

индекс 3624

ЕФИ-69I(6)-84

---

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИНФОРМАЦИИ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ПО АТОМНОЙ НАУКЕ И ТЕХНИКЕ

---

---

А.И.БАРЫШЕВ, В.В.ЕКИМОВ,  
В.И.КОВАЛЕНКО, О.В.ТУРЧАНИНОВ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕТРОДА ТУ-53А НА  
ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЕ В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ



ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕРЕВАН-1984

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

БФИ-691(6)-84

А.И.БАРЫШЕВ, В.В.ЕКИМОВ,  
В.И.КОВАЛЕНКО, О.В.ТУРЧАНИНОВ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕТРОДА ГУ-53А НА  
ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЕ В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ

Ереван 1984

Ереванский Физический  
ИНСТИТУТ  
Зам. преспринтов

В окончательных каскадах генераторов системы ВЧ питания ускоряющих резонаторов Ереванского синхротрона использованы три параллельно включенных импульсных триода типа ГИ-24А. В настоящее время эти приборы сняты с производства, в связи с чем их замена на другие, серийно выпускаемые промышленностью приборы, способные работать в режимах системы ВЧ питания синхротрона [1], является весьма актуальной задачей.

Специфика требований, предъявляемых к лампам окончательных каскадов генераторов ВЧ системы электронного синхротрона, определяется особенностью требуемой формы радиоимпульсов ускоряющего напряжения, их длительностью ( $t_{\text{имп}} = 10 \dots 13 \text{ нс}$ ) и частотой повторения ( $F = 50 \text{ имп/с}$ ). При этом скважность, определенная относительно мощности в пиковой точке импульса, составляет 4...6. Это означает, что выходная пиковая мощность генератора порядка 250кВт может быть получена при столь низкой скважности лишь при условии, что электроды лампы выходного каскада могут рассеивать сравнительно большие мощности. В этом заключается сложность выбора прибора, способного заменить три параллельно включенных триода ГИ-24А [2].

Сравнение характеристик импульсных ламп с лампами предназначенными для работы в непрерывном режиме показывает, что первые из них имеют значительную крутизну только при больших импульсах анодного тока (120...140А и более) и повышенных анодных напряжениях

(30...40кВ). Эти токи при низких скважностях приводят к таким значениям рассеиваемых мощностей, которые заведомо превышают допустимые. В этом отношении лампы (особенно тетроды), предназначенные для работы в непрерывном режиме, предпочтительнее.

Сравнительный анализ параметров подходящих по мощности генераторных ламп, выпускаемых отечественной промышленностью, приводит к следующим результатам.

1. Серия импульсных генераторных ламп, которые можно было бы использовать для указанной цели, включает в себя триоды ГИ-27А [2], ГИ-50А [4].

Триоды ГИ-27А, ГИ-50А обладают высокой крутизной анодно-сеточной характеристики ( $I_{60...200\text{mA/V}}$ ), рассчитаны для работы в импульсном режиме при анодных напряжениях до 40кВ импульсами длительностью до 1 мс, обладают высокой эмиссионной способностью катода (300...600А). Из этих ламп триод ГИ-50А наиболее мощный ( $P_{a, \text{гон}} = 40\text{кВт}$ ,  $P_{g, \text{гон}} = 1\text{кВт}$ ,  $f_{\text{макс}} = 170\text{ МГц}$ ). При некотором превышении мощности  $P_{a, \text{гон}}$  этот триод способен обеспечить выходную мощность оконечного каскада генератора 220...250кВт при заданной скважности импульсов.

2. Серия генераторных ламп, предназначенных для работы в непрерывном режиме диапазона очень высоких частот (ОВЧ), включает ряд приборов, один из которых - ГУ-57А, вполне мог быть использован для поставленной цели. В самом деле, триод ГУ-57А предназначен для работы на частотах до 250 МГц, имеет высокую крутизну характеристики анодного тока - 250 мА/В, большой ток эмиссии - 170А, значительную мощность рассеяния на аноде - 65 кВт и на сетке - 2,5 кВт.

Однако практическое использование этого триода встречает значительные затруднения. Они вызваны весьма сложной конструкцией прибора. Так, например, водяное охлаждение должно подводиться не только к аноду лампы, но и к каждому выводу накала (катода) и сетки и к самой сетке. Включение лампы в каскаде расчитано на двухстороннюю конструкцию анодного контура. Величина тока накала - 1800А требует введения в конструкцию массивных токоведущих шин. Все это существенно усложняет конструкцию каскада и его эксплуатацию.

3. Существует ряд приборов, предназначенных для работы в непрерывном режиме в диапазоне частот до 30...70 МГц, которые по конструкции электродов и их выводов весьма близки к импульсным приборам ОВЧ диапазона. Главным здесь является протяженность электродов, длина их активных частей и коаксиальность выводов, межэлектродные емкости и электрические параметры.

Наиболее перспективными в этом отношении являются триод ГУ-66А и тетрод ГУ-53А. Однако на начальных участках анодно-сеточных характеристик лампа ГУ-66А имеет низкую крутизну, и дальнейшая экспериментальная проверка показала, что она уступает лампе ГУ-53А по всем параметрам в режимах, требуемых в оконечном каскаде системы ВЧ питания синхротрона. Поэтому в дальнейшем приводятся результаты испытаний только лампы ГУ-53А. Эта лампа в непрерывном режиме при анодном напряжении 12 кВ отдает на частоте 75 МГц колебательную мощность 80 кВт и по допустимой мощности рассеяния на аноде  $P_{a, \text{гон}} = 50\text{ кВт}$  несколько превосходит лампу ГИ-50А. По мощности накала она экономичнее триода ГИ-50А [2].

Система ВЧ питания Ереванского синхротрона работает радиоимпульсами специальной формы с частотой заполнения 132,8 МГц. Применение в этом случае лампы ГУ-53А приведет к ее импульсной работе (с малой скважностью) на повышенной частоте. Однако, как уже отмечалось, ее конструкция аналогична внутреннему устройству импульсных ламп ОВЧ диапазона. Так, электрическая длина активных частей сеток ГУ-53А всего лишь в 1,1 раза больше, чем, например, у импульсного ОВЧ триода ГИ-50А. Эти лампы также схожи между собой и по конструктивному исполнению катодно- и анодно-сеточных узлов. Поэтому разумно было ожидать, что ГУ-53А сможет работать на частоте, ~ в 2 раза превышающей максимальную по паспорту. Однако тут важно отметить следующее.

Как известно, особенность работы ламп ОВЧ диапазона состоит в том, что их межэлектродные емкости образуют основную часть емкостных ветвей катодно- и анодно-сеточных колебательных контуров. Поэтому по поверхности сеток лампы протекает не только постоянная составляющая сеточного тока, но и значительный ВЧ колебательный ток. Правильный учет дополнительного нагрева сеток этим током имеет большое значение, особенно при работе лампы на повышенной частоте. Предварительные расчеты нуждаются в экспериментальной проверке. Кроме того, необходимо также на опыте проверить устойчивость данной лампы к паразитной генерации при работе в импульсном режиме ОВЧ диапазона в каскаде, построенном по схеме с общей сеткой.

При работе в импульсном режиме электроды лампы допускают значительные перегрузки, если длительность импульса не превышает некоторую критическую величину. Расчет допустимой импульсной мощности рассеяния на сетках лампы ГУ-53А в зависимости от дли-

тельности импульса и скважности был проведен по методике, изложенной в [3]. Результаты расчета приведены на рис. 1 и 2.

На рис. 3 построены зависимости импульсной колебательной мощности  $P_{\text{имп}}$  и мощности потерь (импульсные значения) на первой  $P_{g01}$  и второй  $P_{g02}$  сетках от напряжения возбуждения  $U_g$  при работе тетрода в режиме  $\square$  импульса длительностью 3,4 мс. Там же нанесены уровни допустимой мощности рассеяния для соответствующих электродов при скважности 6,0. Как видно, предельно допустимые значения мощности потерь на второй сетке в режиме работы прямоугольными импульсами со скважностью 6,0 соответствуют колебательной мощности 330 кВт.

Однако, как показали измерения, при работе с программным импульсом возбуждения скважность по мощности в анодной цепи  $Q_a$  не совпадает со скважностью по мощности потерь на первой  $Q_{g01}$  и второй  $Q_{g02}$  сетках. Так, при  $Q_a = 6,2$  эквивалентные скважности по мощности потерь составляют  $Q_{g01} = Q_{g02} \approx 15$ .

Таким образом, при работе программным импульсом ( $Q_{\text{прогр}} = 6,2$ ) на уровне мощности  $P_{\text{имп}} = 330$  кВт потери на сетках ГУ-53А существенно меньше допустимых.

Для испытаний лампы ГУ-53А был использован выходной каскад лабораторного генератора ускоряющей системы синхротрона, собранный по схеме с заземленной сеткой. Анодный контур каскада образован коаксиальной контурной системой, состоящей из наружного цилиндра диаметром 546 мм и внутреннего диаметром 472 мм (рис. 4). Внешний объем входного контура ограничен внутренней поверхностью наружного цилиндра каскада. Внешний объем выходного контура соответствует заштрихованным областям на рис. 4. Для уменьшения объема в верхней части выходного контура уста-

новлен специальный цилиндр с крышками и отверстием для лампы. Электрическая длина выходного контура составляет  $3/4 \lambda$ . Настройка контура производится изменением волнового сопротивления участка анодного контура длиной  $1/8 \lambda$ .

Возбуждение на каскад подается по фидеру связи, образующему совместно с витком связи предоконечного и входной цепью оконечного каскадов контур связи, настраиваемый короткозамкнутым плунжером переменной длины.

Связь выходного контура с нагрузкой производится через виток связи, прикрепленный к внутренней жиле фидера и цилиндру с крышками. Для согласования с нагрузкой в фидере предусмотрен трансформирующий участок, а на расстоянии  $1/4 \lambda$  установлен короткозамкнутый четвертьволновой шлейф.

Результаты измерений и расчетов двух режимов работы - с пилообразным ( $\sim \Delta$ ) и  $\square$  - импульсом - приведены в таблице. Измерения производились при работе генератора на эквивалент нагрузки, а выходная мощность и мощность потерь на аноде лампы измерялись калориметрическим методом.

Испытания лампы также были проведены на пучке ускоряемых электронов. Для этого на выход лабораторного генератора подключалась половина резонаторов ускоряющей системы синхротрона. При работе одного только лабораторного генератора была получена энергия ускоренных электронов 4,4 ГэВ.

При испытаниях лампа ГУ-53А отработала около 200 часов. Каких-либо изменений в работе лампы и отклонений в ее параметрах, а также паразитной генерации зафиксировано не было. Количество пробоев в лампе не превысило 1...2 в сутки, что допустимо.

## Выводы

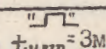
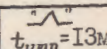
Лампа ГУ-53А:

- 1) способна на частоте 133 МГц отдавать колебательную мощность до 350 кВт в режиме  $\square$ -импульса длительностью 2 мс ( $Q=10$ ) и до 250 кВт в режиме пилообразного импульса длительностью 13 мс ( $Q=6,2$ );
- 2) имеет достаточную электрическую прочность;
- 3) обладает достаточной устойчивостью к паразитной СВЧ генерации.

Авторы выражают благодарность Уманскому И.Г. за соображения по построению входной части контурной системы выходного каскада, Чернышеву С.А. за участие в сборке и наладке лабораторного генератора и Гишян С.А. за помощь в измерениях.

Расчет режимов лампы ГУ-53А

Таблица

№ п/п	Наименование параметров	Обозна- чение	Ед. из- мере- ния	Режимы				
				 $t_{имп} = 3\text{мс}$	 $t_{имп} = 13\text{мс}$			
I	2	3	4	5	6			
1	Напряжение на аноде	$e_a$	кВ	8,58	11,5			
2	Напряжение накала	$U_n$	В	14	14			
3	Постоянная составляющая анодного тока (импульсная)	$I_{a0}$	А	63,5	44,2			
4	Постоянная составляющая тока (импульсная)			первой сетки	$I_{g01}$	А	4	2,76
				второй сетки	$I_{g02}$	А	5	4
5	Напряжение смещения	$E_{g1}$	В	-300	-233			
6	Экранное напряжение	$E_{g2}$	В	1226	1360			
7	Импульсная мощность	$P_u$	кВт	385	310			
8	Максимальный импульс анодного тока	$i_a \text{ макс}$	А	150	150			
9	Первая гармоника анодного тока (импульсная)	$I_{a1}$	А	92,5	73			
10	Напряжение на контуре (импульсное)	$U_k$	кВ	8,35	8,6			
11	Напряжение возбуждения (импульсное)	$U_{g1}$	В	1030	1130			
12	Угол отсечки анодного тока	$\theta_a$	град	83/70	80/20			
				первой сетки	$\theta_{g01}$	град	73	77
				второй сетки	$\theta_{g02}$	град	73	77

I	2	3	4	5	6
13	Скважность по анодному току по первой сетке по второй сетке	$Q_a$		10	5,9
		$Q_{g01}$		10	24
		$Q_{g02}$		10	13,5
14	Максимальный импульс тока первой сетки тока второй сетки	$i_{g1 \text{ макс}}$	А	23,5	30
		$i_{g2 \text{ макс}}$	А	29	37
15	Первая гармоника тока (импульсная) первой сетки второй сетки	$I_{g11}$	А	6,8	10
		$I_{g21}$	А	8,4	12,3
16	Проходная мощность (импульсная)	$\Delta P$	кВт	48	41
17	Мощность рассеяния на анодe (средняя)	$P_a$	кВт	20,5	37
18	Подводимая мощность (импульсная)	$P_o$	кВт	541	486
19	КПД	$\eta$		0,62	0,56
20	Эквивалентное сопротив- ление	$R_{oe}$	Ом	91	102
21	Мощность возбуждения (импульсная)	$P_{g01}$	кВт	56	53,5
22	Мощность рассеяния (импульсная) на первой сетке на второй сетке	$P_{g01}$	кВт	2,3	2
		$P_{g02}$	кВт	10,5	15,6
23	Допустимая мощность рас- сеяния на второй сетке (импульсная)	$P_{g02 \text{ доп}}$	кВт	18	24
24	Входное сопротивление	$R_g$	Ом	9,6	12
25	Отношение $I_{g02} / I_{a0}$			0,079	0,092

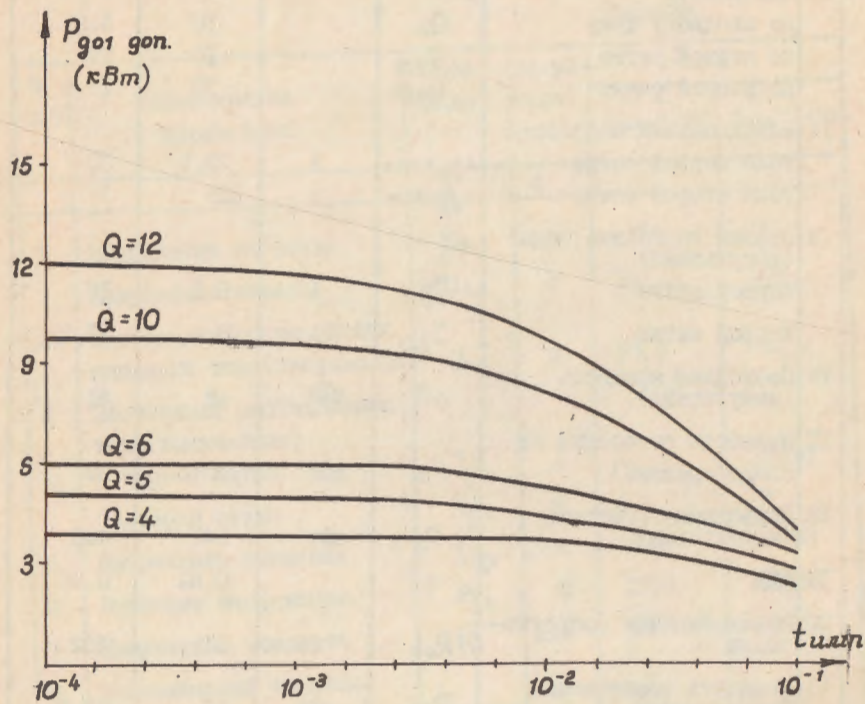


Рис. 1 Зависимость допустимой импульсной мощности рассеяния на первой сетке лампы ГУ-53А от длительности импульса и скважности

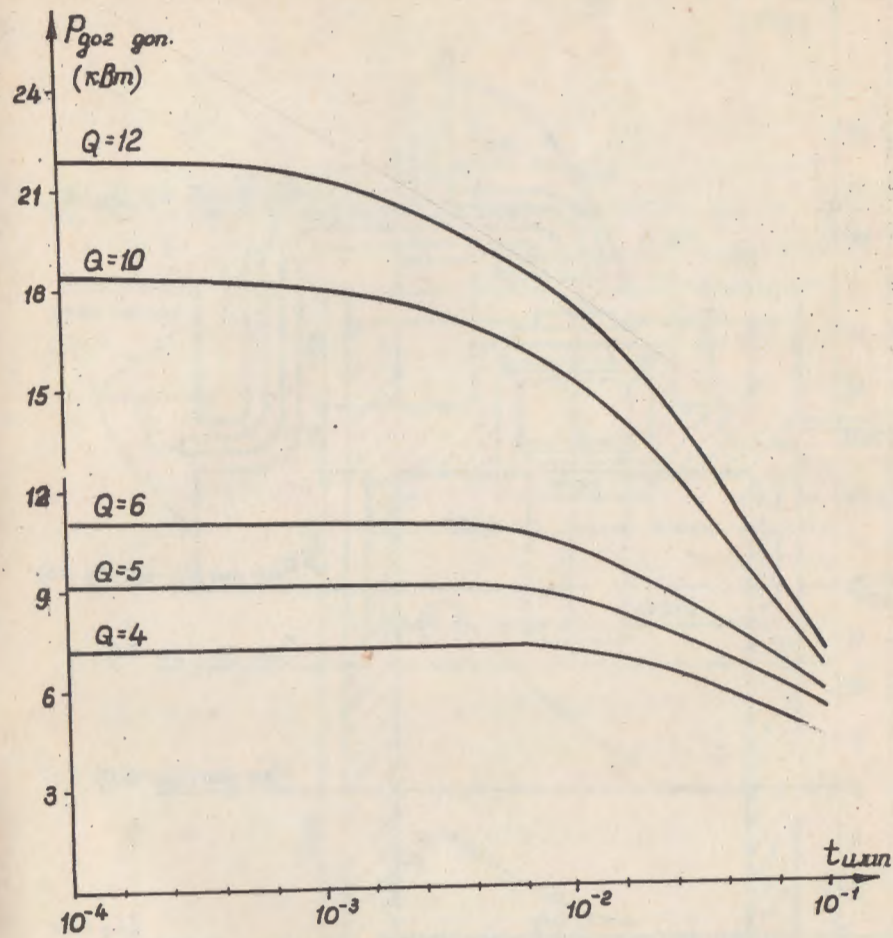


Рис. 2 Зависимость допустимой импульсной мощности рассеяния на второй сетке лампы ГУ-53А от длительности импульса и скважности

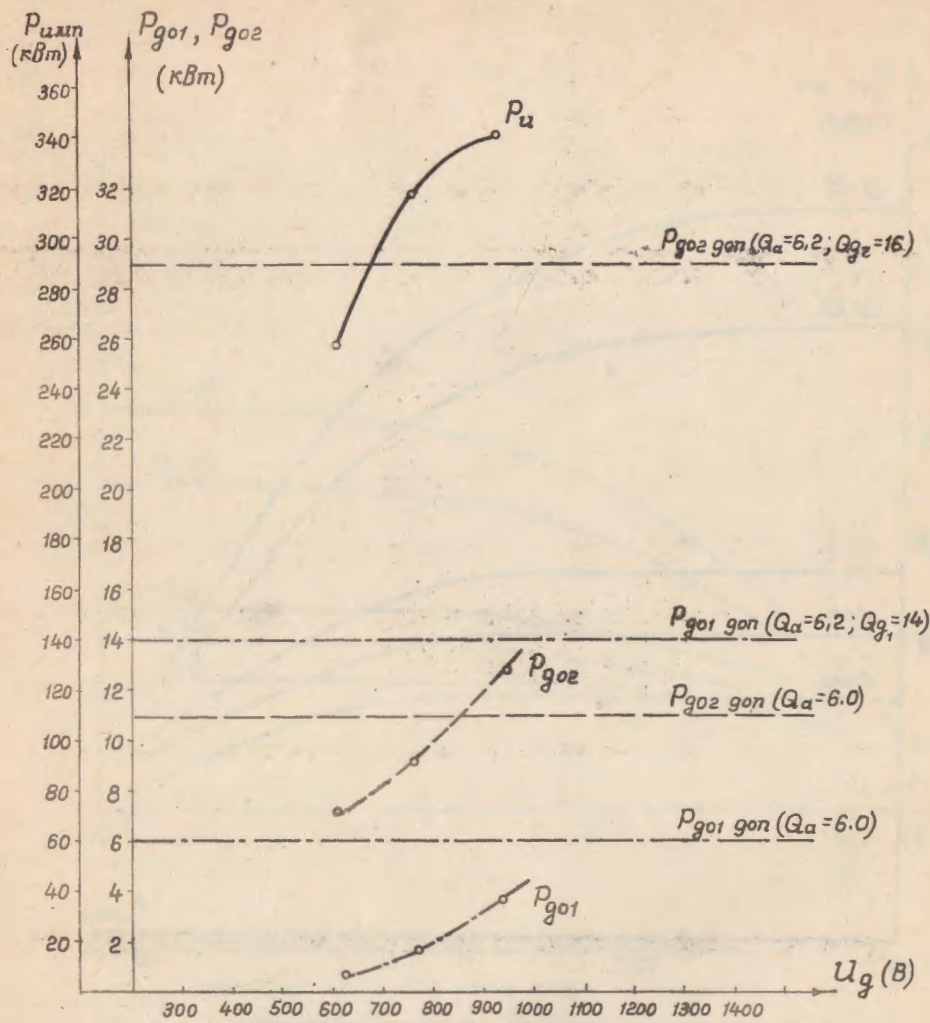


Рис. 3 Зависимость импульсной мощности рассеяния на сетках лампы ГУ-53А от амплитуды напряжения возбуждения

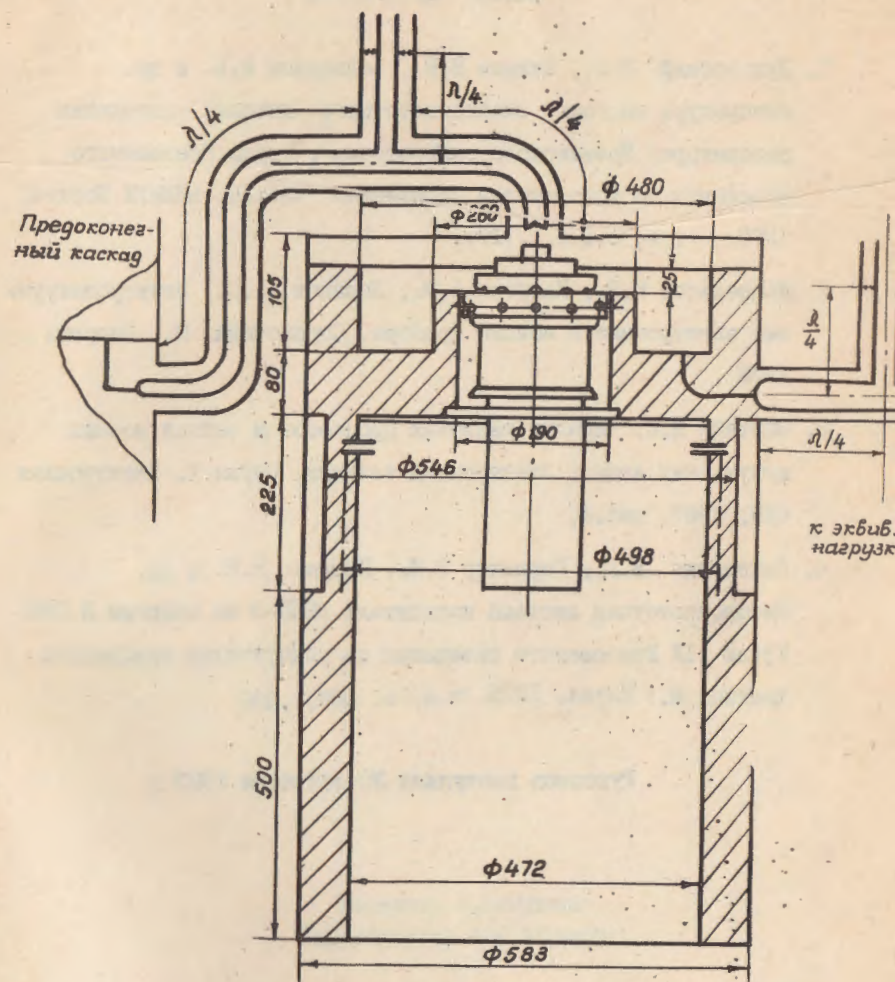


Рис. 4 Эскиз выходного каскада на лампе ГУ-53А

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дудковский Э.А., Екимов В.В., Залманзон В.Б. и др.  
Аппаратура системы высокочастотного питания ускоряющих резонаторов Ереванского синхротрона, Труды Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, ВИНТИ Москва, 1970, т.2, с.115...117,
2. Кацнельсон Б.В., Калугин А.М., Ларинов А.С. Электровакуумные электронные и ионные приборы. Справочник М.: Энергия, 1976.
3. Эпштейн М.С. Анализ тепловых процессов в сетках мощных импульсных ламп. Электронная техника. Серия I. Электроника СВЧ, 1967, вып.4.
4. Вещерович В.Г., Горникер Э.И., Ищенко Н.Н. и др.  
Высокочастотная система накопителя ВЭШ-3 на энергию 3 ГэВ, Труды IV Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, М.: Наука, 1975. т.2, с. 337...339

Рукопись поступила 30 сентября 1983 г.

Редактор Л.П.Мукаян  
Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ 432

ВФ-06132

Тираж 299

Препринт ЕФИ

Формат издания 60 x 84/16

Подписано к печати 20/1-84г. I, Оуч. изд. л. Ц 15 к.

Издано Отделом научно-технической информации  
Ереванского физического института Ереван-36, Маркаряна 2