

26
И Н С Т И Т У Т
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН СССР

ПРЕПРИНТ И Я Ф 76 - 48

И.И.Авербух

ВЫХОДНОЙ КАСКАД РЕЗОНАНСНОГО
УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ С БЫСТРОЙ
ПЕРЕСТРОЙКОЙ ЧАСТОТЫ

Новосибирск

1976

Авербух И.И.

ВЫХОДНОЙ КАСКАД РЕЗОНАНСНОГО УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ С БЫСТРОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ ЧАСТОТЫ

А Н Н О Т А Ц И Я

Описан выходной каскад высокочастотной системы для протонно-ионного ускорителя с быстрой перестройкой частоты. Наибольшая скорость перестройки частоты 5000 мГц/сек. Частотный диапазон системы 2,5 + 30,8 мГц. Время перестройки 10 мсек. Частота повторения 25-50 гц. Проектное напряжение на ускоряющем зазоре - 7000 вольт. Проектная импульсная колебательная мощность - 30 квт.

Высокочастотный усилитель мощности протонно-ионного синхротрона создает на ускоряющем зазоре резонатора высокочастотное напряжение с максимальной амплитудой 7000 вольт в диапазоне частот 2,5-30,8 мГц.

Для получения усиления в такой широкой полосе резонатор выполнен с автоматической перестройкой частоты.

Трудности согласования передающего фидера с перестраиваемым резонатором вынуждают устанавливать выходной каскад усилителя мощности непосредственно на резонаторе. Такое размещение усилителя мощности требует создания высокочастотной системы, занимающей малый объем и обеспечивающей минимальным количеством электровакuumных приборов необходимую мощность в резонаторе. Эти условия могут быть выполнены, если в высокочастотной системе использовать резонансное усиление, радиолампы установить в режимы наибольшего КПД и полностью использовать их по колебательной мощности и мощности рассеивания на анодах.

Блочная и принципиальная схемы усилителя мощности

Выходной каскад усилителя мощности представляет собой два резонансных усилителя. Каждый усилитель нагружен на отдельный резонатор с самостоятельной системой перестройки частоты.

Блок-схема выходного каскада изображена на рис. I. Пояснения даны для одного усилителя.

Выходной каскад I нагружен на резонатор 2. Резонатор перестраивается в электромагните 3.

Система автоматической перестройки частоты состоит из схемы выделения сигнала автоподстройки 5, корректирующего и суммирующего усилителя 6, усилителя подмагничивания 4 и электромагнита. Генератор сигналов начального подмагничивания 7 обеспечивает подмагничивание резонатора к началу процесса перестройки и в тех точках частотного диапазона, где амплитуда сигнала автоподстройки оказывается недостаточной для точной настройки.

На входы резонансных усилителей поступают сдвинутые по фазе

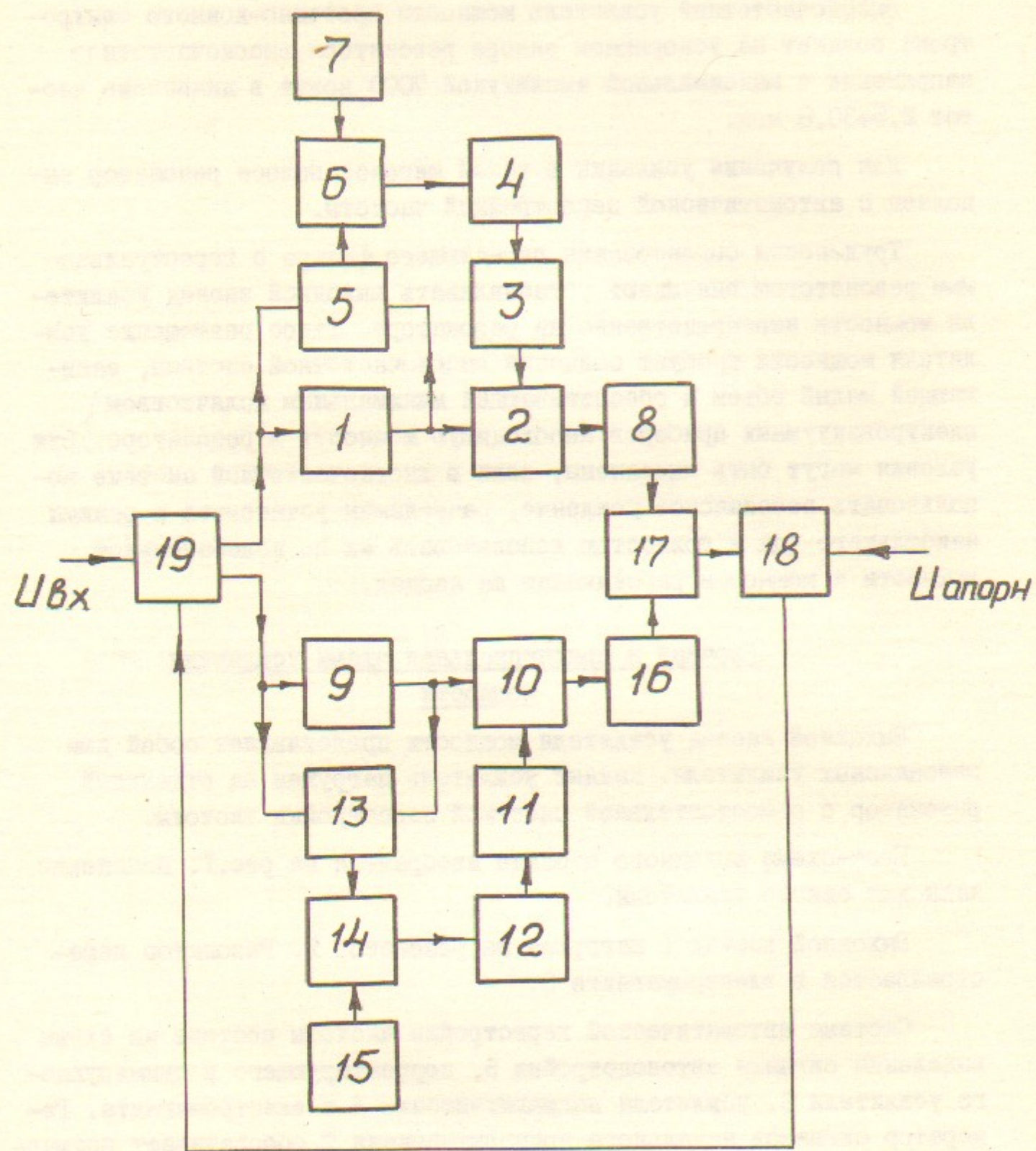


Рис. I

на 180 градусов сигналы напряжения раскачки с выхода предусилителя 19. Огибающая высокочастотного напряжения на ускоряющем промежутке имеет форму полуволны синусоиды с периодом 20 мсек и управляется от внешнего источника с помощью автоматической системы регулирования амплитуды, состоящей из детектора 8, суммирующего усилителя 17 и схемы сравнения 18. Схема 18 сравнивает форму огибающей напряжения на полном зазоре с формой управляющего сигнала U опорн. Разность между этими сигналами управляет коэффициентом усиления предусилителя 19.

Принципиальная схема резонансного усилителя мощности изображена на рис.2.

Усилительным элементом служит генераторный тетрод ГУ-75А, нагруженный на резонатор. Лампа работает в импульсном режиме. Длительность рабочей стадии 11 мсек. Наибольшая частота повторения импульсов 50 гц.

Режимы и технические характеристики усилителя приведены в таблице I.

Таблица I

Анодное напряжение, в	Средний анодный ток, а	Мощность рассеиваемая на аноде, кВт	Напряжение сетки 2, в	Амплитуда напряжения раскачки в	Амплитуда напряжения на резонаторе, в	Коэффициент усиления мощности
5000	2	7+8	900+1100	250	3500	300

В режиме отсутствия высокочастотного сигнала лампа заперта по первой сетке напряжением - 160 вольт. За 1 мсек, до начала перестройки и подачи на вход высокочастотного сигнала специальный коммутатор выводит лампу на рабочую точку с напряжением -120+-130 вольт.

Рассеиваемая на аноде ГУ-75А мощность снимается водяным охлаждением. Температурный режим катодной части обеспечивается воздушным охлаждением.

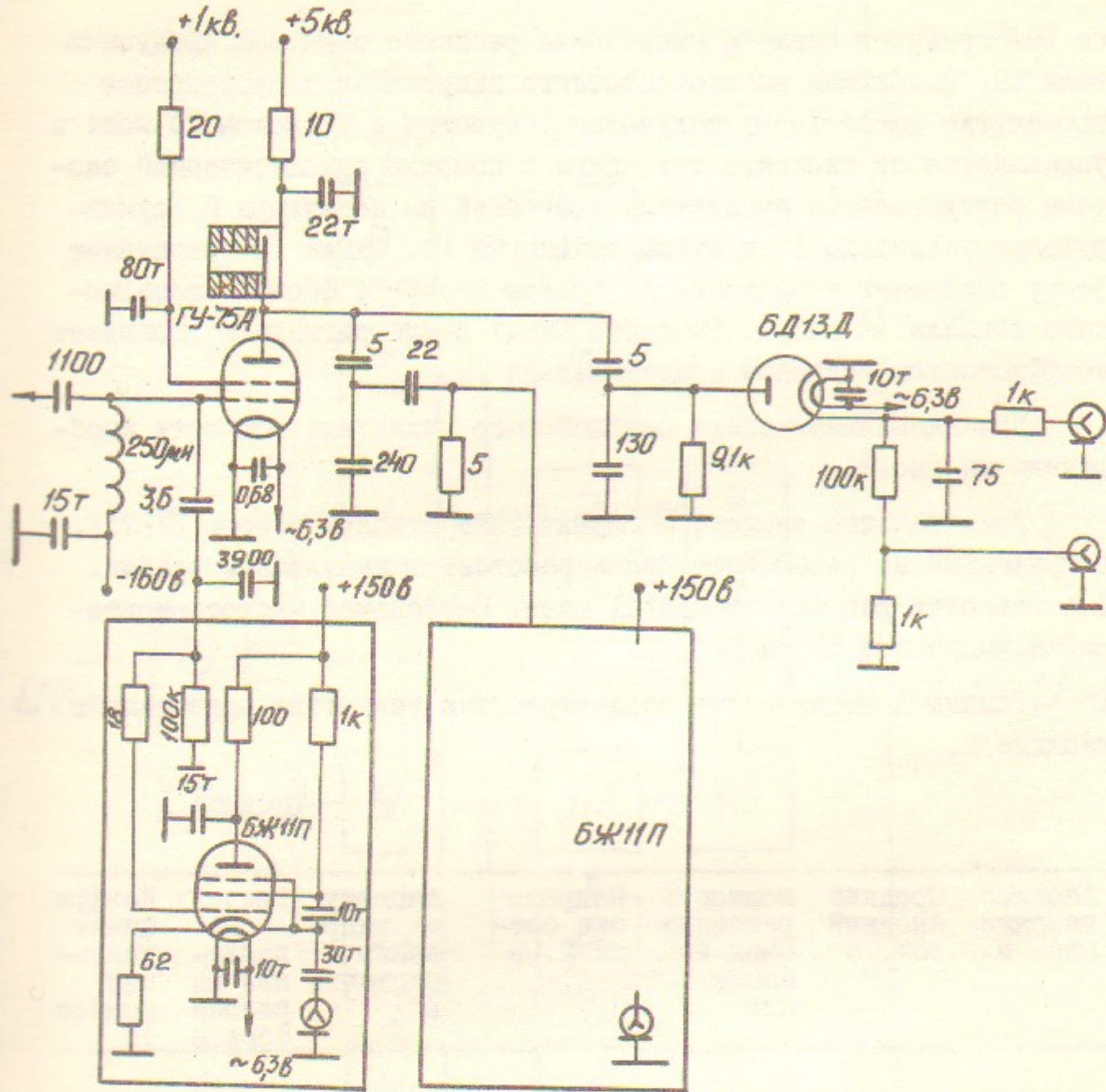


Рис.2

Два катодных повторителя на лампах 6Ж11П передают высокочастотные сигналы со входа и выхода усилителя мощности в схему выделения сигнала автоматической подстройки фазы.

Детектор на лампе 6Д13Д служит для измерения огибающей напряжения на резонаторе и получения сигнала для системы автоматического регулирования амплитуды.

Резонатор и система подмагничивания ферритов

Ускоряющая система протонно-ионного синхротрона состоит из двух расположенных друг против друга резонаторов, напряжения которых, для создания удвоенной разности потенциалов в зазоре, находятся в противофазе.

Каждый резонатор представляет четвертьволновый отрезок коаксиальной короткозамкнутой линии, заполненной ферритом. Перестройка по частоте осуществляется подмагничиванием ферритов.

Конструкция резонатора с подмагничивающей системой и их основные размеры показаны на рис.3.

Четвертьволновая коаксиальная линия I заполнена ферритовыми кольцами 2. Размеры колец 180x110x20. Высота набора колец 160 мм. Ферриты 300 НН.

Ферритовые кольца приклеены к наружной и внутренней обечайкам резонатора эластичным кремнеорганическим клеем "Эластосил" марки П101ВН. Клеевая прослойка 3 имеет толщину 0,5 мм и, обеспечивая теплоотвод выделяющейся в ферритах мощности на стенки резонатора, исключает некоторые механические напряжения в ферритах, вызванные нагревом. Технические характеристики материала "Эластосил" марки П101ВН приведены в таблице 2 [1].

Таблица 2

Диэлектрическая проницаемость на частоте 10^6 гц и температуре 20°C	Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 10^6 гц и температуре 20°C	Коэффициент теплопроводности ккал/(м.ч. град)	Относительное удлинение %	Рабочий интервал температур $^\circ\text{C}$
4,2	0,02	0,7	140+200	+60 до +200

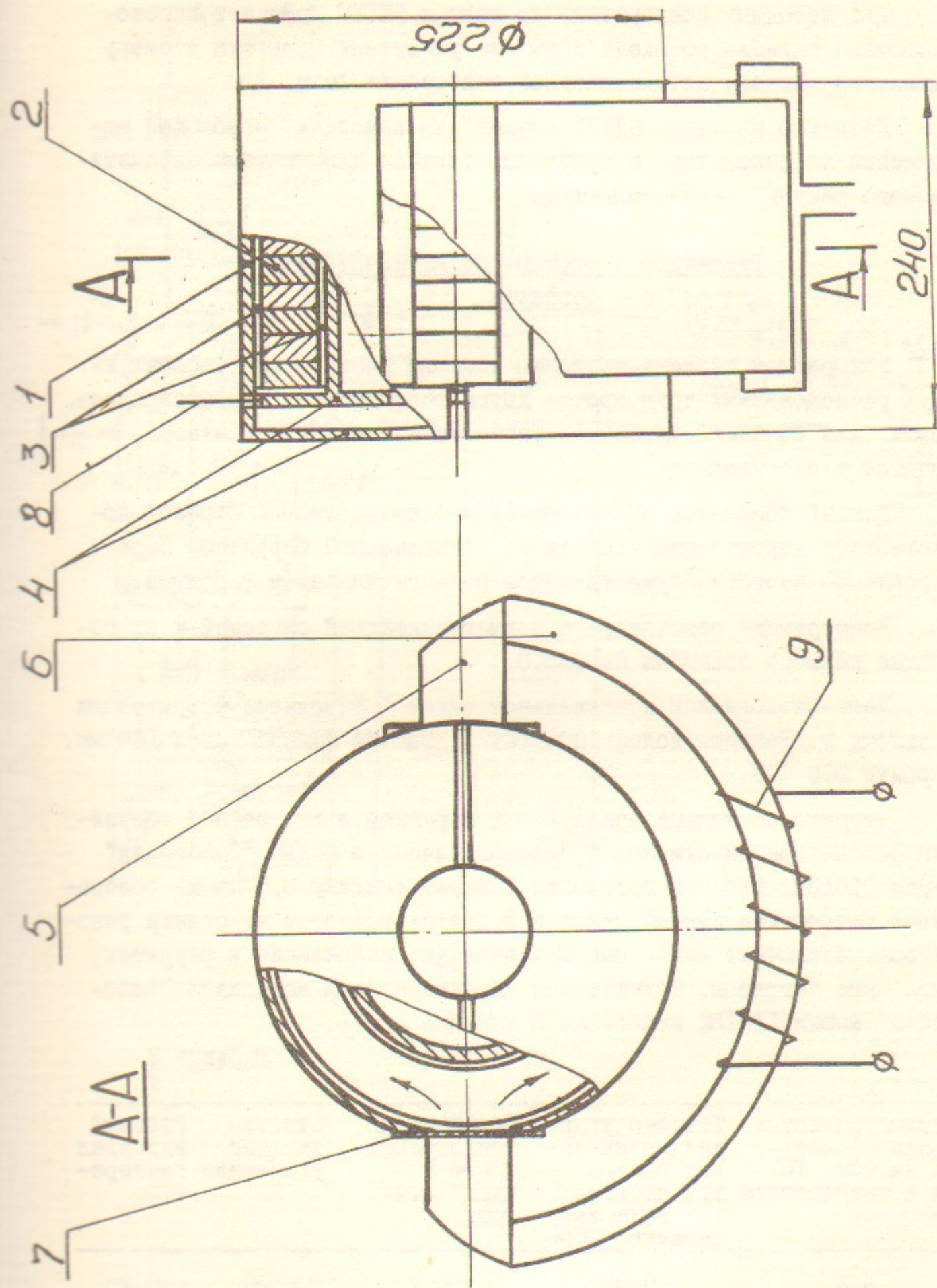


Рис. 3

Тепло со стенок резонатора снимается системой водяного охлаждения.

Емкость резонатора формируется в основном пластинами 4.

Резонатор устанавливается между башмаками 5 электромагнита 6. Для исключения короткозамкнутого витка на пути подмагничивающего потока вдоль боковой поверхности коаксиальной линии и наружной пластины 4 сделан продольный разрез шириной 1 мм. Высокая частотная составляющая спектра подмагничивающего импульса проникает в ферриты через окна, расположенные по бокам резонатора. Окна закрыты медной фольгой 7. Толщина фольги 0,05–0,1 мм. Фольга прозрачна для подмагничивающего потока и экранирует высокочастотное поле резонатора. Направление подмагничивающего потока показано стрелками на ферритовых кольцах 2.

Резонатор возбуждается через ввод 8.

Обмотка подмагничивания 9 расположена на магнитопроводе. Питание электромагнита осуществляется подключением обмотки непосредственно к усилителю подмагничивания или через разделительный трансформатор. При непосредственном подключении обмотки к усилителю подмагничивание можно производить однополярными импульсами, как указано на рис. 4а. В случае питания электромагнита через трансформатор подмагничивающие импульсы должны быть разнополярными для передачи постоянной составляющей (рис. 4б).

Однако, от того какими импульсами—однополярными или разнополярными—осуществляется подмагничивание феррита, зависит величина максимального значения дифференциальной магнитной проницаемости.

При одновременном воздействии на феррит высокочастотного и подмагничивающего полей зависимость дифференциальной магнитной проницаемости μ_d от напряженности подмагничивающего поля H имеет характерный максимум [2].

Возрастание дифференциальной магнитной проницаемости при подмагничивании используется для увеличения диапазона перестройки.

На рис. 5 показаны зависимости дифференциальной магнитной проницаемости от подмагничивающего поля, полученные на одних и

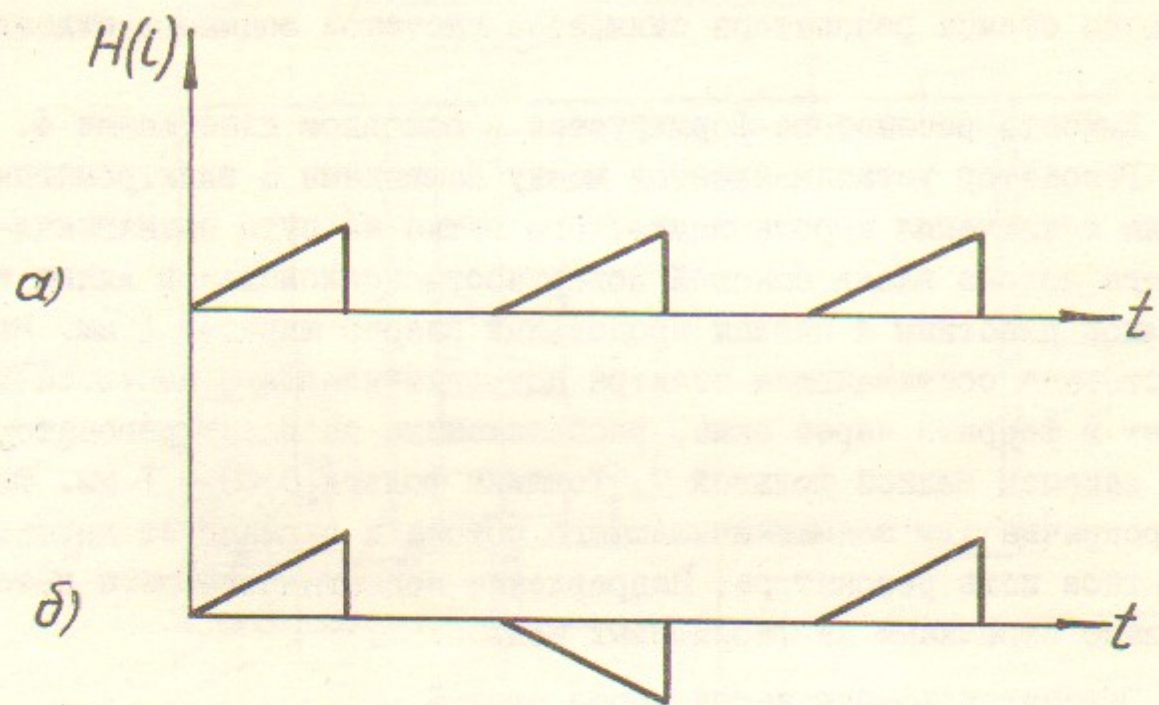


Рис.4

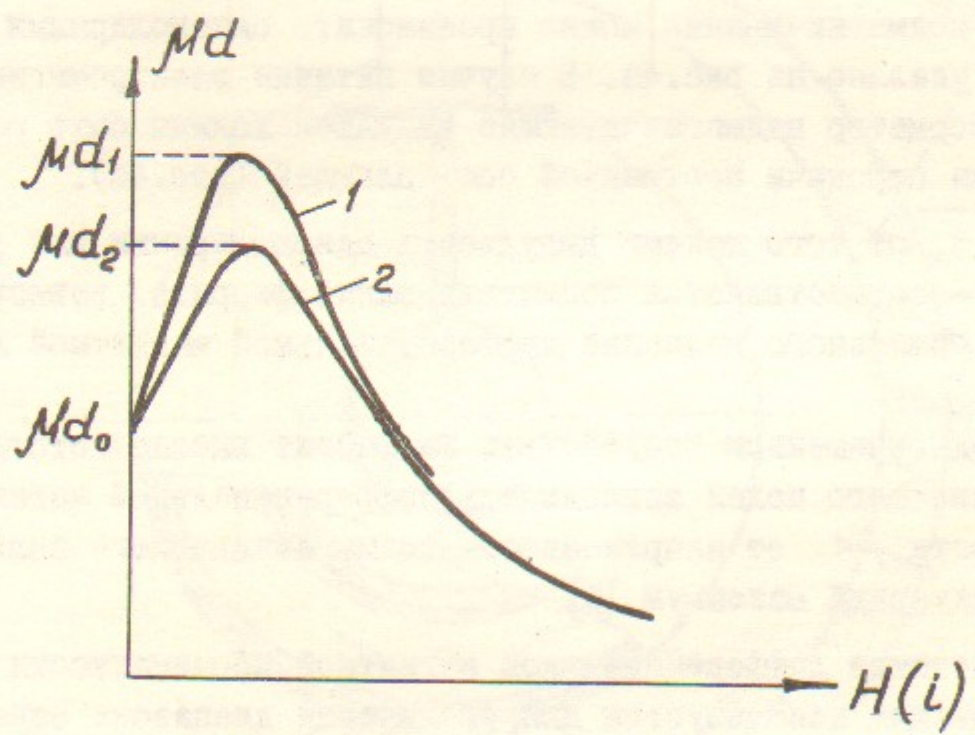


Рис.5

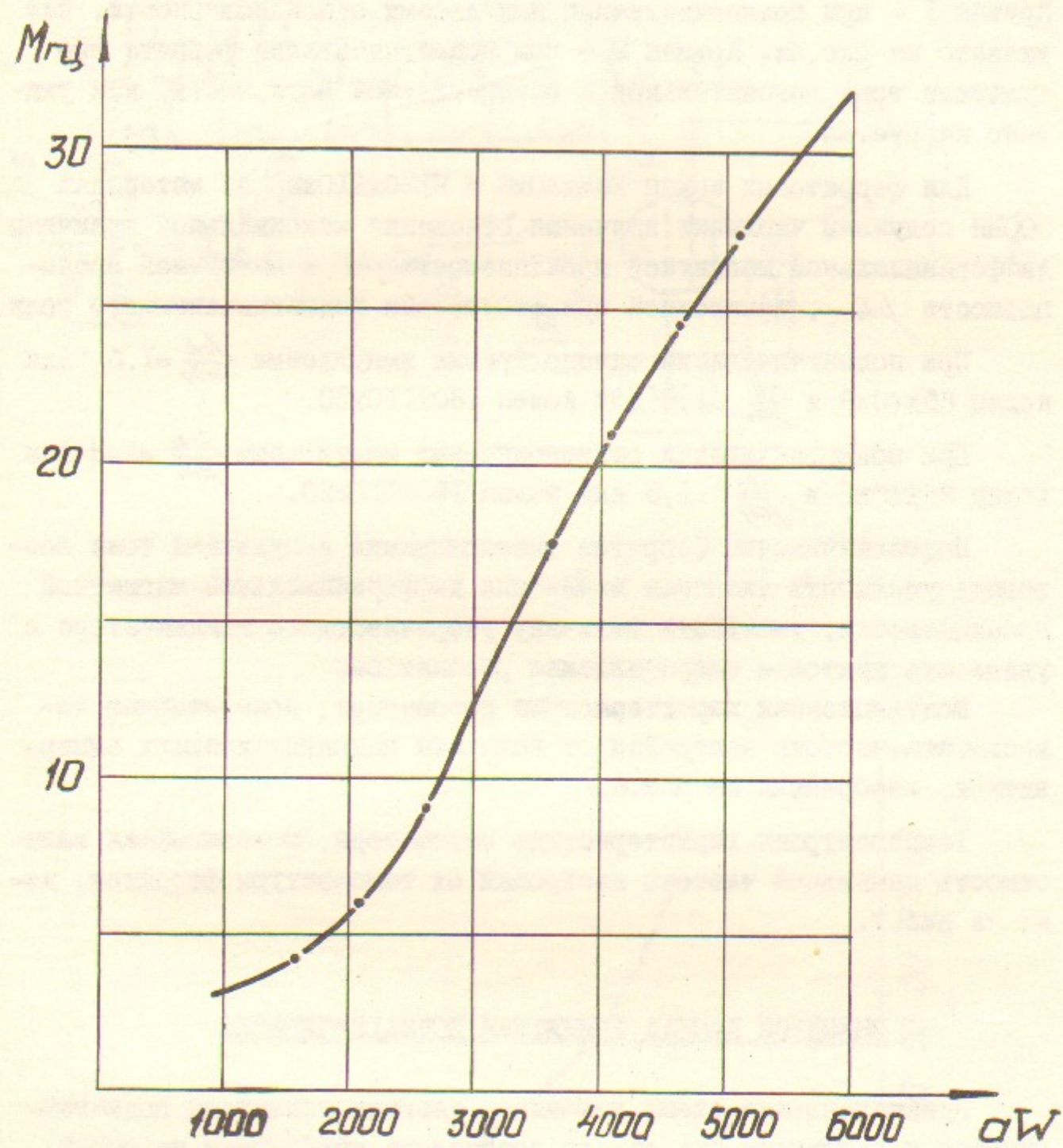


Рис.6

тех же ферритовых колец при разных способах подмагничивания. Кривая 1 — при подмагничивании импульсами одной полярности, как указано на рис. 4а. Кривая 2 — при подмагничивании феррита импульсами тока положительной и отрицательной полярности, как указано на рис. 4б.

Для ферритовых колец K65x40x6 и KI80x110x20 из материала 300НН получены числовые значения отношения максимальной величины дифференциальной магнитной проницаемости μ_d к магнитной проницаемости μ_{d0} , измеренной при отсутствии подмагничивающего поля.

При подмагничивании однополярными импульсами $\frac{\mu_{d1}}{\mu_{d0}} = 1,6$ для колец 65x40x6 и $\frac{\mu_{d1}}{\mu_{d0}} \approx 1,8$ для колец 180x110x20.

При подмагничивании разнополярными импульсами $\frac{\mu_{d2}}{\mu_{d0}} = 1,3$ для колец 65x40x6 и $\frac{\mu_{d2}}{\mu_{d0}} = 1,5$ для колец 180x110x20.

Подмагничивание ферритов однополярными импульсами тока позволяет увеличить диапазон изменения дифференциальной магнитной проницаемости, уменьшить величину укорачивающего конденсатора и увеличить индуктивное сопротивление резонатора.

Модуляционная характеристика резонатора, показывающая зависимость частоты настройки от величины подмагничивающих ампервитков, изображена на рис. 6.

Температурная характеристика резонатора, показывающая зависимость начальной частоты настройки от температуры ферритов, дана на рис. 7.

ВЫХОДНОЙ КАСКАД УСИЛИТЕЛЯ ПОДМАГНИЧИВАНИЯ

Принципиальная схема выходного каскада усилителя подмагничивания для перестройки одного резонатора изображена на рис. 8. В качестве выходной лампы используется ГУ-75А. Лампа работает в импульсном режиме. Длительность рабочего импульса 11 мсек. Наибольшая частота повторения 50 гц.

Режимы лампы при работе с частотой повторения 50 гц приведены в таблице 3.

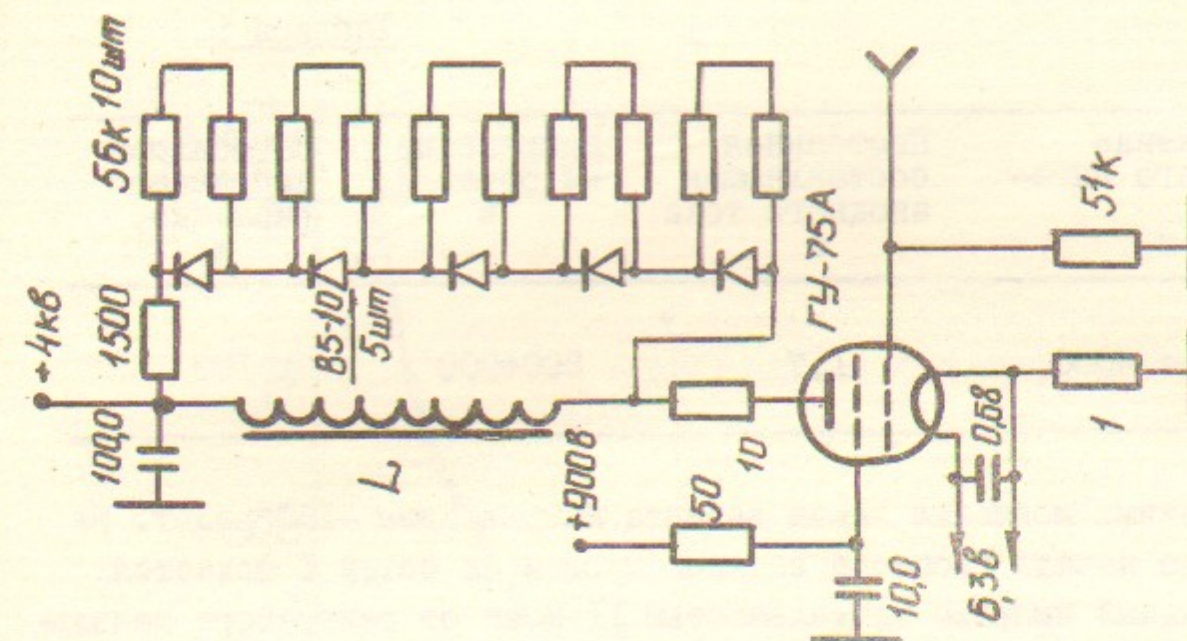


Рис. 8

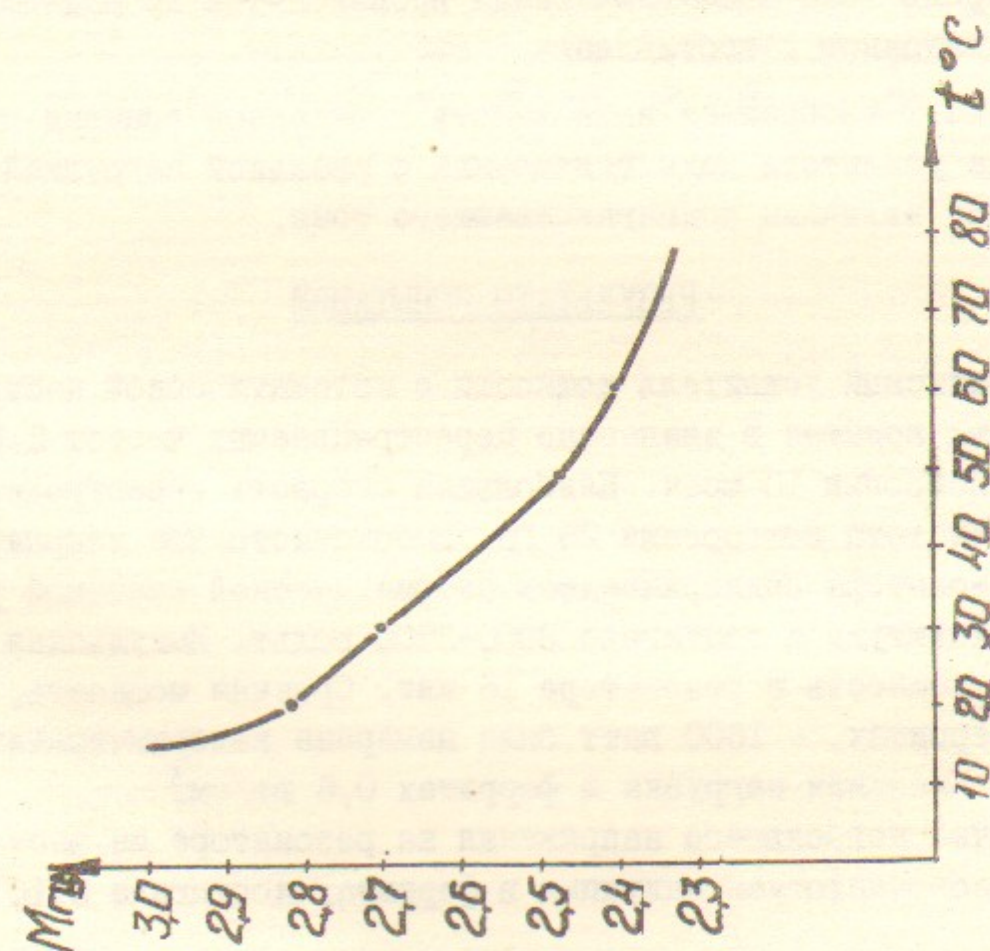


Рис. 7

Таблица 3

Напряжение анодного пита- ния, в	Постоянная составляющая анодного тока, а	Напряжение на сетке 2, в	Наибольшее напряжение раскачки, в
3500 + 4000	1,7	800+900	180

В режиме молчания лампа заперта напряжением -150 вольт. За 1 мсек, до начала процесса автоподстройки на сетку I подается прямоугольный импульс длительностью 11 мсек от генератора начального подмагничивания. Этот импульс выводит ферриты на рабочую точку.

В анодную цепь ГУ-75А включен электромагнит Δ . Амплитуда обратного выброса напряжения при запираии лампы ограничивается цепью из 5 диодов типа В5-10 и сопротивления 1500 ом.

Контроль тока подмагничивания производится по падению напряжения на катодном сопротивлении I ом.

На рис.9 изображена зависимость постоянной времени выходного каскада усилителя подмагничивания с реальной нагрузкой в анодной цепи от величины подмагничивающего тока.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Резонансный усилитель мощности с автоматической настройкой частоты был испытан в диапазоне перестраиваемых частот 2,5-31 Мгц. Время перестройки 10 мсек. Наибольшая скорость перестройки 5000 Мгц/сек. Частота повторения 25 Гц. Высокочастотное напряжение на зазоре резонатора поддерживалось автоматической системой регулирования амплитуды и достигало 3000-3500 вольт. Импульсная высокочастотная мощность в резонаторе 15 квт. Средняя мощность, рассеиваемая в ферритах, - 1600 ватт. была измерена калориметрическим способом. Удельная нагрузка в ферритах 0,6 вт/см³.

В точке наибольшего напряжения на резонаторе на частоте 20 Мгц высокочастотная индукция в ферритах достигала $5 \cdot 10^{-3}$ тесла.

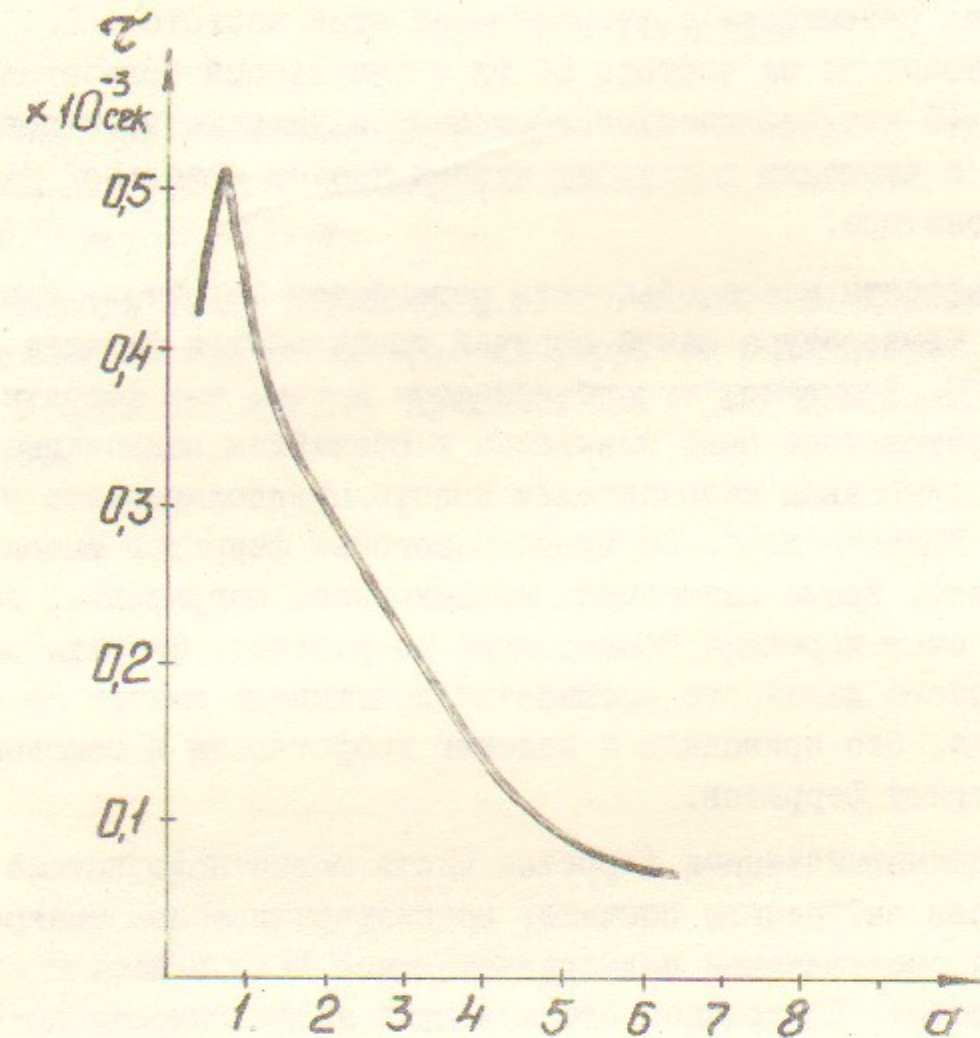


Рис.9

Добротность резонатора с ферритами на этой частоте – 25. При работе резонатора на частоте 50 гц с импульсной колебательной мощностью 15 квт наблюдается постепенное уменьшение напряжения на зазоре и смещение в сторону низких частот начальной частоты резонатора.

Эти эффекты можно объяснить перегревом ферритов, так как расчетная температура самой горячей точки внутри феррита достигает 80°C . Возможно, это объясняется и тем, что ферриты в испытанном резонаторе были приклеены к обечайкам эпоксидным компаундом с кварцевым наполнителем вместо предполагаемого резиноподобного "Эластосила". Во время разогрева ферритов высокочастотным полем, кроме внутренних механических напряжений, возникающих за счет перепада температуры по радиусу, ферриты за счет температурного линейного расширения испытывали сжатие со стороны обечайки. Это приводило к падению добротности и дополнительному разогреву ферритов.

При подмагничивании ферритов часть магнитного потока проникает через внутреннюю обечайку резонатора в канал синхротрона. Переменная составляющая подмагничивающего поля в канале составляет 50 эрстед. Постоянная составляющая напряженности подмагничивающего поля в канале при частоте повторения 50 гц – 20 эрстед. Проникающее в канал поле экранируется стальной трубой, вставленной внутрь резонатора. При толщине стенок экранирующей трубы 2,5+3 мм переменная составляющая поля ослабляется в 10 раз и составляет 5 эрстед. Постоянная составляющая ослабляется в 20 раз и составляет 1 эрстед.

Автор выражает благодарность Ческидову В.Г. за участие в разработке конструкции узлов высокочастотной системы, Персову Б.З. за обсуждение некоторых вопросов, связанных с охлаждением ферритов, Попову В.М. и Шубенкову А.С. за монтаж установки.

Л и т е р а т у р а

1. Кремнеорганические клеи-герметики "Эластосил" стр.2
Изд.Лаборатория полиграфии Отделение НИИТЭХИМ,
г.Черкассы, 1974г.
2. Авербух И.И., Карлинер М.М. Установка для измерения динамических характеристик ферритов в диапазоне 15 + 50 Мгц стр.15. Препринт ИЯФ № 217 г.Новосибирск, 1968г.

Работа поступила - 19 мая 1976 г.

Ответственный за выпуск С.Г. ПОПОВ

Подписано к печати 26.У-1976г. МН 02803

Усл. 1,1 печ.л., тираж 200 экз. Бесплатно
Заказ № 48.

Отпечатано на ротапринте в ИИФ СО АН СССР