

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



С 345Г1

Г-524

2623/2-78

19/vi-78

9 - 11345

А.А.Глазов, В.А.Кочкин, М.М.Семенов,

Е.Старжевский

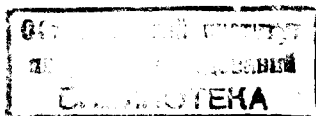
СИСТЕМА ПРОГРАММНОЙ ПЕРЕСТРОЙКИ  
И АВТОМАТИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКИ  
НА РАБОЧУЮ ЧАСТОТУ ДУАНТНОГО КОНТУРА  
ЦИКЛОТРОНА У-120М

**1978**

9 - 11345

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

СИСТЕМА ПРОГРАММНОЙ ПЕРЕСТРОЙКИ  
И АВТОМАТИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКИ  
НА РАБОЧУЮ ЧАСТОТУ ДУАНТНОГО КОНТУРА  
ЦИКЛОТРОНА У-120М



Глазов А.А. и др.

9 - 11345

Система программной перестройки и автоматической настройки на рабочую частоту дуантного контура циклотрона У-120М

Описана система программной перестройки и автоматической настройки на рабочую частоту дуантного контура циклотрона У-120М, предназначенного для ускорения различных ионов в широком диапазоне энергий, что связано с глубоким изменением частоты ускоряющего высокочастотного поля. Возможность глубокой перестройки частоты дуантного контура У-120М (в рабочем диапазоне частот 9-27 МГц) и ее плавной настройки обеспечивается наличием подвижных панелей и триммерных конденсаторов значительной емкости. Рабочая частота (точка настройки) в первом случае определяется положением ручек декадного синтезатора, а датчиком сигнала ошибки системы автоматической подстройки частоты является фазовый детектор.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Glasov A.A. et al.

9 - 11345

A System of Program and Automatic Tuning to Operation Frequency of the U-120M Cyclotron Duant Contour

A system of program and automatic tuning to rf accelerating system of the U-120M isochronous cyclotron is described. The possibility to change the frequency in a broad band and tune it precisely is based on using two systems for changing the frequency: moving panels and trimming condensers with high maximum capacity. The operation frequency (panel position) is determined by a frequency synthesizer. In a feedback system the phase detector is used. It is possible to tune the system in all frequency band (9 to 27 Mc/s) by five removing of the panels.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

Для обеспечения ускорения широкого спектра частиц при плавном изменении их энергии путем изменения магнитного поля в изохронных циклотронах высокочастотная система должна быть широкодиапазонной и плавно перестраиваемой.

В известных высокочастотных системах для этой цели используют резонаторы в виде четвертьволновых /полуволновых/ резонансных линий с подвижной закороткой <sup>1/1/</sup> или панельной бесконтактной перестройкой частоты <sup>2/</sup>.

Недостатком панельной системы с бесконтактными "ломающимися" панелями является невозможность плавной, а тем более автоматической, перестройки в широком диапазоне частот, так как элементы перестройки являются грубыми, сильно влияющими на резонансную частоту и не обеспечивающими достаточной геометрической повторяемости и плавности перемещения. Это, в свою очередь, не позволяет плавно изменять энергию ускоренных частиц.

В циклотроне У-120М указанная цель достигается тем, что в резонаторе установлены передвижные панели с разжимными контактами и многопластинчатые триммерные конденсаторы с емкостью, близкой к емкости дуанта <sup>3/</sup>. Система автоматического электронного управления перемещением указанных элементов и петли связи в зависимости от частоты задающего генератора обеспечивает плавное изменение энергии ускоренных частиц. Диапазон частот дуантного контура /8,5-26,6/ МГц разбит на пять поддиапазонов грубой перестройки с помощью панелей <sup>4/</sup>. Для каждого из фиксированных поло-

жений панелей имеются программы, связывающие положение триммеров и петли связи с резонансной частотой высокочастотной системы. В качестве датчиков положений используются многооборотные потенциометры, а задание положения /рабочей частоты/ осуществляется от синтезатора частоты, декадные переключатели которого, определяющие частоту, однозначно связаны с энергией ускоренных частиц при резонансном поле и являются единственным органом управления. Точная подстройка частоты резонансной системы осуществляется с помощью системы автоматической подстройки частоты /АПЧ/ с фазовым детектором.

На рис. 1 показана широкодиапазонная высокочастотная резонансная система /ВЧРС/ циклотрона У-120М.

Перемещение панелей, триммеров и петли связи по специальным программам производится электромоторами от управляемых тиристорных выпрямителей. На рис. 2 приведена функциональная схема программной перестройки и автоматической настройки ВЧРС.

При наборе частоты в задающем генераторе одновременно автоматически устанавливаются уровни напряжений в программах, соответствующие набранной частоте. Напряжение от программ и датчиков положений поступает на вход дифференциальных усилителей постоянного тока /УПТ/, выполненных на микросхемах К1УТ401Б /рис. 3/. Датчики положений - многооборотные потенциометры типа ПМЛ-М10К посредством зубчатых редукторов жестко связаны с валами двигателей.

Напряжение датчиков используется и для индикации положения передвигаемых систем ВЧРС с помощью цифрового вольтметра. Зависимость напряжения датчиков положений от частоты гладкая, с нелинейностью по диапазону  $\sim 10 \div 20\%$ .

Для автоматического управления перемещением систем ВЧРС служат однотипные электронные схемы управления /рис. 4/, выполненные на транзисторах и интегральных схемах.

Двуполярный сигнал после УПТ поступает на вход различителей знака /триггеры Шмитта/ на (p-n-p)- и (n-p-n)-транзисторах. В системе регулирования с непосредственной связью и достаточно малой постоянной

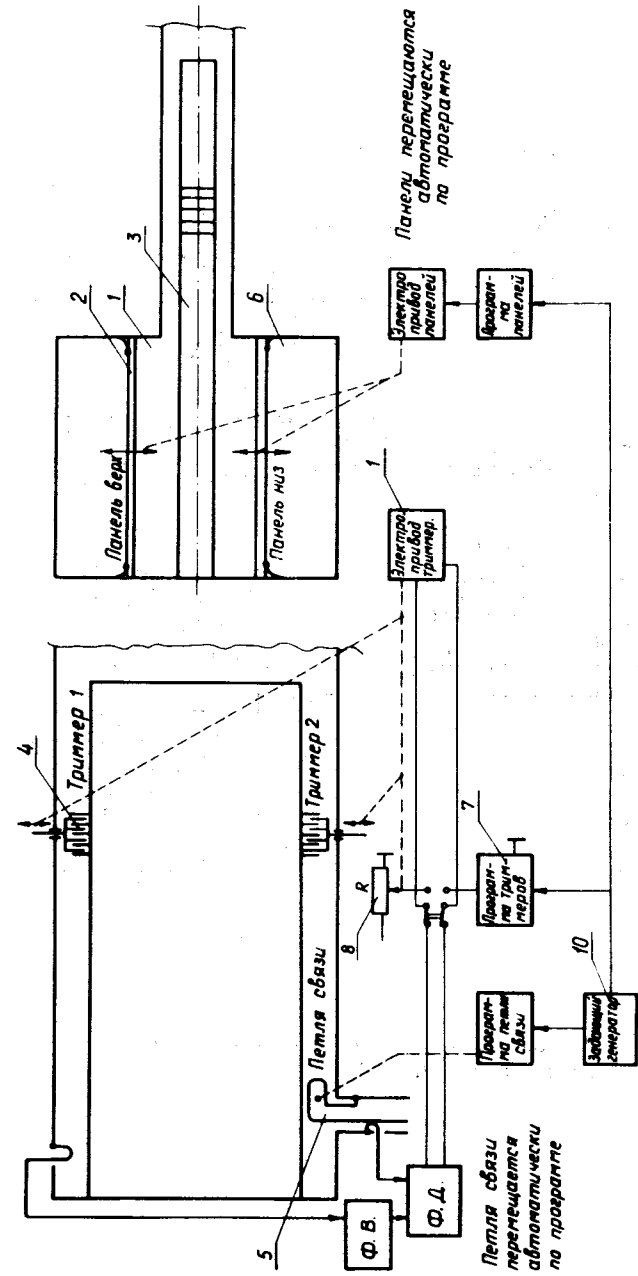


Рис. 1. Широкодиапазонная высокочастотная резонансная система циклотрона У-120М.

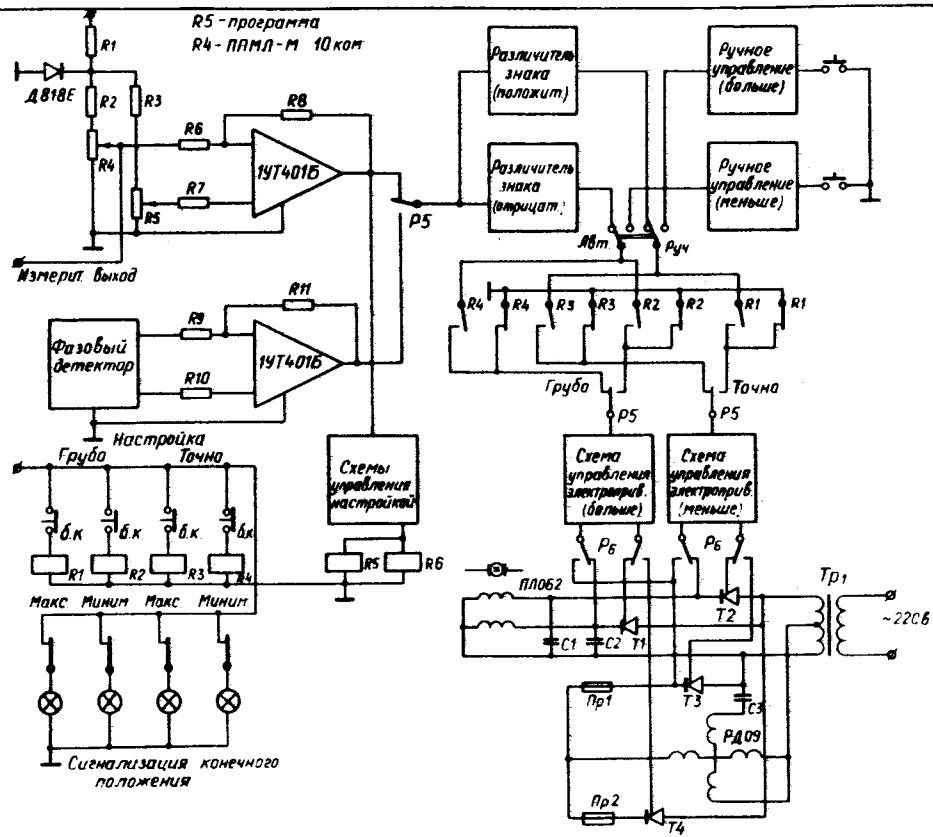


Рис. 2. Функциональная схема программной перестройки и автоматической настройки ВЧРС.

Контр.	Цель	Адрес
А1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
36		
37		
38		
39		
40		
41		
42		
43		
44		
45		
46		
47		
48		
49		
50		
51		
52		
53		
54		
55		
56		
57		
58		
59		
60		
61		
62		
63		
64		
65		
66		
67		
68		
69		
70		
71		
72		
73		
74		
75		
76		
77		
78		
79		
80		
81		
82		
83		
84		
85		
86		
87		
88		
89		
90		
91		
92		
93		
94		
95		
96		
97		
98		
99		
100		

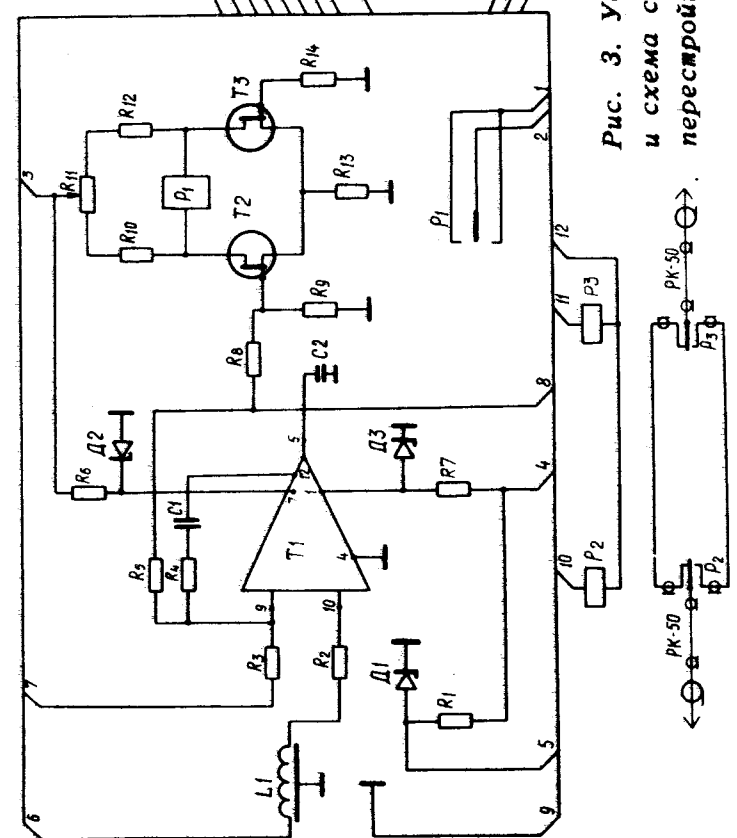


Рис. 3. Усилитель постоянного тока и схема слежения программной перестройки ВЧРС.

Фазосдвигающая цепь

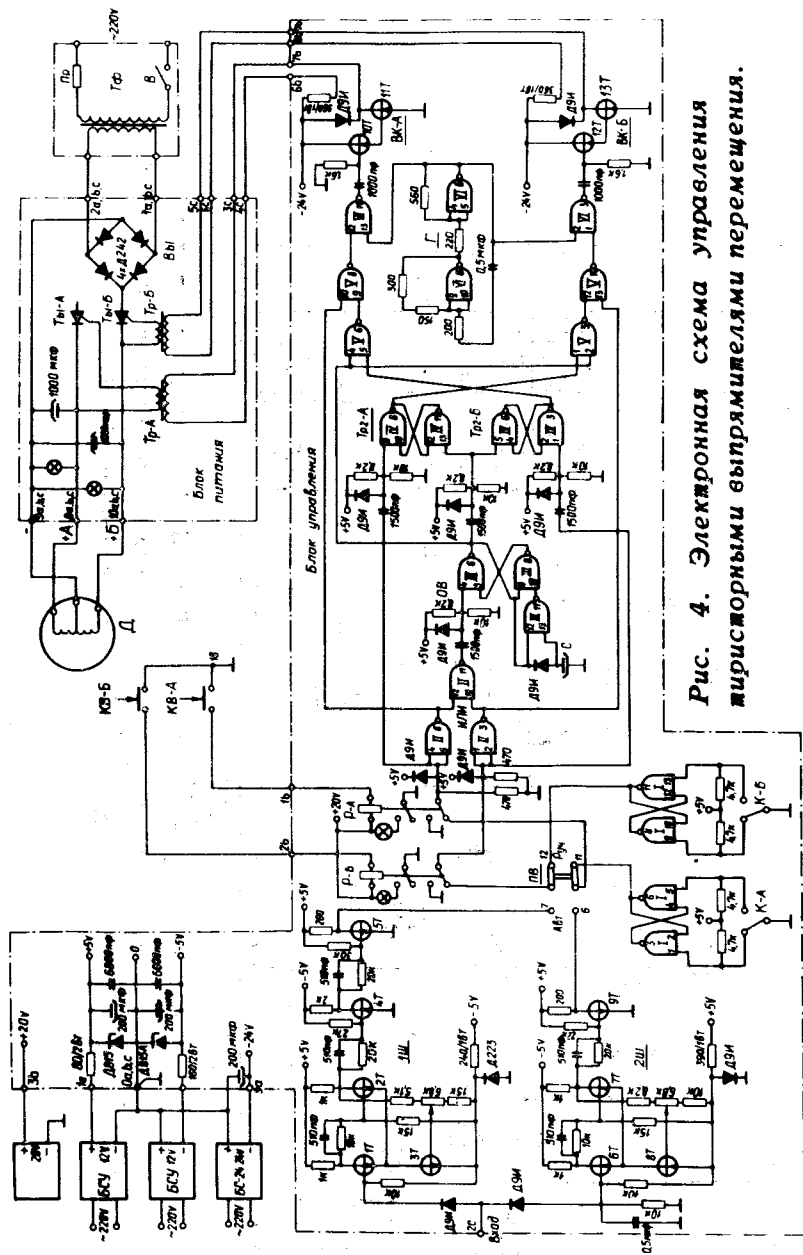


Рис. 4. Электронная схема управления тиристорными выпрямителями перемещения.

времени триггер Шмитта чувствителен к помехам по переменному току, наложенным на сигнал постоянного тока. За время работы привода триггер может несколько раз изменить свое состояние от помехи, противоположной сигналу полярности, что приводит к автоколебаниям системы. Для устранения этого недостатка вместо резистора  $R_3$  в цепи эмиттеров триггера поставлен транзистор  $T_3$  с управлением по базе из коллекторной цепи транзистора  $T_2$ , открытого в нормальном состоянии. При переходе триггера в другое состояние напряжение коллектор-эмиттер транзистора  $T_3$  уменьшается, отчего транзистор  $T_1$  входит в насыщение в большей степени. Если  $\Delta U_k(T_3) > U_n$ , то автоколебания в системе за счет помехи переменного тока отсутствуют, в то же время динамическое сопротивление в цепи эмиттеров триггера возрастает, что приводит к более устойчивой работе. На выходе различителя знака схема управления имеет два одинаковых канала логических схем, пропускающих при наличии входного сигнала прямоугольные импульсы от генератора-мультивибратора для запуска тиристоров выпрямителя. Частота колебаний генератора -  $\sim 1000$  Гц.

Для устранения автоколебаний регулирующей системы за счет инерции двигателей и повышения точности обработки предусмотрено искусственное торможение двигателей встречным импульсом тока. Длительность встречного импульса тока регулируется, что позволяет использовать эту схему управления для различных двигателей и редукторов.

Система автоматической подстройки частоты ВЧРС выполнена на полупроводниковых диодах Д18 с УПТ на микросхеме К1УТ401Б /рис. 5/. Корректировка фазового сдвига достигается во всем диапазоне частот путем переключения отрезков радиокабеля посредством реле типа РЭС-6, управляемых от задающего генератора. Сигналы для фазового детектора снимаются с двух петель, установленных в районе закоротки и на фидере у петли связи. Подстройка ВЧРС емкостная, с помощью триммера  $\Delta f = \pm 50$  кГц/. Переход от грубой программной настройки к АПЧ осуществляется автоматически

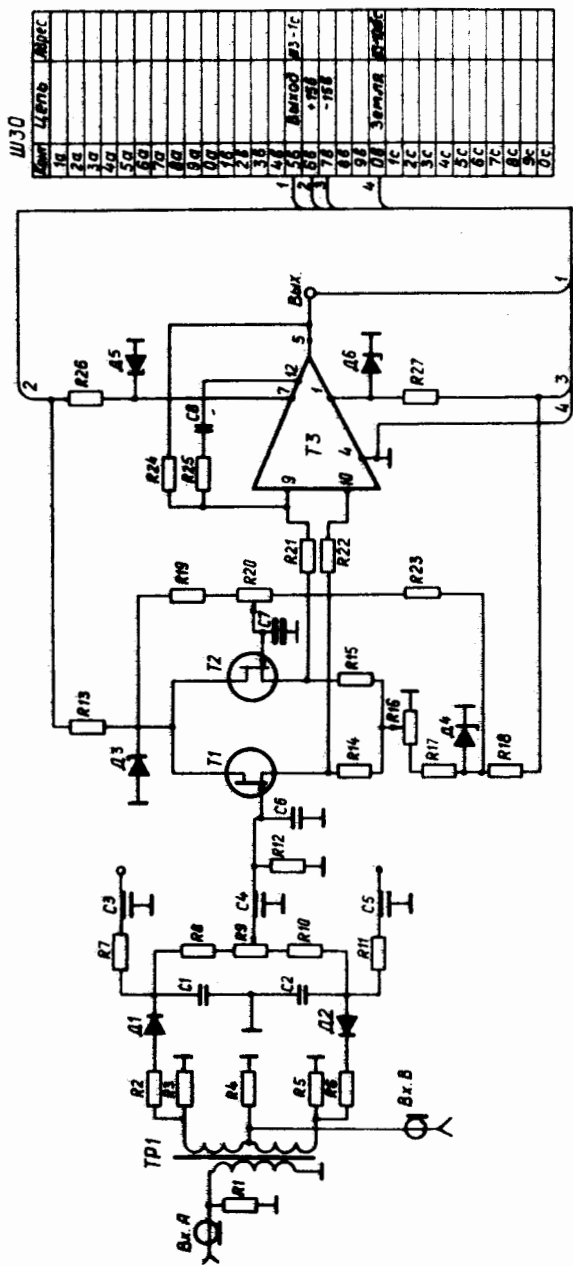


Рис. 5. Схема фазовой автоподстройки ВЧРС.

схемой слежения за уровнем выходного напряжения УПТ программной перестройки.

Программы для перемещения панелей и петли связи выполнены на диодных матрицах и реле с активными делителями с шагом 100 кГц. Они входят в комплект задающего генератора. Триммерная программа настройки ВЧРС выполнена на активных резисторах СП5-1ВА и реле с шагом 10 кГц. Реле в том и другом случае управляются переключателями задающего генератора. Триммерная программа выполнена по принципу изменения величины R при постоянном стабилизированном источнике тока. Величину сопротивления в требуемой точке программы определяют уровни целых МГц, к каждому уровню целых МГц подключаются по десять отличающихся друг от друга уровней сотен кГц, а к каждому уровню сотен кГц подключается одна и та же декада десятков кГц с коррекцией по току от второго источника тока.

Передвижение панелей может быть осуществлено только при разжатых закорачивающих устройствах, а ускоряющее напряжение от генератора может быть подано только при зажатых закорачивающих устройствах. Зажатие и разжатие производится от гидравлического стенда. Разрешение на передвижение панелей или подачу напряжения осуществляют микровыключатели, установленные на закорачивающих устройствах по всему периметру обеих панелей.

Для контроля за ускоряющим напряжением используется емкостный делитель, верхнее плечо которого образовано емкостью электрода датчика с боковой кромкой дуанта вблизи ускоряющей щели, а второе плечо - постоянной конструктивной емкостью по отношению к земле и подстроечным триммерным конденсатором.

При использовании лампового детектора, допускающего установку в полях ионизирующих излучений, высокочастотный /ВЧ/ сигнал может быть протектирован непосредственно у емкостного делителя, и при этом единственным требованием к нему является обеспечение необходимой величины и постоянства коэффициента деления. Однако для обеспечения возможности использо-

вания полупроводниковых детекторов или наблюдения за ВЧ-сигналом с помощью осциллографа необходимо передавать ВЧ-сигнал от делителя по кабелю на значительное расстояние. Второе плечо делителя становится комплексным, и для осуществления передачи сигнала с малыми ошибками в диапазоне частот к элементам делителя предъявляются дополнительные требования.

В У-120М возможно трехкратное перекрытие по частоте, и чтобы при этом ошибка деления не превышала  $\pm(a \ll 1)$ , должно выполняться условие

$$(x_2/R)^2 \leq 1/\left[\frac{2}{a} + 2a - 5\right],$$

где  $x_2 = 1/\omega_{\text{макс}} C_2$ ,  $C_2$  - емкость второго плеча делителя,  $R$  - сопротивление, параллельное  $x_2$ .

Поскольку конструктивно сделать  $C_2$  значительной величины затруднительно, для передачи напряжения делителя целесообразно использовать кабель с большим волновым сопротивлением. В принятом делителе  $C_1 = 0,3 \text{ пкФ}$ , волновое сопротивление кабеля -  $100 \text{ Ом}$ . Сопротивление  $R$  состоит из двух частей:  $100 \text{ Ом}$  на входе кабеля непосредственно у делителя и такая же нагрузка на конце. При суммарном коэффициенте деления  $1/2500 / 20 \text{ В}$  на выходе/ мощность, рассеиваемая на каждом из сопротивлений, составляет  $2 \text{ Вт}$ . Емкость второго плеча -  $370 \text{ пкФ}$ , ошибка, связанная с частотной зависимостью коэффициента деления, -  $\pm 1,3\%$ .

Более значительной и, практически, неустраняемой является ошибка, связанная с различным затуханием в кабеле на разных частотах диапазона. При частотах, характерных для У-120М, коэффициент затухания  $\sim \sqrt{f}$  и составляет  $\sim 5 \cdot 10^3 \text{ неп./метр}$  для средней частоты  $f/5$ .

В этом случае при длине кабеля  $30 \text{ м} \leq l \leq 100 \text{ м}$  ошибка изменяется от  $\pm 3,8\%$  до  $\pm 13\%$ .

После детектора измеряемое напряжение подается на УПТ с глубокой обратной связью /рис. 6/.

Постоянные времени детектора позволяют получать огибающую ВЧ-напряжения при импульсной модуляции. Напряжение с нагрузки детектора подается на электронную схему, содержащую накопительный конденсатор  $C_{13}$ ,

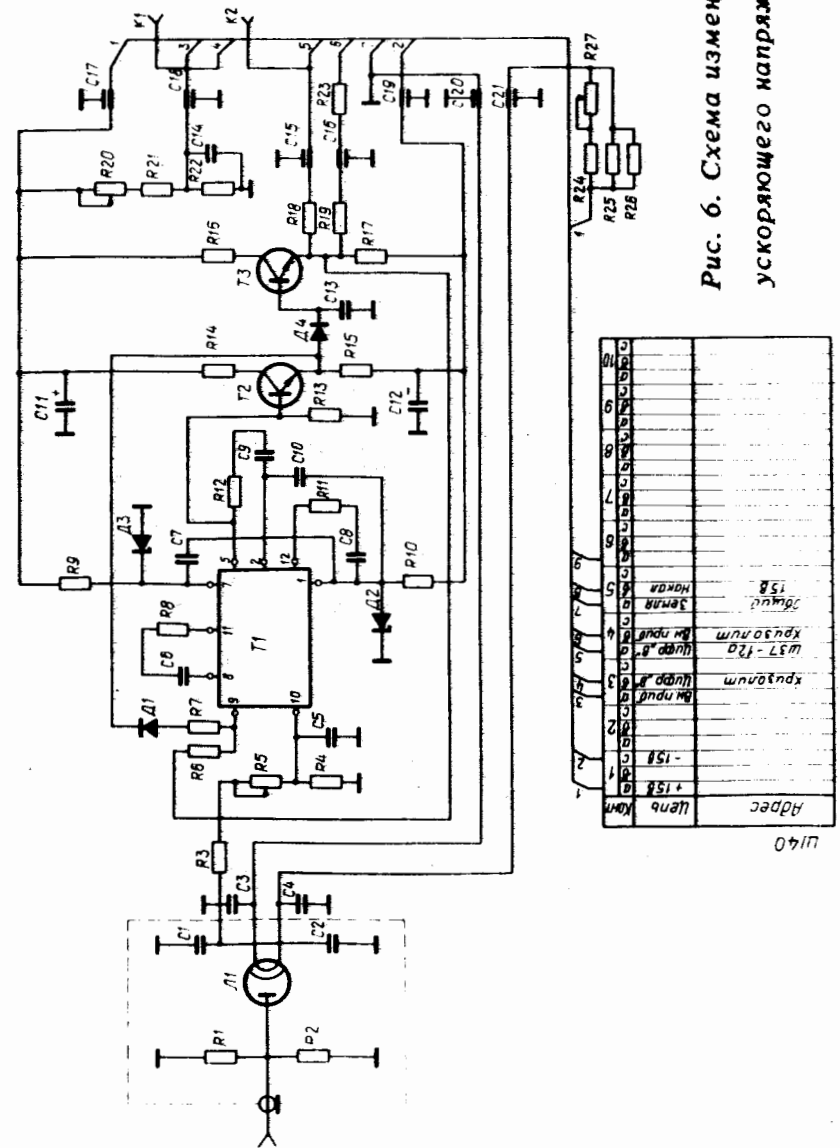


Рис. 6. Схема изменения ускоряющего напряжения.



который заряжается до амплитудного значения как в непрерывном режиме, так и при импульсной модуляции. Таким образом, схема позволяет измерять ускоряющее напряжение как в непрерывном режиме, так и в импульсном с максимальной скважностью. Нижняя частота модуляции  $F_{\text{мод. н.}} = 25 \text{ Гц}$ ; минимальная длительность импульса  $\tau_{\text{мин.}} = 0,5 \text{ мс}$ , при этом погрешность измерения возрастает не более чем на 2%. Максимальное выходное напряжение 5,0 В соответствует 50 кВ амплитудного значения ускоряющего напряжения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Jones R.J. e.a. *Nucl.Instr.and Meth.*, 1962, v.18,19, p.46.
2. Smith В.Н. e.a. *Nucl.Instr. and Meth.*, 1962, v.18, 19, p.184.
3. Глазов А.А. и др. В кн.: *Материалы Рабочего совещания по изохронному циклотрону У-120М. ОИЯИ, Р9-5498, Дубна, 1971, с.49.*
4. Глазов А.А., Кочкин В.А., Семенов М.М. В кн.: *Материалы III-го Совещания по изохронному циклотрону У-120М и его использованию для решения физических проблем. ОИЯИ, Р9-7339, Дубна, 1973, с.129.*
5. Белоруссов Н.И., Гроднев И.И. *Радиочастотные кабели. Госэнергоиздат, М., 1959.*

Рукопись поступила в издательский отдел  
22 февраля 1978 года.