

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



С345г1  
Г-524

4/10 24  
9 - 7575

857/2-74

А.А.Глазов, В.А.Кочкин, М.М.Семенов

ВОПРОСЫ СТАБИЛИЗАЦИИ АМПЛИТУДЫ  
УСКОРЯЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

**1973**

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

9 - 7575

А.А.Глазов, В.А.Кочкин, М.М.Семенов

ВОПРОСЫ СТАБИЛИЗАЦИИ АМПЛИТУДЫ  
УСКОРЯЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Глазов А.А., Кочкин В.А., Семенов М.М.

9 - 7575

Вопросы стабилизации амплитуды ускоряющего напряжения

Рассматриваются вопросы, связанные с получением высокостабильного по амплитуде напряжения. Приводятся результаты экспериментальных исследований отдельных элементов систем стабилизации.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований  
Дубна, 1973

Работы по изучению структуры ядра настоятельно требуют получения пучков частиц с энергией в десятки Мэв и весьма высокой степенью моноэнергетичности. В ряде работ [1+3] было показано, что такие пучки могут быть получены на циклотронах при принятии специальных мер по стабилизации их параметров.

При разделении орбит на выводе, что является условием исключения разброса энергии в выведенном пучке, кратного набору энергии за оборот, моноэнергетичность выведенного пучка будет определяться постоянством и равенством набора энергии за оборот для всех ускоряемых частиц.

С целью обеспечения равенства набора энергии за оборот для большого количества частиц применяется ускоряющее напряжение специальной формы: "сплюснутая синусоида", а постоянство набора должно обеспечиваться соответствующей стабилизацией амплитуды ускоряющего напряжения.

Поскольку для питания ускоряющих резонаторов циклотронов используются мощные ламповые высокочастотные генераторы, проблема получения высокостабильного ускоряющего напряжения предполагает, в первую очередь, стабилизацию амплитуды ВЧ напряжения мощного генератора по сигналу с ускоряющего резонатора. Таким образом, одним из основных и наиболее сложным элементом, подлежащим стабилизации для получения моноэнергетических пучков ускоренных частиц, является мощный высокочастотный генератор.

Прежде чем переходить к анализу систем стабилизации, оценим, как влияют различные факторы на амплитуду напряжения высокочастотного генератора при различных режимах работы.

Амплитуда первой гармоники анодного тока определяется выражением (1):

$$I_{a1} = S(U_g - D U_a) Y_1(\theta) - S(U_g + \eta U_a) Y_1(\theta_1) + S(\eta + D) U_a Y_1(\theta_2), \quad (1)$$

где  $S$  - крутизна характеристики анодного тока,  $D$  - проницаемость сеток,  $\theta$ ,  $\theta_1$  и  $\theta_2$  - углы отсечки импульса тока,  $f(\theta)$  - коэффициенты разложения косинусоидального импульса,  $U_g$  и  $U_a$  - амплитуды сеточного и анодного напряжений, соответственно, а коэффициент  $\eta$  равняется:

$$\eta = \frac{S_k}{S} - D, \quad (2)$$

где  $S_k$  - крутизна критической линии.

Косинусы углов отсечки, входящих в (I), определяются через параметры лампы и напряжения на её электродах по следующим формулам:

$$\cos \theta = - \frac{E_g - E_g'}{U_g - D U_a} \quad (3)$$

$$\cos \theta_1 = - \frac{E_g - E_g' - (1+D) E_a}{U_g + \eta U_a} \quad (4)$$

$$\cos \theta_2 = \frac{E_a}{U_a}, \quad (5)$$

где  $E_g$  - сеточное смещение,  $E_a$  - анодное напряжение,  $E_g'$  - напряжение сдвига.

Углы отсечки  $\theta_1$  и  $\theta_2$  появляются только в перенапряженном режиме. В слабо перенапряженном режиме  $\xi_{op} < \xi \leq 1$ ,  $\theta_1 \neq 0$ ,  $\theta_2 = 0$ , а в сильно перенапряженном - при  $\xi > 1$  не равны нулю и  $\theta_1$  и  $\theta_2$ .

Прежде чем переходить к анализу (I), сделаем некоторые предположения и предварительные оценки.

Во-первых, заметим, что, так как нас интересуют эффекты порядка  $\frac{\Delta U_a}{U_a} \sim 10^{-4}$ , будем рассматривать только линейные члены разложений.

Во-вторых, в связи с тем, что в настоящее время разработана широкая гамма генераторных тетродов на мощность до 250квт, будем рассматривать только тетродные генераторы. В этом случае входящие в (I) коэффициенты  $D$  и  $\eta$  по порядку величины равняются:

$$D \sim 10^{-3}, \quad \eta \sim 10^{-1}. \quad (6)$$

Кроме того, для тетродов с левыми характеристиками, практически не теряя общности, при оценке величин, входящих в (I) и в выражения для косинусов углов отсечки, можно предположить, что

$$E_g = E_g', \quad U_g = |E_g'|, \quad (7)$$

т.е. считать, что каскад работает с углом отсечки  $\theta = 90^\circ$  с максимально допустимой для режима без сеточных токов амплитудой напряжения на управляющей сетке.

В-третьих, для  $f_1(\theta)$  и  $f_1(\theta_1)$  будем использовать приближенные выражения, получающиеся из разложения в ряд по  $\cos \theta$  и  $1 - \cos \theta_1$ ,

$$f_1(\theta) \approx \frac{1}{2} - \frac{2}{\pi} \cos \theta, \quad 60^\circ < \theta < 120^\circ \quad (8)$$

$$f_1(\theta_1) = \frac{4\sqrt{2}}{3\pi} (1 - \cos \theta_1)^{3/2} [1 - 0,15(1 - \cos \theta_1)], \quad \theta_1 < 50^\circ.$$

В-четвертых, в связи с нецелесообразностью сильно перенапряженного режима в генераторах, питающих высокочастотные системы ускорителей заряженных частиц, будем анализировать (I) только в недонапряженном (критическом) и слабо перенапряженном режимах:

$$I_{a1} = S(U_g - D U_a) f_1(\theta) - S(U_g + \eta U_a) f_1(\theta_1). \quad (I')$$

Подставляя значения  $\gamma_1$  и косинусов углов отсечки в (I'), получим следующее значение для тока первой гармоники:

$$i_{a1} \approx 0,5 S [U_{\gamma} - D U_a + \frac{4}{\pi} (E_{\gamma} - E_{\gamma}')] - 0,6 S (U_{\gamma} + \eta U_a) \times \\ \times \left[ 1 + \frac{E_{\gamma} - E_{\gamma}' - (\eta + D) E_a}{U_{\gamma} + \eta U_a} \right]^{1/2} \cdot \left\{ 1 - 0,15 \left[ 1 + \frac{E_{\gamma} - E_{\gamma}' - (\eta + D) E_a}{U_{\gamma} + \eta U_a} \right] \right\} \quad (9)$$

С другой стороны, напряжение и ток связаны соотношением:

$$i_{a1} = U_a / R_a, \quad (10)$$

где  $R_a$  — сопротивление анодной нагрузки.

Из (9), (10) видно, что зависимость  $U_a$  от параметров не может быть выражена в явной форме, а имеет вид:

$$\phi(U_a, R_a, E_{\gamma}, E_a) = 0, \quad (11)$$

где  $\phi = \frac{U_a}{R_a} - i_{a1}$ .

В этом случае

$$dU_a = - \frac{\phi'_{R_a}}{\phi'_{U_a}} dR_a - \frac{\phi'_{E_a}}{\phi'_{U_a}} dE_a - \frac{\phi'_{E_{\gamma}}}{\phi'_{U_a}} dE_{\gamma}, \quad (12)$$

где  $\phi'_x = \partial \phi / \partial x$ .

Выполняя дифференцирование, найдем:

$$\phi'_{U_a} = \frac{1}{R_a} + 0,5 S D + 0,6 S \eta (1+a)^{1/2} [(1+a)(0,85 - 0,15a) - \\ - 1,5a(0,85 - 0,15a) + 0,15a(1+a)], \quad (13)$$

где через  $a$  обозначен  $-\cos 2\theta_1$ .

Для облегчения оценок  $1/R_a$  в (13) целесообразно заменить с помощью (II)

$$U_a \phi'_{U_a} = 0,5 S U_{\gamma} - 0,6 S U_{\gamma} (1+a)^{1/2} (0,85 - 0,15a) - \\ - 0,9 S a U_a (1+a)^{1/2} (0,85 - 0,15a) + 0,09 S a U_a (1+a)^{1/2}. \quad (14)$$

Если теперь воспользоваться условиями (7), считая  $\xi = I$  и пренебрегая  $D$  по сравнению с  $\eta$ , то

$$a = -\cos 2\theta_1 \rightarrow - \frac{\eta E}{U_{\gamma} + \eta U_a} \approx \frac{1}{1+a}, \quad (15)$$

где  $\alpha = |E_{\gamma}| / \eta E_a$ ,

а выражение (14) приобретает вид:

$$U_a \phi'_{U_a} = 0,5 S U_{\gamma} + 0,9 S \eta U_a \sqrt{\frac{\alpha}{1+\alpha}} \left[ \frac{1+0,75\alpha}{(1+\alpha)^2} \right]. \quad (14')$$

Причем из (15) следует, что в недонапряженном режиме (верхнего угла отсечки нет) в (14') следует полагать  $\alpha = 0$ .

При тех же предположениях из (II) найдем:

$$\phi'_{R_a} = - \frac{U}{R^2} = - \frac{1}{R} [0,5 S (U_{\gamma} - D U_a) - \\ - 0,6 S U_{\gamma} \sqrt{\frac{\alpha}{1+\alpha}} \frac{1+0,85\alpha}{1+\alpha}] \quad (16)$$

$$\phi'_{E_{\gamma}} = - \frac{2}{\pi} S + 0,9 S \sqrt{\frac{\alpha}{1+\alpha}} \frac{1+0,75\alpha}{1+\alpha}. \quad (17)$$

При нахождении производных от  $E_a$  и  $E_{g2}$  необходимо учитывать, что от них зависит напряжение сдвига:

$$E_f' = -DE_a - D_1 E_{g2} + E_{g0},$$

Где  $E_{g0}$  определяет протяженность "загиба" анодно-сеточной характеристики лампы,  $D_1$  -проницаемость управляющей сетки.

Таким образом:

$$\phi'_{E_a} = -\frac{2}{\pi} SD - 0,9 \cdot S \eta \sqrt{\frac{\alpha}{1+\alpha}} \frac{1+0,75\alpha}{1+\alpha} \quad (18)$$

$$\phi'_{E_{g2}} = -\frac{2}{\pi} SD_1 + 0,9 \cdot S D_1 \sqrt{\frac{\alpha}{1+\alpha}} \frac{1+0,75\alpha}{1+\alpha}. \quad (19)$$

С помощью (12) и полученных выражений для производных можно определить

$$\frac{dU_a}{U_a} = -\frac{1}{U_a \phi'_{U_a}} (\phi'_{E_a} dE_a + \phi'_{E_{g2}} dE_{g2} + \phi'_{E_{g1}} dE_{g1} + \phi'_{E_f} dE_f). \quad (20)$$

В недонапряженном режиме вторые члены в выражениях (14), (16+19) равны нулю и  $dU_a/U_a$  имеет очень простой вид:

$$\frac{dU_a}{U_a} = \left(1 - D \frac{E_a}{E_f}\right) \frac{dR}{R} + \frac{4}{\pi} \frac{dE_f}{E_f} + \frac{4}{\pi} D \left(\frac{E_a}{E_f}\right) \frac{dE_a}{E_a} + \frac{4}{\pi} D_1 \left(\frac{E_{g2}}{E_f}\right) \frac{dE_{g2}}{E_{g2}} \quad (21)$$

Численные значения параметров, принятые в расчете для различных ламп средней и большой мощности, приводятся в таблице 1. Вычисленные значения коэффициентов при производных  $K_x$  - в таблице 2.

В перенапряженном режиме при всех производных за исключением  $dE_a/E_a$  появляются дополнительные коэффициенты вида:

$$K_x'' = (1 - K_x')/c, \quad 0 < K_x' < 1, \quad (22)$$

$$\text{где } c = 1 + 1,8 \frac{\beta}{2(1+\alpha)}, \quad \beta = \sqrt{\frac{\alpha}{1+\alpha}} \frac{1+0,75\alpha}{1+\alpha}, \quad (23)$$

говорящие об ослаблении зависимости  $dU_a/U_a$  от данного параметра.

Зависимость от анодного напряжения носит другой характер. Подставляя значение производных из (14) и (18), найдем:

$$\left(\frac{dU_a}{U_a}\right)_{E_a} = \frac{\left(\frac{2}{\pi} SD + 0,9 \cdot S \eta\right) \frac{dE_a}{E_a}}{0,5 \cdot S \alpha \eta + 0,9 \cdot S \eta \beta / (1+\alpha)} \quad (24)$$

При номинальном значении  $E_a$  коэффициенты  $\alpha$ ,  $\eta$  и  $D$  по порядку величины равняются, соответственно,  $10^{-1}$ ,  $10^{-1}$ ,  $10^{-3}$  и можно пренебречь первыми членами в числителе и знаменателе. В этом случае

$$\left(\frac{dU_a}{U_a}\right)_{E_a} = \frac{dE_a}{E_a},$$

т.е. наблюдается линейная зависимость  $U_a$  от  $E_a$ .

Численные значения коэффициентов при производных для перенапряженного режима работы приведены в таблице 2.

Из приведенных результатов следует, что с точки зрения получения стабильного напряжения при стабильной нагрузке целесообразно использовать недонапряженный режим работы высокочастотного генератора, т.к. при этом значительно ослабляется зависимость амплитуды ВЧ-напряжения от напряжения источников анодного питания наиболее мощных и труднее всего поддающихся стабилизации. Электронные лампы должны обладать малой проницаемостью по аноду и экранной сетке и в случае сохранения относительной стабильности источников анодного и экранного напряжения при его снижении и наличия необходимого резерва мощности должны работать при пониженном анодном и экранном напряжении.

ТАБЛИЦА 1.

Параметры ламп, принятые в расчете.

Лампа	$E_a$	$E_{c2}$	$E_{c1}$	$D$	$D_{c1}$	$\eta$	$S_k$
	б	б	б	—	—	—	ма/б
ГУ-43	2000	300	-40	0,002	0,12	0,11	5
ГУ-47	4000	800	-100	0,005	0,10	0,20	8
ГУ-53	10000	1500	-170	0,008	0,18	0,23	30

ТАБЛИЦА 2

Коэффициенты при производных. Расчет.

Лампа	Медонапряженный режим				Перенапряженный режим			
	$K_R$	$K_{E_c}$	$K_{E_{c2}}$	$K_{E_a}$	$K_R$	$K_{E_c}$	$K_{E_{c2}}$	$K_{E_a}$
ГУ-43	0,9	1,27	1,14	0,127	0,117	0,143	0,128	0,935
ГУ-47	0,8	1,27	1,01	0,254	0,095	0,133	0,107	0,458
ГУ-53	0,53	1,27	2,02	0,580	0,053	0,115	0,187	1,000

В том случае, когда нагрузка нестабильна, и ее стабилизация является задачей более трудной, чем стабилизация анодного напряжения, что может, например, иметь место в циклотронах, где низкочастотные колебания в разряде ионного источника вызывают изменение тока ускоренного пучка и, как следствие, изменение нагрузки генератора, может оказаться целесообразным использование перенапряженного режима работы ВЧ-генератора, т.к. в этом случае резко ослабляется зависимость напряжения на нагрузке от ее изменений.

С целью экспериментальной проверки полученных соотношений и реального получения высокочастотного напряжения с долговременной стабильностью амплитуды порядка  $10^{-4}$  на среднем уровне мощности в Отделе новых ускорителей был спроектирован и изготовлен комплекс радиоаппаратуры стабильной амплитуды (система "Краса"), основной частью которого является соответствующий ВЧ генератор. В оконечном каскаде генератора используется тетрод ГУ-47Б, что позволяет получать колебательную мощность в пределах до 4-х квт, чего, практически, вполне достаточно для полномасштабного моделирования проблем стабилизации ускоряющего напряжения.

Схема генератора представлена на рис. 1, 2. Рабочая частота выбрана равной 26,5 МГц, что соответствует верхней частоте циклотрона У-120М. Конструктивно оконечный и предоконечный каскады генератора выполнены на коаксиальных медных контурах в анодной цепи с плунжерами, перемещаемыми при грубой настройке, а затем зафиксированными в рабочем положении с помощью болтового соединения.

Схемная часть блока маломощных каскадов (БМК) помещена в активный термостат, температура в котором поддерживается постоянной с точностью 0,1°.





Генератор питается от специально разработанных и изготовленных в отделе источников повышенной стабильности. Их параметры и схемное решение приведены в материалах рабочего совещания по изохронному циклотрону У-120М<sup>/5/</sup>. Источники питания размещены в двух отдельных шкафах, аналогичных по конструкции шкафу В4 каскадов.

Генератор установлен в помещении, температура воздуха в котором поддерживается постоянной с помощью конденсатора КТ-2 (ГДР). Вне помещения находятся мощный анодный выпрямитель и стабилизаторы сети ТР-9204/С (ВНР), обеспечивающие постоянство напряжения сети с точностью 0,5%.

Исходя из соображений приведенного анализа, а также соображений, изложенных в материалах рабочего совещания по моноэнергетическому циклотрону <sup>/6/</sup>, следовало ожидать, что при работе на постоянную нагрузку при соответствующей стабильности амплитуды задающего генератора стабильность амплитуды выходного напряжения должна быть  $\sim 10^{-4}$ .

Измерение амплитуды высокочастотного напряжения с точностью  $\sim 10^{-4}$  является очень сложной самостоятельной задачей, решение которой тем не менее необходимо для разработки и исследования сверхстабильных систем ВЧ питания ускорителей. Проблема в данном случае несколько облегчается тем, что абсолютное значение напряжения может измеряться с меньшей точностью, определяемой доступной точностью калибровки, а значение  $10^{-4}$  относится к разрешающей способности и дрейфу измерителя.

Предварительные результаты, связанные с разработкой прецизионных измерителей ВЧ напряжения, приведены в работе <sup>/7/</sup>. Одной из

основных проблем, с которой при этом приходится сталкиваться, является дрейф преобразователя напряжения (детектора). С термостатированными ламповыми детекторами на диодах 6Д-13Д и 6Д-16Д удалось достичь величины дрейфа, не превышающего 200 мкв/час. Измерения проводились на постоянном токе по схеме, представленной на рис.3. В качестве эталонного источника использовался специально разработанный высокостабильный выпрямитель, обеспечивающий долговременную стабильность выходного напряжения на уровне  $\sim 10^{-5}$ .

Характерные кривые, показывающие изменение напряжения на диоде в зависимости от времени, показаны на графиках рис.4. Видно, что для установления рабочего режима с дрейфом, не превышающим 200 мкв/час, требуется довольно значительное время, причем дрейф в дальнейшем окончательно не прекращается. Результаты, полученные с детекторами на полупроводниковых диодах Д18, практически не отличаются от полученных с ламповыми детекторами. Характер кривых и полученные результаты близки к ламповым. Достоинством полупроводниковых детекторов является простота, недостатком — существенно меньшие значения рабочего напряжения.

Главный интерес представляет, несомненно, исследование детекторов на высокой частоте, однако отсутствие высокостабильных источников ВЧ напряжения не позволяет непосредственно провести такой эксперимент.

Предварительные эксперименты проводились на частоте 1 Кгц с помощью источника стабилизированных напряжений ИСН-1, напряжение на выходе которого контролировалось японским цифровым вольтметром ТР-6515 с А-Д-конвертером. Полученные результаты не были достаточно полными, т.к. работа при высоких разрежениях не могла проводиться ввиду значительной нестабильности напряженности напряжения ИСН-1. Более интересные результаты были получены при использовании в качестве источника ВЧ напряжения генератора стандартных сигналов

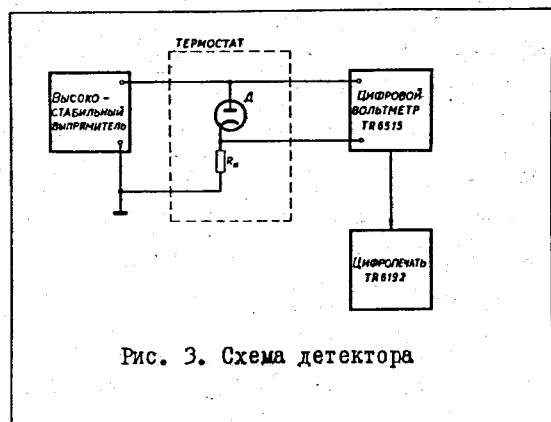


Рис. 3. Схема детектора

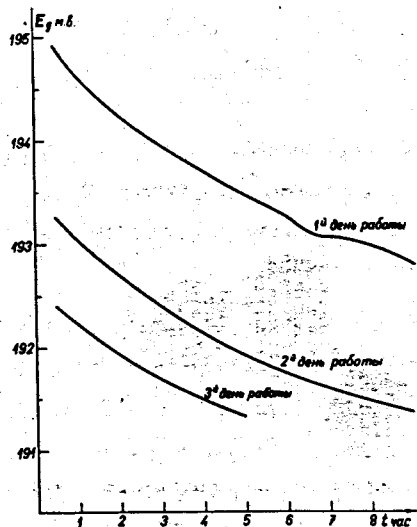


Рис. 4. Зависимость напряжения на диоде от времени

Г4-44 с дополнительной системой стабилизации выходного напряжения /8/.

Исследование выходного напряжения Г4-44 проводилось с помощью описанных ранее детекторов. Для повышения уровня выходного напряжения использовался высокодобротный высокостабильный контур. Измерение выходного напряжения детектора осуществлялось с помощью цифрового вольтметра TR-6515 с преобразователем цифра-аналог, что позволяло записывать результат на ленте с помощью автопотенциометра ЭПН-09М. Полученное значение выходного напряжения детектора в зависимости от времени показано на рис.5. Видно, что, во-первых, нестабильность выходного напряжения  $\leq 10^{-4}$ , а, во-вторых, отсутствует непрерывный дрейф выходного напряжения, характерный для детекторов, питаемых постоянным напряжением.

Хорошая стабильность амплитуды выходного напряжения генератора Г4-44 с дополнительной системой стабилизации позволила использовать его в качестве задающего генератора в системе "КРАСА".

Исследования системы "КРАСА" проводились по двум направлениям: во-первых, проверялась зависимость выходного напряжения от  $E_a$  и  $R_n$ , во-вторых, исследовалась долговременная стабильность выходного напряжения при работе на активную нагрузку без системы АРА.

Исследование зависимости  $U_{вых}$  от  $E_a$  и  $R_n$  представляет наибольший интерес в связи с тем, что стабилизация нагрузки или мощного анодного выпрямителя вызывает наибольшие трудности, и выбор варианта схемы или режима работы генератора может быть обусловлен полученным результатом.

Исследование зависимости выходного напряжения от напряжения анодного источника проводилось для предоконечного и оконечного каскадов генератора в двух режимах работы: критическом и перенапряженном. В измерениях анодное напряжение менялось в пределах трех процентов. Полученные результаты приведены в таблице 3. Видно довольно хорошее совпадение с расчетными значениями, представленными в таблице 2.

Исследование зависимости  $U_{\text{вых}}$  от  $R_n$  производилось путем изменения нагрузки на конце полуволнового выходного кабеля РК-50-7-2I. Недостатком эксперимента было весьма значительное изменение сопротивления нагрузки от 50 ом до 75 ом. Результаты измерений также представлены в таблице 3. Относительное изменение нагрузки определено выражением:

$$\Delta R / R_n = 2 (R_{\text{нвекс}} - R_{\text{ншт}}) / (R_{\text{нвекс}} + R_{\text{ншт}}).$$

Видно резкое, почти на порядок, ослабление зависимости выходного напряжения от сопротивления нагрузки при переходе генератора в перенапряженный режим.

Исследование долговременной стабильности выходного напряжения проводилось путем измерения напряжения при активной нагрузке, расположенной на конце полуволнового кабеля, с помощью термостатированного детектора и измерителя нестабильности В2-13 или В8-1. Температура в помещении во время проведения эксперимента поддерживалась постоянной с точностью до одного градуса с помощью кондиционера. Характерная кривая, показывающая изменение выходного напряжения после трехчасового прогрева, приведена на рис. 6. Измерения проводились на процентной шкале измерителя нестабильности.

В выходном напряжении отчетливо прослеживаются низкочастотные изменения уровня. Точная причина их пока не установлена, однако известно, что они связаны главным образом с БМЖ.

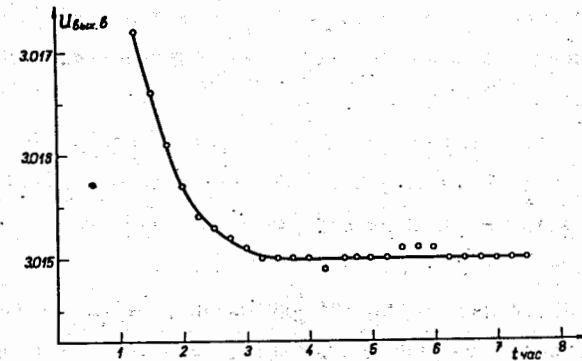


Рис.5. Зависимость  $U_{\text{вых.в}}$  детектора от времени

Таблица 3  
Коэффициенты при производных. Эксперимент.

Лампа	Недонапряж. режим		Перенапр. режим	
	$K_{E\alpha}$	$K_R$	$K_{E\alpha}$	$K_R$
ГУ-43	0,142	—	1,0	—
ГУ-47	0,27	0,415	—	0,0878

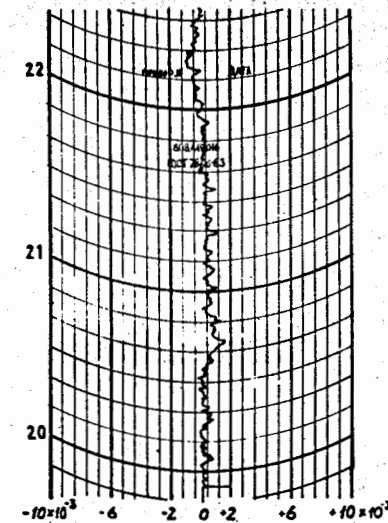


Рис.6.

Уход среднего уровня за два часа явно меньше  $10^{-3}$ .

Из полученных экспериментальных результатов можно сделать следующие выводы:

Во-первых, в зависимости от режима генератора можно изменять сложность той или иной проблемы в задаче получения стабильного высокочастотного напряжения. В перенапряженном режиме ослабляется зависимость выходного напряжения от нагрузки, и вся тяжесть переносится на получение стабильного анодного напряжения, в недонапряженном — ослаблена зависимость от анодного напряжения, однако на порядок увеличивается зависимость от сопротивления нагрузки. Ясно, что при этом не может быть априорных рекомендаций о построении комплекса генератор-ускоритель, и конкретное решение каждый раз должно находиться путем оценки всех факторов.

Во-вторых, при надлежащей стабилизации источников питания и конструкции генератора на постоянной активной нагрузке возможно получение ВЧ напряжения с долговременной стабильностью  $\sim 10^{-3}$ . Это позволяет сделать вывод о возможности получения ВЧ напряжения со стабильностью  $\sim 10^{-4}$  и выше при введении системы АРА с относительно небольшим коэффициентом стабилизации.

## Литература

1. H.G.Blosser. Fifth International Cyclotron Conference, 1969.
2. J.R.Richardson and M.K.Cradock. Fifth International Cyclotron Conference, 1969.
3. А.А.Глазов, Ю.Н.Денисов, В.И.Джелепов, В.П.Дмитриевский и др. Сообщение ОИЯИ, Р9-3932, Дубна, 1968 г.
4. С.И.Евтянов. Ламповые генераторы. "Связь", 1967 г.
5. А.А.Глазов, В.А.Кочкин, М.М.Семенов, А.С.Устинов, ОИЯИ, Р9-6241, Дубна, 1972 г.
6. А.А.Глазов, В.А.Кочкин, Л.М.Онищенко, ОИЯИ, 13-4496, 1969 г.
7. А.А.Глазов, В.А.Кочкин, Л.М.Онищенко, Е.Схвабе, ОИЯИ, Р9-5498, Дубна 1971 г.
8. А.А.Глазов, В.А.Кочкин, М.М.Семенов. Экспериментальные исследования по стабилизации напряжения на модели высокочастотной системы циклотрона, III-е рабочее совещание по изохронному циклотрону У-120М, 1973 г. Р9-7339, Дубна (1973).

Рукопись поступила в издательский отдел  
27 ноября 1973 года.