

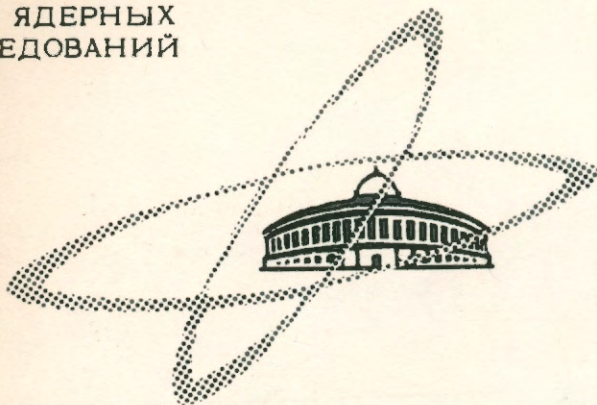
2378

ЭНА ЧИТ. ЗАЛА

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2378



Ю.Н. Денисов, С.А. Ивашкевич, В.В. Калининченко

СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ ПОСТОЯННОГО ТОКА
С ДАТЧИКОМ НА ЭПР

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1965

2378

Ю.Н. Денисов, С.А. Ивашкевич, В.В. Калининченко

СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ ПОСТОЯННОГО ТОКА
С ДАТЧИКОМ НА ЭПР

Направлено в ПТЭ

Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ

В настоящее время в экспериментальной ядерной физике и ускорительной технике широко используются различные электромагниты с токами возбуждения от единиц до нескольких тысяч ампер. Для их питания необходимы стабилизированные источники постоянного тока с плавной регулировкой величины тока в нагрузке I_H в широком диапазоне значений. Обычно требуемая стабильность I_H лежит в пределах $0,01 \pm 0,001\%$.

Наиболее широко для этой цели используются источники питания с системами стабилизации, в которых величина стабилизируемого тока контролируется по падению напряжения на эталонном сопротивлении (шунте). Имеются и промышленные образцы устройств подобного типа. В измерительных элементах таких стабилизаторов производится сравнение падения напряжения на шунте с эталонным напряжением (обычно э.д.с. нормального элемента). Однако при разработке высокостабильных систем питания на сотни и тысячи ампер очень трудно создать достаточно стабильные шунты из-за большой мощности (до нескольких киловатт), рассеиваемой этими сопротивлениями. Необходимо отметить также, что сигнал ошибки в этом случае получается на постоянном токе, а трудности создания высокочувствительных стабильных усилителей постоянного тока хорошо известны.

В описываемой системе стабилизации, блок-схема которой приведена на рис. 1, величина тока I_H контролируется по напряженности магнитного поля, создаваемого специальным небольшим электромагнитом, через обмотки которого пропускается измеряемый ток. Схематический чертеж датчика тока показан на рис. 2. Напряженность магнитного поля между полюсными наконечниками (2) измерительного электромагнита V_M зависит от тока, протекающего через обмотки магнита (3), числа витков в обмотках, величины зазора между полюсными наконечниками и степени связи имеющегося в датчике постоянного магнита (1) с магнитной системой измерительного электромагнита. Следовательно, V_M состоит из двух компонент - поля от постоянного магнита V_{II} и поля V_T , создаваемого протекающим по катушкам стабилизируемым током I_H . Естественно, что магнитные поля V_{II} и V_T могут включаться как согласно, так и встречно, то есть $V_M = V_T \pm V_{II}$.

Таким образом, при стабильных размерах зазора и заданной магнитной связи с постоянным магнитом задача стабилизации тока I_H сводится к стабилизации магнит-

ного поля V_M в зазоре измерительного электромагнита. Если поле V_M поддерживается постоянным и равным V_{M_0} , то, поскольку $V_T = f(I_H)$, величину стабилизируемого тока I_H можно изменять, меняя компоненту поля V_{II} , то есть регулируя связь постоянного магнита с магнитной системой датчика тока.

Измерение напряженности магнитного поля в зазоре измерительного электромагнита производится при помощи электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). В датчике используется поглощающая камера (6), описанная в работе ^{1/}. Подобные системы измерения тока по ЯМР обсуждались в работах ^{2,3/}, однако использование ЭПР представляется более целесообразным, поскольку сигналы электронного парамагнитного резонанса значительно интенсивнее сигналов ядерного магнитного резонанса, а мнение о трудности применения сверхвысокочастотной техники является в настоящее время несостоятельным. Выпускаемые промышленностью клистронные генераторы являются удобными и надежными приборами. Серьезным достоинством ЯМР является малая ширина линии поглощения. Например, для воды с добавкой небольшого количества парамагнитных ионов $\Delta V_{ЛЭ} (0,1 \div 1,0) \cdot 10^{-4}$ тл. Резонансная линия дифенилпикрилгидразила, наиболее широко применяемого при наблюдении ЭПР рабочего вещества, в несколько раз шире. Однако для системы стабилизации важны как относительная ширина резонансной линии $\Delta V_{Л} / V$ так и отношение сигнал-шум, поскольку в конечном итоге разрешение измерителей магнитного поля, основанных на ЯМР или ЭПР, при регистрации максимума резонансной кривой по моменту перехода производной сигнала через нуль, определяется выражением

$$\delta_M \approx \Delta V_{Л} / k_0 V,$$

где δ_M - величина случайной погрешности в определении момента экстремума сигнала поглощения, V - величина измеряемого магнитного поля, k_0 - отношение амплитуды резонансного сигнала после дифференцирования к уровню шумов. Величина стабилизируемого поля V_{M_0} выбрана равной 0,13 тл, следовательно, при измерении поля датчиком на ЭПР с дифенилпикрилгидразидом в качестве рабочего вещества ($\Delta V_{Л} \approx 6 \cdot 10^{-4}$ тл) и обычном значении $k_0 \geq 200$ случайная погрешность измерений $\delta_M \leq 3 \cdot 10^{-3} \%$.

Чувствительность датчика тока зависит, кроме того, от соотношения величин полей V_T и V_{II} , а также от способа их включения (согласно или встречно). Если принять для диапазона магнитных полей $0 \div 0,2$ тл линейную зависимость поля V_T от тока через обмотку I_H , т.е. что $V_T = c I_H$, то относительное изменение магнитного поля $\Delta V_M / V_M$ в зазоре измерительного электромагнита будет связано с относительным изменением тока в нагрузке $\Delta I_H / I_H$ следующими соотношениями:

$$\Delta V_M / V_M = \frac{\Delta I_H / I_H}{1 + V_{II} / V_T} \quad - \text{согласное включение,}$$

$$\Delta V_M / V_M = \frac{\Delta I_H / I_H}{1 - V_{II} / V_T} \quad - \text{встречное включение.}$$

Таким образом, чувствительность датчика тока, а следовательно, и степень стабилизации существенно изменяются при перестройке величины стабилизируемого тока. При согласном включении полей V_{II} и V_T чувствительность датчика уменьшается с увеличением V_{II} (рассматривается, естественно, случай, когда $V_M = V_{M_0} = \text{const}$), а при встречном - увеличивается. Это необходимо учитывать при конструировании датчика и выборе диапазона регулирования тока.

Одним из основных факторов, определяющих точность стабилизации тока, является стабильность параметров магнитной системы датчика. Поскольку характеристики магнитной системы (размеры магнитопровода, величины зазоров, величина компоненты магнитного поля V_{II} и т.д.) сильно зависят от температуры, в конструкции датчика должна быть предусмотрена жесткая фиксация зазоров и температурная стабилизация, либо термокомпенсация основных компонент магнитной системы. В датчике, фотография которого показана на рис. 3, полюса магнита (2); анкерные болты, фиксирующие величину зазора; катушки (3); постоянный магнит (1) и пластина, на которой монтируется механизм перемещения постоянного магнита, обтекаются термостатированной водой, поступающей из термостата ТС-15.

Для ослабления влияния внешних магнитных полей датчик экранирован.

Поглощающая камера, при помощи которой наблюдается электронный парамагнитный резонанс представляет собой резонатор проходного типа, в котором размещен образец из дифенилпикрилгидразила. Схематический чертеж камеры приведен на рис. 4. Резонатор настроен на частоту ≈ 3700 Мгц и имеет добротность ≈ 350 . Образец (4) объемом $\approx 6 \text{ мм}^3$ помещается у закороченного конца внутреннего спирального проводника (3). Основные размеры резонатора $D = 2,5$ мм; $D_0 = 8$ мм; $L = 4,3$ мм; $L_0 = 12$ мм. Спираль намотана медным посеребренным проводом диаметром 0,5 мм. Число витков спирали $N = 3$.

Питается резонатор клистронным генератором, частота которого стабилизирована системой автоматической подстройки частоты (АПЧ). В качестве эталонного резонатора используется резонансный волномер типа ВСТ-10, имеющий на частоте ≈ 4000 Мгц температурный коэффициент частоты (ТКЧ) $\approx 0,8 \cdot 10^{-3} \%$ на 1°C . Принципиальная схема системы АПЧ показана на рис. 5. Для получения сигнала ошибки применяется неглубокая модуляция частоты клистронного генератора подачей на отражатель клистрона мо-

1. Ю.Н. Денисов, В.В. Калипиченко. ПТЭ, № 2, 134 (1965).
2. Д.М. Зорин, С.А. Спектор. Труды Ленинградского политехнического института, № 3, 45 (1959).
3. G.J.Berie, P.M.Denis, R.C.Extermann, Helv. Phys. Acta, 24, 633 (1951).

Рукопись поступила в издательский отдел
30 сентября 1965 г.

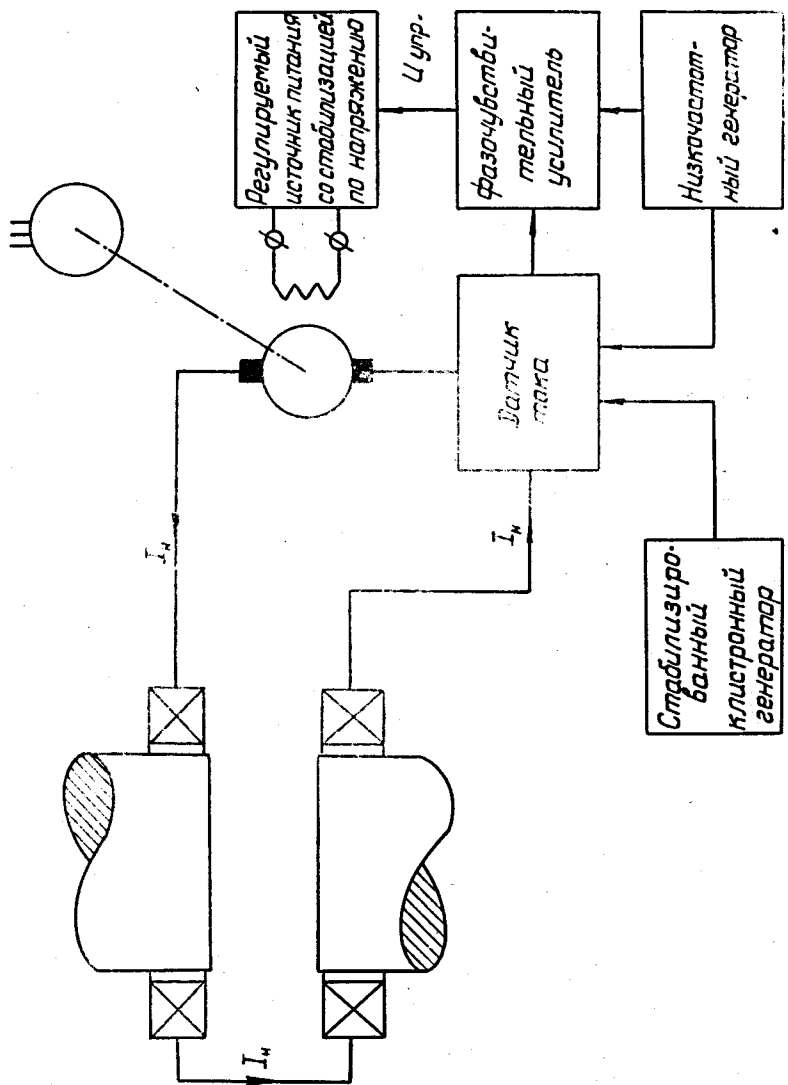
дулирующего напряжения с частотой 50 кГц и амплитудой 0,05 в. Генератор частоты 50 кГц (T_4) собран по схеме емкостной трехточки с колебательным контуром в цепи коллектора. Напряжение модуляции подается на отражатель через разделительный трансформатор. Цепочка C_9, R_{13} с обмоткой трансформатора Tr_3 образует фазоинвертер. Резонансный усилитель каскадного типа с трансформаторным выходом (T_1, T_2) имеет усиление $\approx 10^3$. Фазочувствительный усилитель ($T_3, D_1 \div D_4$) при коэффициенте преобразования 40 линеен в пределах ± 10 в выходного напряжения. Питание фазочувствительного усилителя осуществляется двухтактным трансформаторным каскадом (T_6, T_7).

Принципиальная схема тракта детектирования и усиления резонансного сигнала ЭПР приведена на рис. 6. Магнитное поле в зазоре измерительного электромагнита модулируется с частотой 5 кГц двумя последовательно включенными катушками (L_1 и L_2). Питаются модулирующие катушки усилителем мощности (T_4, T_5). Генератор частоты 5 кГц выполнен по схеме емкостной трехточки на триоде T_6 . Сигнал с детектора D_5 поступает на резонансный усилитель (T_1), коэффициент усиления которого равен ≈ 100 , а затем на вход фазочувствительного усилителя ($T_2, D_1 \div D_4$). С выхода фазового детектора управляющее напряжение $U_{упр}$ через корректирующие RC-цепочки, поступает на вход регулируемого источника питания, характеристики и схема которого определяются параметрами нагрузки.

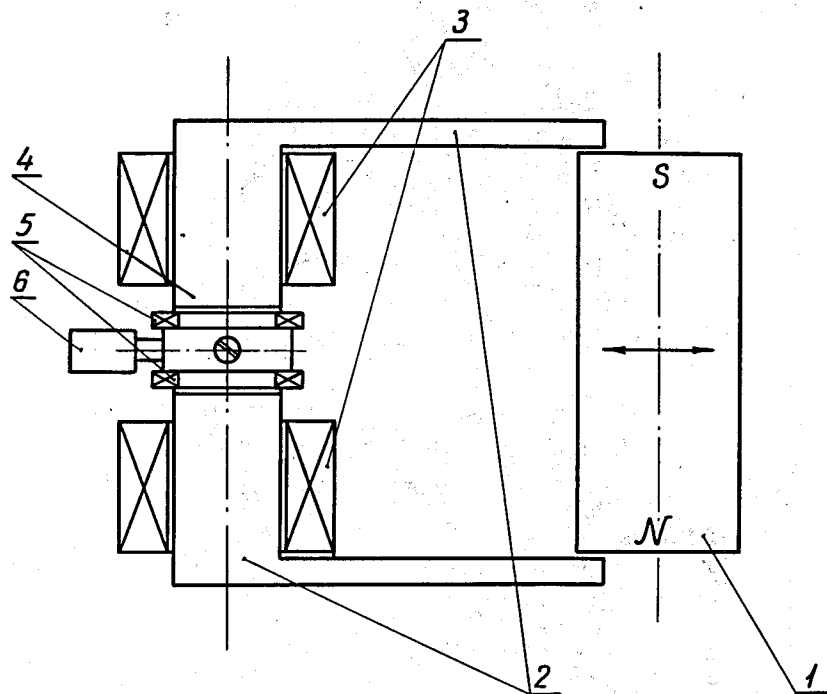
Описываемый датчик испытывался в ряде систем питания электромагнитов с токами I_H от нескольких ампер до нескольких сотен ампер. В конструкции датчика, показанной на рис. 3, катушки выполнены из медной трубки размерами $7 \times 1,5 \text{ мм}^2$. В каждой катушке 10 витков. Магнитное поле от постоянного магнита B_{II} изменяется в диапазоне от 0,01 до 0,07 тл путем перемещения магнита между скошенными наконечниками магнитной системы измерительного электромагнита. Изменение B_{II} , а следовательно, и стабилизируемой величины тока нагрузки I_H может производиться как вручную, так и дистанционно при помощи реверсивного электромотора любого типа. Для пары катушек с названными параметрами рабочий диапазон токов I_H составляет 60-180 а при согласном и 150-300 а при встречном включении полей B_T и B_{II} . Изменение диапазона стабилизируемых токов производится переключением числа витков в катушках.

Длительные испытания системы стабилизации с описанным датчиком тока (в течение 4 месяцев по 8-10 часов в день) показали, что через 1,5-2 часа после включения нестабильность тока I_H не превышает $\pm 4 \cdot 10^{-3} \%$ за 8-8 часов работы. Коэффициент стабилизации равен ≈ 400 .

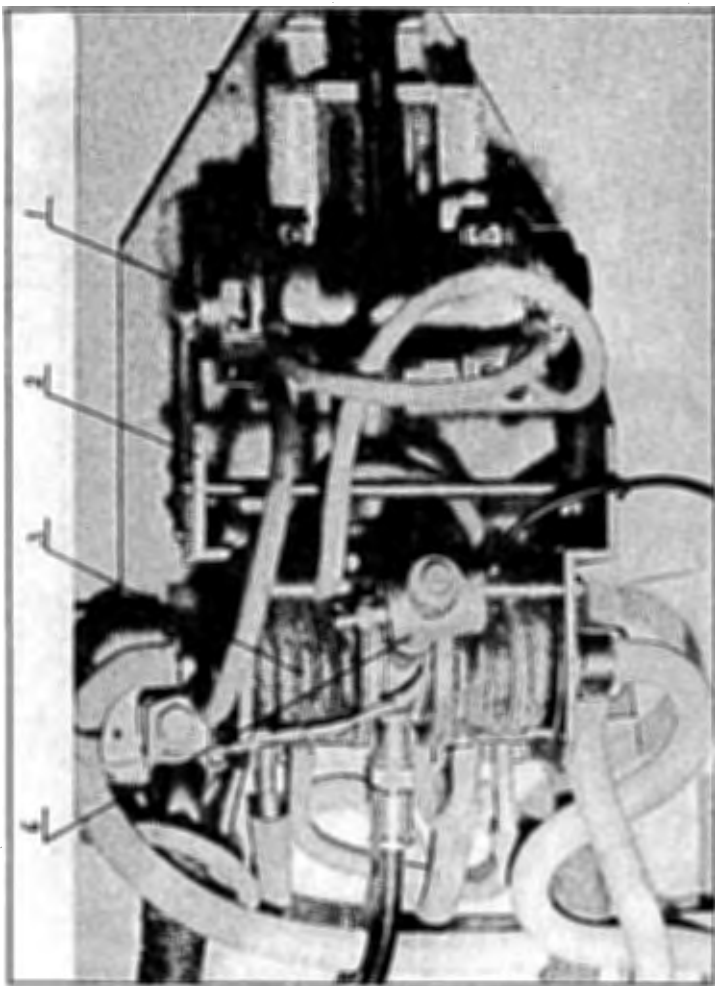
В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность М.Г. Акимову, И.А. Каплину, А.Н. Кокореву и Х.Ф. Салахатдинову за помощь в изготовлении элементов и монтаж описанных схем.



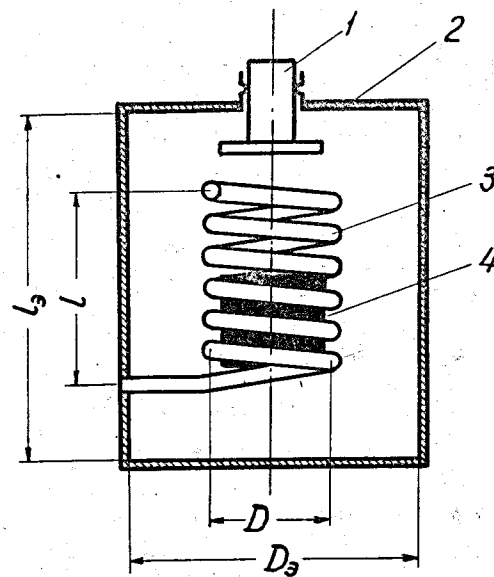
Р и с. 1.



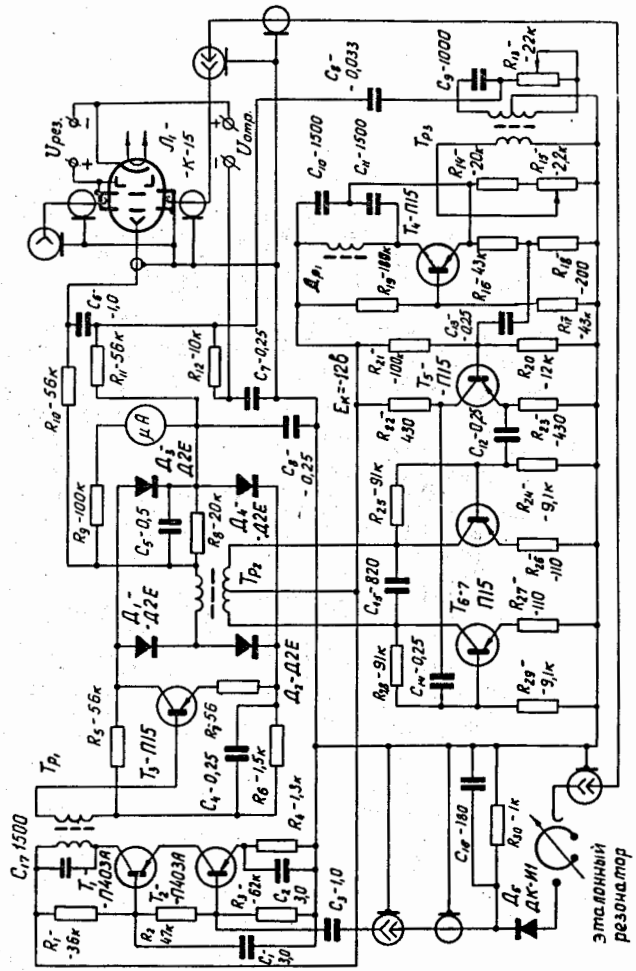
Р и с. 2



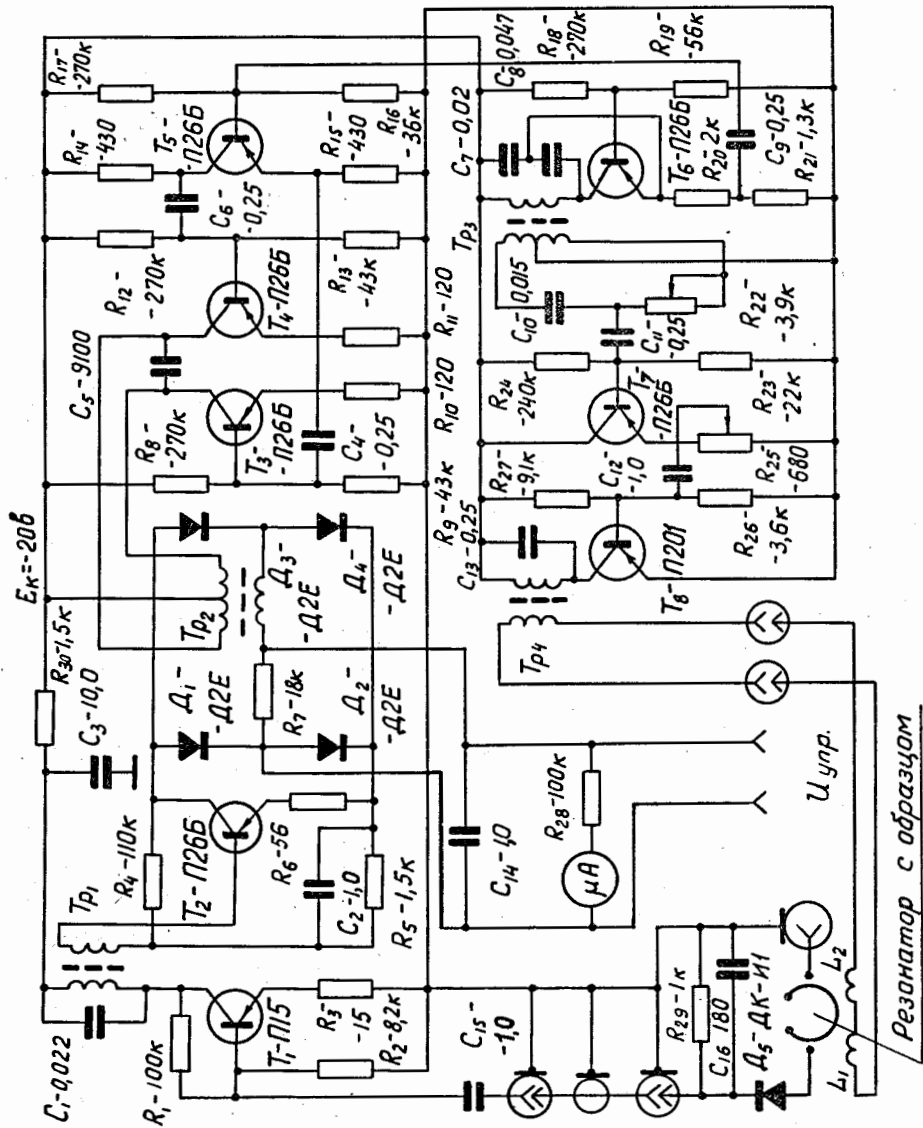
Р и с. 3



Р и с. 4



Р и с. 5



Р и с. 6