

2204

№ кат. зал

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2204



Ю.Н. Денисов, А.Г. Комиссаров, В.И. Прилипко,
Ю.И. Сусов, П.Т. Шишлянников

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОННО-СЧЕТНАЯ СИСТЕМА
УСТАНОВКИ И СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ
ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1965

2204

Ю.Н. Денисов, А.Г. Комиссаров, В.И. Прилипко,
Ю.И. Сусов, П.Т. Шишляников

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОННО-СЧЕТНАЯ СИСТЕМА
УСТАНОВКИ И СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ
ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Направлено в ПТЭ

**Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ**

Для ряда радиотехнических устройств, например для прецизионных ядерных стабилизаторов напряженности магнитного поля, калибровочных стендов и т.д., необходимы стабильные высокочастотные генераторы с высокой точностью установки частоты и плавным перекрытием широкого диапазона частот. Требования длительной высокой стабильности ($\approx 10^{-3}\%$) и диапазонности для обычных типов генераторов являются взаимно исключаемыми. Однако кратковременная стабильность (в течение десятых долей секунды и даже нескольких секунд) многих высокочастотных генераторов достаточно высока и достигает $10^{-3} \div 10^{-4}\%$. Это обстоятельство и было использовано при разработке описываемой системы установки и стабилизации частоты обычных высокочастотных генераторов.

Блок-схема системы показана на рис. 1. Принцип работы прибора основан на периодическом сравнении с эталонным временным интервалом $\Delta t_{\text{э}}$ времени $\Delta t_{\text{т}}$, необходимого для заполнения регистра счетных декад № № 1 ÷ 8 (с регулируемым объемом) импульсами, следующими с устанавливаемой частотой $f_{\text{х}}$. Равенство этих времен поддерживается соответствующим воздействием через цепи обратной связи на параметры колебательного контура генератора. Времена $\Delta t_{\text{э}}$ и $\Delta t_{\text{т}}$ будут одинаковыми при частоте генератора, равной

$$f_{\text{х}} = \frac{N}{\Delta t_{\text{э}}},$$

где N — число импульсов, которое необходимо подать на вход регистра счетных декад для его полного заполнения. Объем регистра изменяется посредством предварительного (перед каждым заполнением) сброса декад не на ноль, а на число

$$N' = N_{\text{м}} - N,$$

где $N_{\text{м}}$ — максимальный объем регистра.

Таким образом, при изменении N' автоматически изменяется и частота генератора $f_{\text{х}}$, все время оставаясь равной

$$f_x = \frac{N_M - N'}{\Delta t_{\text{э}}} \quad (1)$$

Если эталонный временной интервал равен 1 сек, то величина $N_M - N'$ должна быть численно равна устанавливаемой частоте в герцах. Однако $\Delta t_{\text{э}}$ может иметь любую заданную величину. Например, при использовании прибора в качестве стабилизатора частоты автодинного детектора я.м.р. в ядерном стабилизаторе магнитного поля значительно удобнее число $N_M - N'$ набирать непосредственно в единицах поля - в эрстедах или теслах. В этом случае эталонный временной интервал должен быть равен

$$\Delta t_{\text{эм}} = \frac{2\pi}{\gamma_p} 10^k, \quad (2)$$

где γ_p - гиромагнитное отношение протона, k - целое число, определяющее длительность цикла накопления информации, а следовательно, и точность стабилизации частоты автодинного детектора я.м.р.

Выявленное при сравнении временных интервалов $\Delta t_{\text{э}}$ и Δt_T отклонение текущего значения частоты f_x от заданной величины f_{0x} ликвидируется цепями обратной связи двумя способами. "Грубая" обработка ошибки производится электромотором, вращающим через соответствующий редуктор конденсатор C резонансного контура генератора. "Точно" частота устанавливается при помощи варикапа C_B , на который с релейного преобразователя "код-напряжение" подается напряжение, пропорциональное ошибке.

Принципиальная схема прибора может быть разбита на ряд элементов и блоков, выполняющих в общем комплексе вполне определенные функции. Такими элементами являются:

1. Временной блок, включающий в себя декады №№ 1 ÷ 5, кварцевый генератор и триггеры №№ 1, 2 и 3.
2. Регистр счетных декад, к которому относятся, кроме счетных декад №№ 1 ÷ 6, двоичный делитель на 4, усилитель сброса, шесть переключателей сброса счетных декад и селектор № 1.
3. Схема "грубой" обработки ошибки с триггерами "знака" и "отработки", селекторами "знака" и "отработки", усилителями "+", "-", "отработка", реле ЗР1, ЗР2, ЗР3, а также с реверсивным электродвигателем.
4. Схема "точной" установки частоты, состоящая из схемы совпадений, триггера № 4, селектора № 2, двоичного счетчика на 128, релейного преобразователя "код-напряжение" и варикапа.

Во временном блоке формируется не только стабильный временной интервал $\Delta t_{\text{э}}$, но и ряд соответствующим образом распределенных во времени коммутационных импульсов, управляющих работой прибора. Логика работы системы стабилизации иллюстрируется временной диаграммой состояний отдельных функциональных элементов, показанной на рис. 2 и 3.

При помощи пяти декадных делителей временного блока частота опорного генератора (см. рис. 4) понижается до 10 гц. Период работы триггера, № 1 составляет 0,2сек, но его полупериоды неодинаковы по длительности. Положительным перепадом этого триггера запускается триггер № 3, управляющий селектором № 1. В момент времени t_1 селектор открывается, и на вход регистра счетных декад начинают поступать импульсы с частотой f_x . К моменту начала счета все декады регистра уже были сброшены на соответствующее число N' . Импульсы сброса поступают на триггеры декад через четырехплатные переключатели $\Pi_{21} \div \Pi_{26}$, выполняющие роль дешифраторов. Каждому из десяти положений переключателя соответствует определенная комбинация начальных состояний четырех триггеров в счетной декаде. Дешифрация выполнена таким образом, что переключателями $\Pi_{21} \div \Pi_{26}$ набирается непосредственно число, соответствующее устанавливаемой частоте в герцах или единицах магнитного поля. Импульс, возникающий на выходе последней, шестой, счетной декады в момент заполнения регистра, перекидывает триггер № 3, который закроет селектор № 1. Счет прекращается.

В зависимости от момента окончания счета, а следовательно, и степени соответствия частоты стабилизируемого генератора f_x заданному значению f_{0x} , включается "грубая" или "точная" система обработки ошибки. Рассмотрим принцип работы и построение системы "грубой" обработки ошибки. Эта система включается, если частота входного сигнала отличается от заданной более чем на 0,02%. Положительным перепадом триггера № 1 временная декада № 2, находящаяся в этот момент в положении "0", устанавливается в состояние "2". Таким образом, следующий полупериод триггера № 1 окажется короче 0,1 сек на 20 мксек. Отрицательным перепадом этого триггера перекидывается триггер № 2. В исходное состояние триггер № 2 возвращается через 40 мксек одним из импульсов, поступающих с частотой 10^4 гц на первый вход этого триггера со второй декады временного блока (см. рис. 2). Схема включения питания реверсивного электромотора, вращающего конденсатор в контуре генератора, построена на трех реле с нормально разомкнутыми контактами. Реле ЗР3 только разрешает включение мотора, а направление вращения (знак обрабатываемой ошибки) определяется состоянием реле ЗР1 и ЗР2, которые управляются через УПТ триггером знака. Состояние триггеров знака и отработки определяется временной комбинацией состояний и моментов переключения триггеров №№ 1, 2 и 3. Как показано на временной диаграмме (рис. 2), триггер отработки успевает включить реле ЗР3 только в том случае, когда момент конца счета (момент обратного переброса триггера № 3) не попадает во времен-

ной интервал между отрицательными перепадами триггеров № 1 и № 2. В этом случае селектор отработки, открываемый триггером № 2, не пропустит импульс конца счета для переброса триггера отработки в исходное состояние "выключено". Если же этот импульс пройдет через селектор отработки, то триггер отработки будет находиться в состоянии "включено" не более 40 мксек и реле ЗРЗ не сработает, поскольку его время включения (реле типа РСМ-1) больше одной миллисекунды. Направление вращения мотора зависит от того, раньше или позднее отрицательного перепада триггера № 1 закончилось заполнение регистра счетных декад.

Если длительность временного интервала Δt_T отличается от Δt_0 меньше чем на +20 мксек, то система "грубой" отработки не включается. В этом случае ошибка отработывается только "точной" системой установки частоты. Рассмотрим построение этого тракта обратной связи.

Импульс, соответствующий моменту полного заполнения регистра счетных декад, перебрасывает триггер № 4, открывая селектор № 2, через который на семиразрядный двоичный счетчик начинают поступать импульсы с кварцевого генератора. На второй вход триггера № 4 через $10^5 + 2560$ мксек от начала цикла измерения (t_1) поступает импульс с временного блока прибора (через схему совпадения), перебрасывающий этот триггер и закрывающий селектор № 2. Если время заполнения регистра счетных декад Δt_T точно равно эталонному времени $\Delta t_0 = 10^5$ мксек, то на двоичный счетчик объемом 128 единиц поступят $128 \times 20 = 2560$ импульсов (период следования импульсов 1 мксек), и, следовательно, код числа, содержащегося в счетчике до момента открытия селектора № 2, не изменится. Отклонение величины Δt_T от заданного значения эталонного временного интервала Δt_0 приведет к изменению кода в счетчике - хранящееся в нем число увеличится или уменьшится в зависимости от знака ошибки. С каждым разрядом двоичного счетчика кондуктивно связан разряд релейного преобразователя "код - напряжение", выполненного по схеме цифрового потенциометра. Напряжение с выхода преобразователя управляет емкостью варикапа C_B , включенного в контур генератора последовательно с согласующей емкостью C_A , позволяющей получить нужный "шаг" изменения результирующей емкости $\Delta C = \frac{\Delta C_B C_A}{C_B + C_A}$ при заданном "шаге" напряжения ΔU на цифровом потенциометре.

Если прибор используется для стабилизации частоты автодинного детектора я.м.р. (режим "стабилизация магнитного поля"), то, как уже указывалось, для удобства управления ядерным стабилизатором величина эталонного временного интервала должна быть изменена в соответствии с выражением (2). С другой стороны, для того, чтобы сохранить точность стабилизации такую же, как и в режиме "стабилизация частоты", необходимо иметь $\Delta t_{эм}$ приблизительно равным прежнему значению - 0,1 сек. Это достигается введением в регистр счетных декад дополнительной пересчетной схемы с коэффициентом деления $n = 4$ и некоторым изменением характеристик временного блока

и схемы "точной" отработки ошибки. Если временные декады сбрасываются на число 6080, а схема совпадения, управляющая триггером № 4, срабатывает при состоянии декад во временном блоке, соответствующем числу 280, то необходимый эталонный временной интервал будет равен 0,093 044 сек. Коммутация схемы совпадения, сброса временных декад и включение дополнительной пересчетной схемы производится общим переключателем

П. В остальной схеме прибора не изменяется, но переключателями $\Pi_{21} \div \Pi_{28}$ выбирается не значение стабилизируемой частоты в килогерцах ($f_{ох} \cdot 10^{-2}$), как в режиме "стабилизации частоты", а значение магнитного поля в эрстедах ($H_{ох} \cdot 10^2$). Следует отметить, что во втором случае минимальный "шаг" перестройки несколько увеличивается и составляет $4 \cdot 10^{-3}\%$ (0,01 эрстеда).

На рис. 4 показано схемное выполнение кварцевого генератора на 1 Мгц, селектора № 2 и двухкаскадного формирователя импульсов для запуска временной декады № 1. Первые два каскада селектора представляют собой соответственно эмиттерный повторитель и усилитель на триодах П403, а третий каскад - триодный вентиль с потенциальным управлением по эмиттеру. Принципиальная схема декады с максимальной скоростью счета 1 Мгц показана на рис. 5. В приборе используется одна декада с большей скоростью счета - до 10 Мгц. Она построена по аналогичной схеме, но на более высокочастотных триодах и диодах. На рис. 6 приведены схемы триггеров № 1, № 2 и № 4, а также усилителя сброса счетных декад. Схемное выполнение триггера знака и триггера отработки показано на рис. 7. Схемы триггера № 3 и селектора № 1 показаны на рис. 8. Первые три каскада селектора являются усилителем-формирователем, а четвертый - собственно вентилем с потенциальным управлением по эмиттеру. Длительность переднего и заднего фронта вентиля - не более 50 нсек. Первые четыре разряда двоичного счетчика показаны на рис. 9.

На рис. 10 показана схема релейного преобразователя "код-напряжение" с усилителями постоянного тока. Точность подбора сопротивлений потенциометра зависит от номера двоичного разряда. Минимальное сопротивление 38 ом имеет допуск порядка 10%, а остальные сопротивления подбираются таким образом, чтобы абсолютная величина отклонения от требуемого значения не превышала 4 ом.

Схема релейного управления реверсивным электромотором "грубой" отработки показана на рис. 11.

Работанная система автоматической установки и стабилизации частоты может использоваться совместно с различными типами высокочастотных генераторов, например Г4-1А, Г4-7А и т.д. Следует отметить, что в описываемом приборе можно повысить частоту опроса, а отработки ошибки до 8 раз в секунду. Это позволит стабилизировать частоту генераторов и с худшей кратковременной стабильностью. Используя генераторы с нестабильностью ($10^{-4} \div 10^{-5}\%$) за несколько секунд и увеличив

эталонный временной интервал до 1 сек, можно повысить точность установки и стабилизации частоты до $10^{-4}\%$. Система установки и стабилизации частоты построена для частотного диапазона от 1 до 10 Мгц ($0,0235 \div 0,2350$ тл). Для расширения частотного диапазона необходимо понизить стабилизируемую частоту до величины, соответствующей данному диапазону частот, что можно проделать гетеродийным методом или делением частоты.

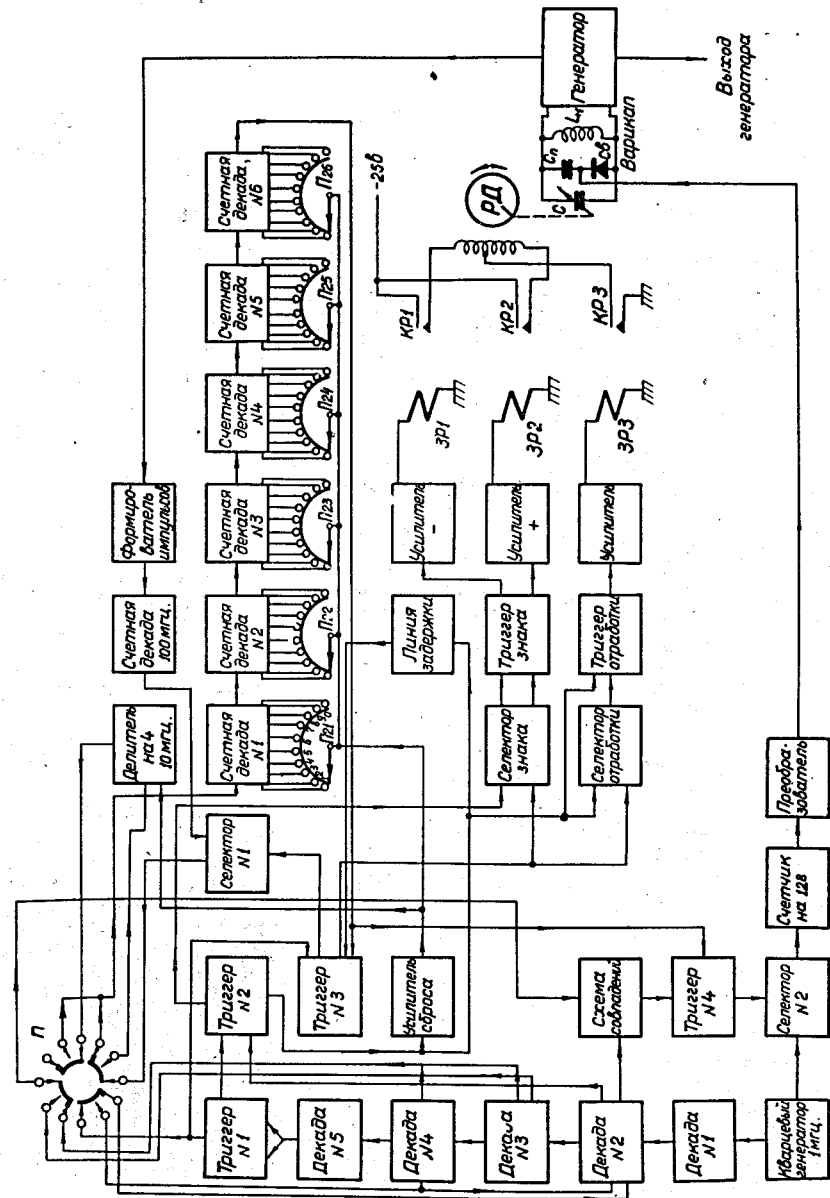
В описываемом варианте прибора для расширения частотного диапазона до 100 Мгц ($2,35$ тл) используется быстродействующая декада с максимальной скоростью счета свыше 100 Мгц, описанная в работе ^{1/1}. Общий вид прибора показан на рис. 12.

Генераторы с описанным устройством управления частотой могут найти самое широкое применение в различных радиоэлектронных системах, таких, как высокостабильные диапазонные задающие гетеродины, калибровочные генераторы, прецизионные преобразователи кода в частоту, и во многих других устройствах.

Л и т е р а т у р а

1. Ю.Н. Денисов, В.М. Лачинов, В.И. Приляико. Быстродействующие пересчетные схемы на туннельных диодах и транзисторах. Препринт ОИЯИ, 1705, Дубна, 1964.

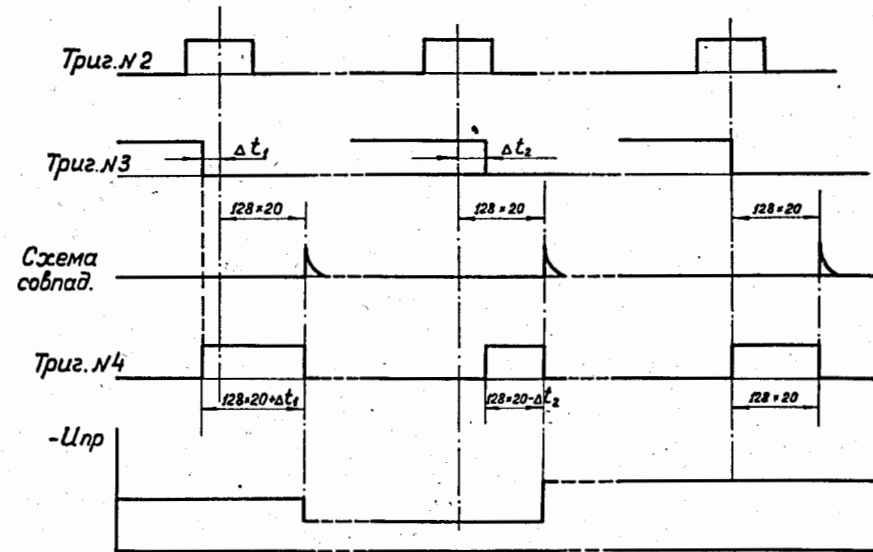
Рукопись поступила в издательский отдел
3 июня 1965 г.



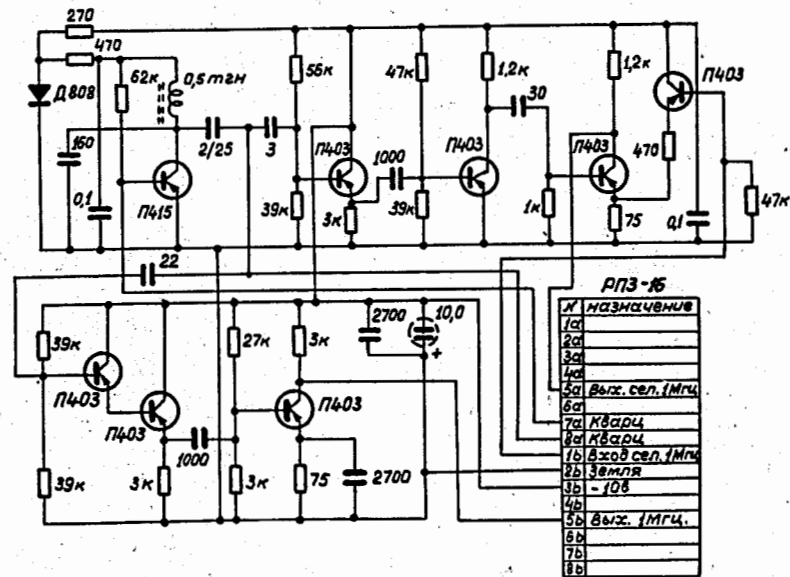
Р и с. 1



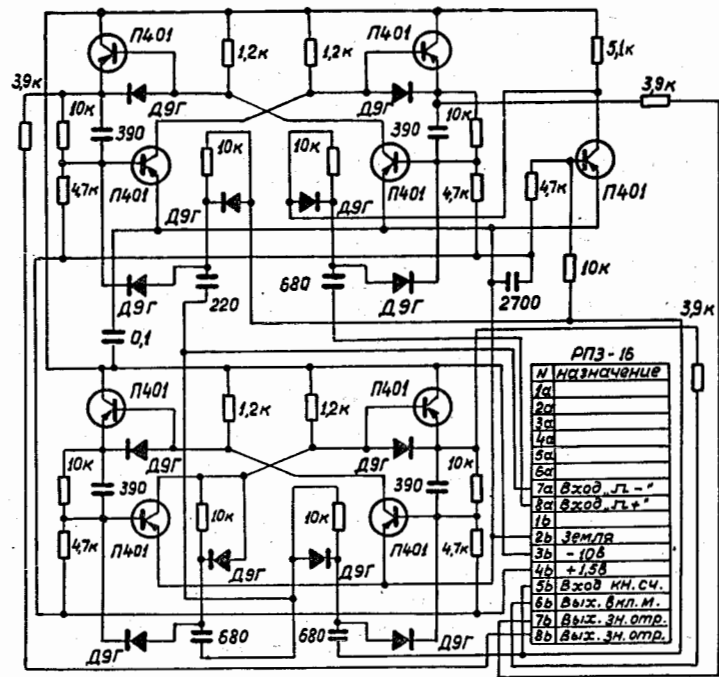
Р и с . 2



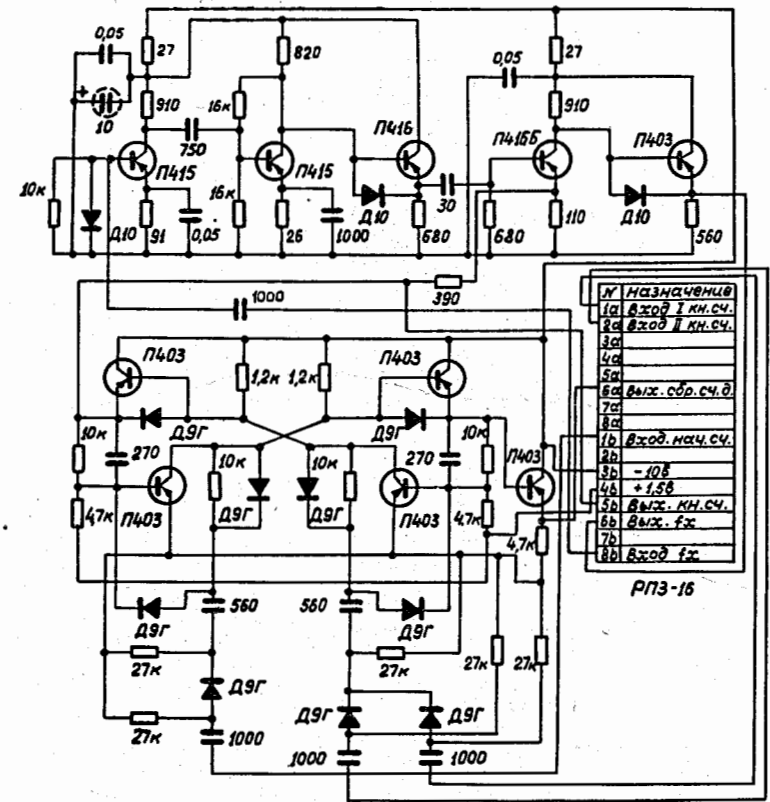
Р и с . 3



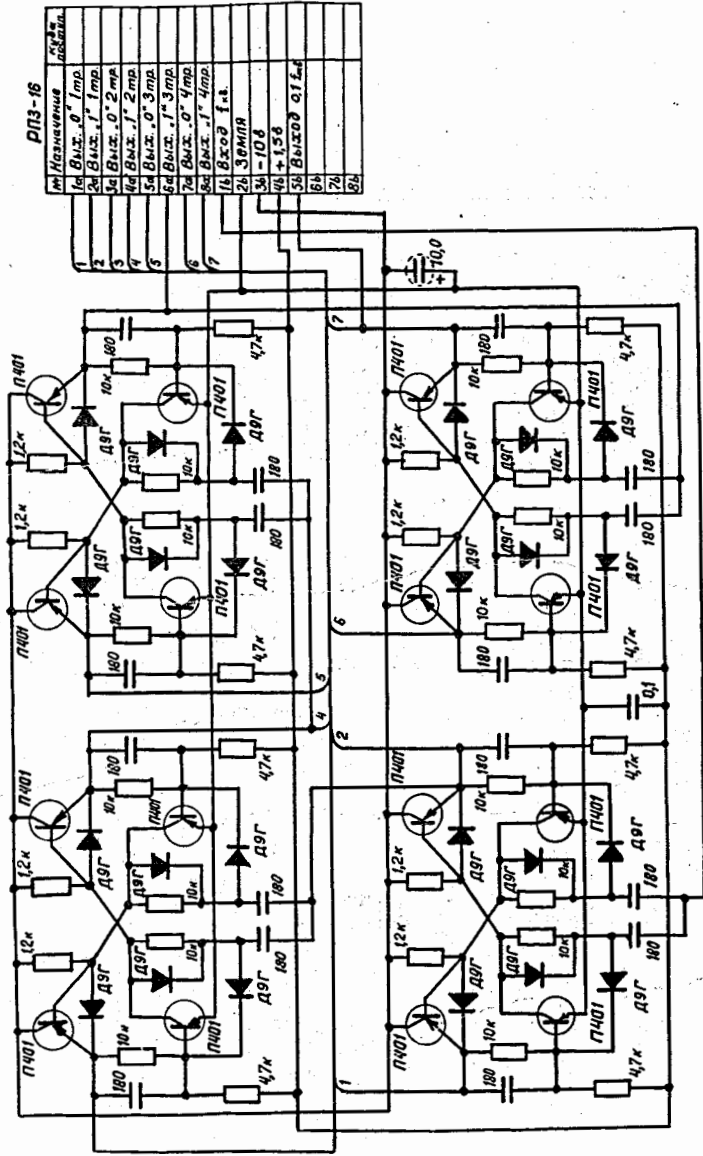
Р и с . 4



Р и с. 7

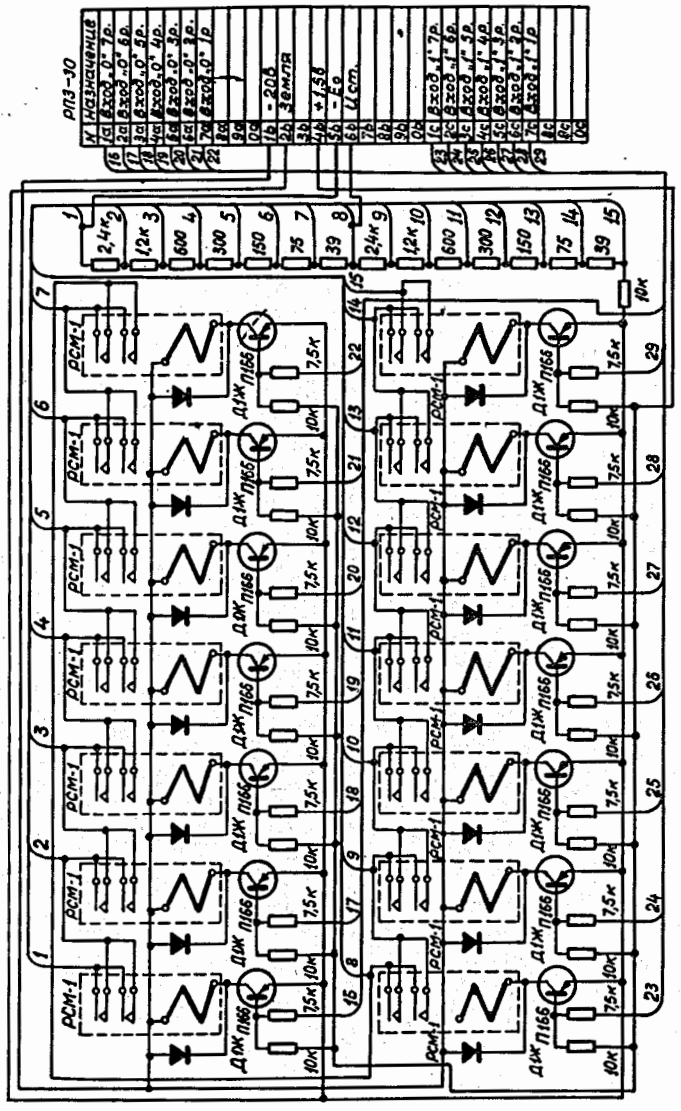


Р и с. 8



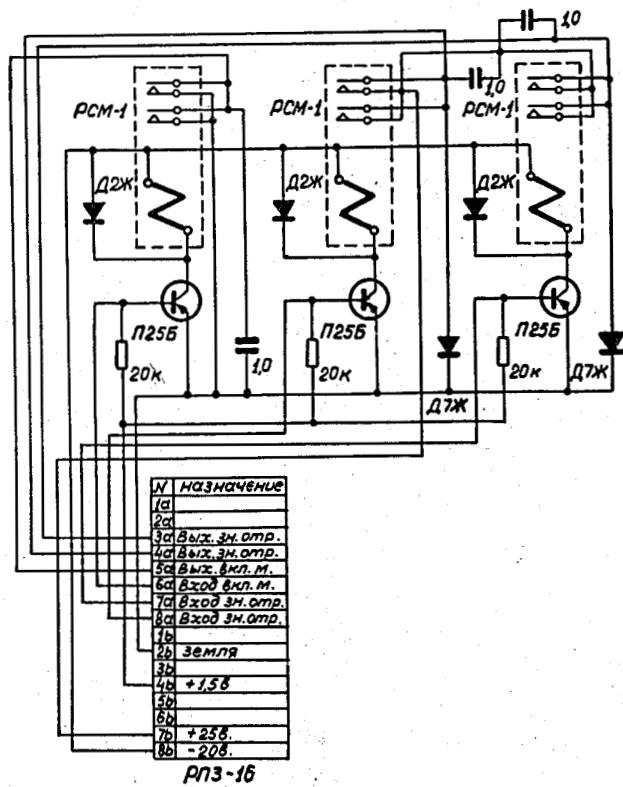
PI3-16	
№	Назначение
1	Вых. 0, 1мп.
2	Вых. 1, 1мп.
3	Вых. 0, 2мп.
4	Вых. 1, 2мп.
5	Вых. 0, 3мп.
6	Вых. 1, 3мп.
7	Вых. 0, 4мп.
8	Вых. 1, 4мп.
9	Вход ф.т.
10	Земля
11	10В
12	+1,5В
13	Выход 01, 2
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	

Рис. 9

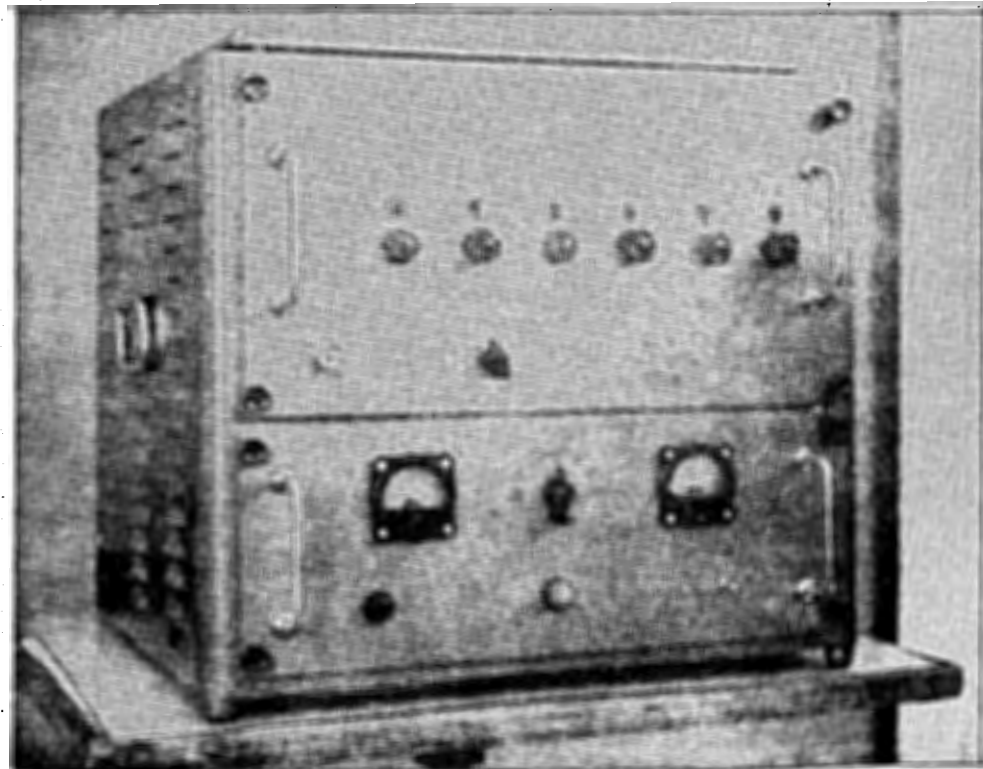


PI3-30	
№	Назначение
1	Вых. 0, 7п.
2	Вых. 1, 7п.
3	Вых. 0, 8п.
4	Вых. 1, 8п.
5	Вых. 0, 9п.
6	Вых. 1, 9п.
7	Вых. 0, 10п.
8	Вых. 1, 10п.
9	Вых. 0, 11п.
10	Вых. 1, 11п.
11	Вых. 0, 12п.
12	Вых. 1, 12п.
13	Вход ф.т.
14	Земля
15	10В
16	+1,5В
17	Выход 01, 2
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

Рис. 10



Р и с. 11



Р и с. 12