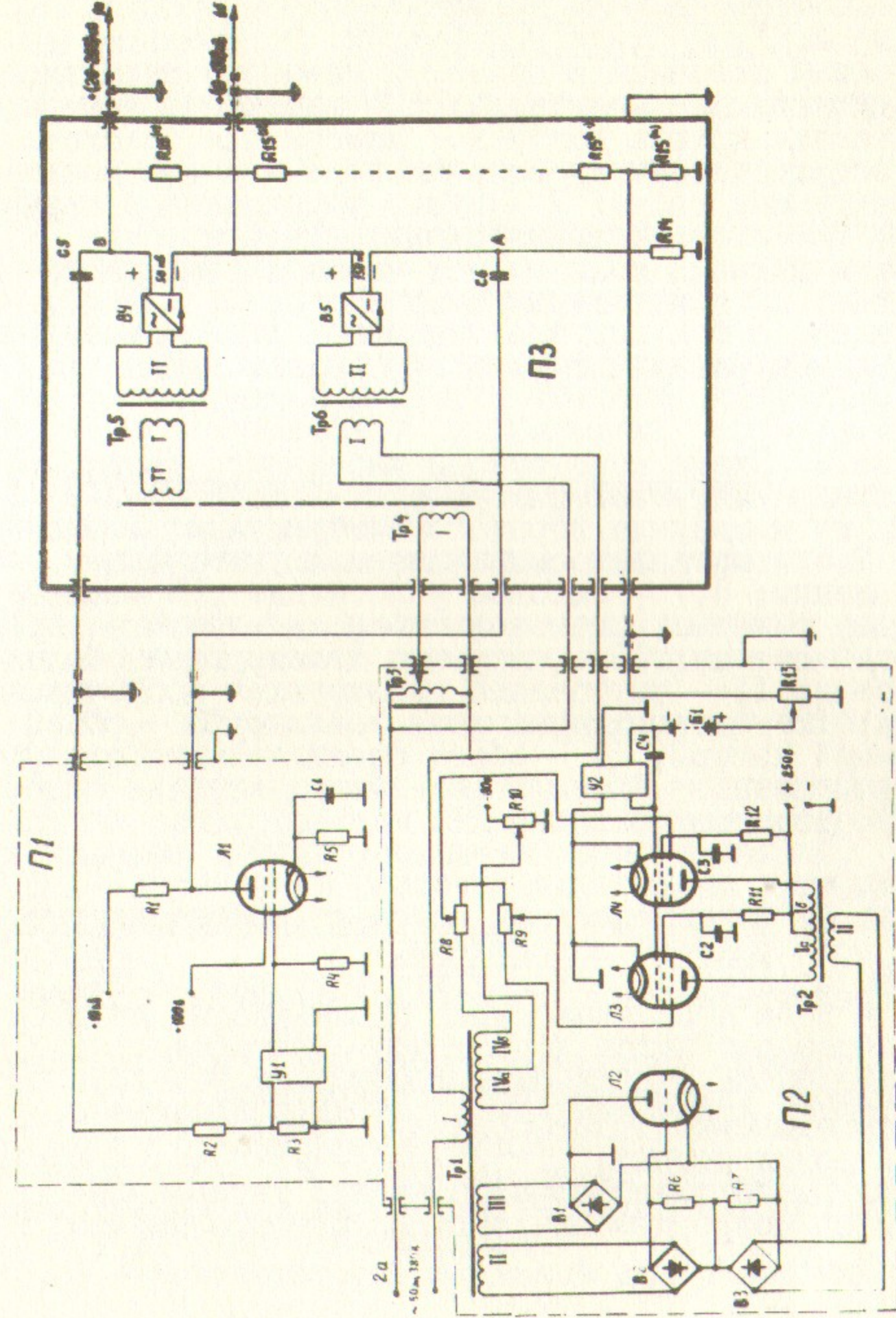


Рис. 3. Функциональная схема стабилизации ускоряющего напряжения.

ПОЯСНЕНИЯ К РИСУНКАМ:

Рис.1. Блок-схема ускорителя.

I - ионный источник с системой газового питания;
2,3 - ускоряющие электроды; 4 - вакуумная камера;
5 - съемная крышка вакуумной камеры для обеспечения доступа к ионному источнику; 6 - высоковольтные вакуумные вводы; 7 - пульт управления ускорителем; 8 - блок питания ускорительной трубки;
9 - блок питания ионного источника и квадрупольных линз; 10 - магнитный сепаратор; 11 - вакуумная камера с фокусирующей системой; 12 - вход питания ускорителя от сети переменного тока.

Рис.2. Схема конструкции кабельного ввода.

1 - стенка вакуумной камеры; 2 - эпоксидный стакан из компаунда горячего отверждения; 3 - контакт; 4,5 - металлический фланец с уплотнением по давлению; 6,7 - силовое уплотнение; 8 - экранирующая оплетка высоковольтного кабеля; 9 - экранирующий стакан; 10 - наружная изолирующая оболочка кабеля; 11 - внутренняя изолирующая оболочка кабеля; 12 - центральная жила кабеля; 13 - объем вакуумной камеры; 14 - объем блока питания с внутренним давлением 6 ати; 15 - металлическая стенка, ограничивающая объем 14.

Рис.3. Функциональная схема стабилизации ускоряющего напряжения.

У1 - предварительный усилитель напряжения пульсации;
У2 - усилитель постоянного тока для усиления сигнала ошибки стабилизируемого напряжения;
Тр1 - импедансный трансформатор (регулирующий элемент стабилизатора);
Тр2 - выходной трансформатор канала управления величиной сопротивления регулирующего элемента;

Тр3 - автотрансформатор для ручной установки величины ускоряющего напряжения первой ступени ускорителя.

Тр4 - разделительный трансформатор на напряжение 160 кв.

Тр5 - повышающий трансформатор выпрямителя первой ступени ускорения;

Тр6 - повышающий трансформатор выпрямителя второй ступени ускорения.

В1, В2, В3 - двухполупериодные выпрямители синусоидального напряжения частотой 50 гц;

В4, В5 - высоковольтные выпрямители напряжения соответственно первой и второй ступени ускорения;

R1 - сопротивление в цепи анодного питания лампы ПП-3;

R2, R3 - делитель сигнала обратной связи канала сглаживания пульсаций;

R4 - сопротивление утечки в цепи управляющей сетки лампы Л1;

R5 - катодное сопротивление для создания напряжения автоматического смещения на управляющей сетке лампы Л1;

R6, R7 - нагрузочные резисторы выпрямителей В2 и В3, соответственно.

R8, R9 - переменные резисторы для регулирования величин синусоидальных напряжений частотой 50 гц, подаваемых в цепь управления стабилизацией.

R10 - переменный резистор для подачи отрицательного напряжения смещения на защитные сетки ламп Л3 и Л4.

R11, R12 - резисторы для подачи постоянного напряжения на экранирующие сетки ламп Л3 и Л4;

R13 - переменный резистор для установки необходимой величины суммарного ускоряющего напряжения.

R14 - резистор фильтра для сглаживания пульсаций суммарного ускоряющего напряжения;

R15^а, R15^б, ..., R15^г - делитель напряжения, предназначенный для измерения величины стабилизируемого ускоряющего напряжения;

С1, С3 - конденсаторы, служащие для развязки цепей

питания экранирующих сеток ламп Л2 и Л3 по переменной составляющей;
 С4 - конденсатор обратной связи в У2 для интегрирования сигнала;
 С5 - конденсатор обратной связи схемы сглаживания пульсаций;
 С6 - конденсатор фильтра сглаживания пульсаций;
 Б1 - батарея гальванических источников тока, напряжением 200 в;
 Л1 - лампа ПП-3;
 Л2 - лампа ГМ-3А;
 Л3, Л4 - лампы ГУ-50;
 П1 - блок сглаживания пульсаций ускоряющего напряжения;
 П2 - блок стабилизации постоянной составляющей ускоряющего напряжения;
 П3 - блок питания ускорительной трубки с внутренним давлением 6 атм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Интервью начальника лаборатории ускорителей фирмы "Thomson CSF" д-ра Вернеке. *Sen Shi Zaigyo* 1970, 7, 148-149 (японск).
2. И.А.Аброян, У.Ф.Н., 1971, 104, вып. I, 15-50.
3. Руднев В.В. Стародубцева Т.П., Овчаров В.Ф., "Зарубежная электроника", 1971, № 8, 50-62.
4. Гусев В.М. и др. ПТЭ, 1970, № 4, 19.
5. J. B. Vanlerberg and J. H. Boersboom, "Jual. Instrum and Methods", 1971, 91, 269-276.
6. *Diact.* № 69.05.56, LME № 541/RM-NFM, Le Septembe 1969 Paris.
7. O. B. Morgan, G. G. Kelley, R. C. Davies, "Rev. of Scient. Instrum" 1967, 38, № 4, 467-480.
8. Томонао Нагашки and Харигуки Саэудо, "Rev. of Scient. Instrum" 1968, 39, 958-961.
9. Томонао Нагашки and Харигуки Саэудо, "Rev. of Scient. Instr." 1969, 40, № 7, 923-924.
10. В.М.Кельман, С.Я. Явор. "Электронная оптика", Изд-во "Наука", Ленинград, 1968, 321-322.

Ответственный за выпуск Т.П. Стародубцева

Отпечатано на ротапринте в ИЯФ СО АН СССР.

250 экз.

МН 10255

20.4.72.

Заказ № 28