

Кк ФТИ -- 73-14

ОРДЕНА ЛЕНИНА АКАДЕМИЯ НАУК УССР
ОРДЕНА ЛЕНИНА ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ХФТИ 73-14

В.М. ДЕНЯК, Н.В. ПЕРУН, Ю.В. ВЛАДИМИРОВ,
А.А. НЕМАШКАЛО

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ, ЗАДАНИЯ И ПЕРЕСТРОЙКИ
МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ

Харьков 1973

Деняк В.М., Перун Н.В., Владимиров Д.В., Немашко А.А. СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ, ЗАДАНИЯ И ПЕРЕСТРОЙКИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ. Препринт ФТИ АН УССР, ХФТИ 73-4, Харьков, 1973, 14 стр.

Описывается схема широкодиапазонного ядерного магнитометра, выполненного на нувисторах, схема задания и перестройки частоты магнитометра, а также схема управления магнитным полем электромагнитного анализатора сигналом ядерного магнитного резонанса (ЯМР). (7 рис., 2 табл. ссылки).

SYSTEM OF ELECTROMAGNETIC ANALISATOR MAGNETIC FIELD MEASURING, TASK AND CONVERSION. Denjak V.M., Perun M.V., Vladimirov Yu.V., Nemaschalo A.A. Preprint of Physical-Technical Institute of Ukrainian Academy of Sciences, Kharkov, 1973.

The circuit of wide-range nuclear magnetometer with nuvistors, the circuit of magnetometer frequency task and conversion, and the control circuit of electromagnetic analisator magnetic field by nuclear magnetic resonance signal are described.

ОРДЕНА ЛЕНИНА АКАДЕМИЯ НАУК УССР
ОРДЕНА ЛЕНИНА ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ХФТИ 73-14

В.М. ДЕНЯК, Н.В. ПЕРУН, Ю.В. ВЛАДИМИРОВ,
А.А. НЕМАШКАЛО

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ, ЗАДАНИЯ И ПЕРЕСТРОЙКИ
МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ

Харьков 1973

УДК 538.082.538.12

М-19

Описывается схема широкодиапазонного ядерного магнитометра, выполненного на нувисторах, схема задания и перестройки частоты магнитометра, а также схема управления магнитным полем электромагнитного анализатора сигналом ядерного магнитного резонанса (ЯМР).

Блок-схема

Реализация фокусирующих свойств электромагнитных анализаторов и точное определение импульса частицы возможны только при точном измерении и стабилизации абсолютного значения магнитного поля в его рабочем зазоре. Это особенно важно при исследовании физических процессов, идущих с малым сечением, когда время экспозиции достигает нескольких часов.

На рис.1 приведена блок-схема разработанной системы измерения и перестройки магнитного поля спектрометра, отличающаяся повышенным отношением $U_c / U_{ш}$, большой широкодиапазонностью, возможностью измерения и перестройки частот ЯМР с ЭВМ.

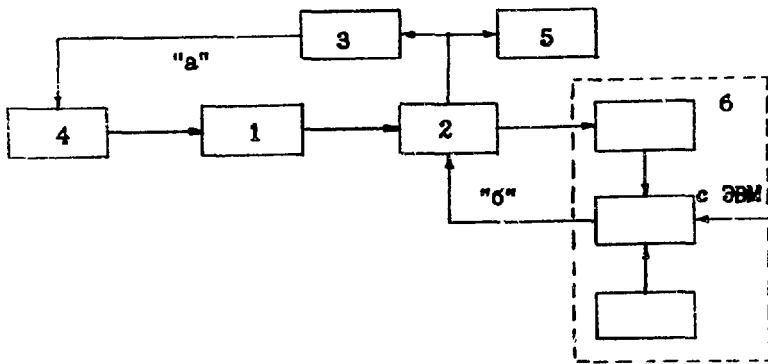


Рис.1

Блок-схема: 1-электромагнит; 2-магнитометр; 3-фазовый детектор; 4-узел питания электромагнита; 5-индикатор сигнала ЯМР; 6-измеритель частоты

Она состоит из двух систем, охваченных отрицательной обратной связью. Общим звеном является измеритель магнитного поля. По цепи "а" осуществляется перестройка магнитного поля анализатора по сигналу ЯМР, по цепи "б" — измерение и задание частоты ЯМР. Для создания этой системы был разработан широкодиапазонный магнитометр, обладающий рядом преимуществ перед ранее разработанными [1].

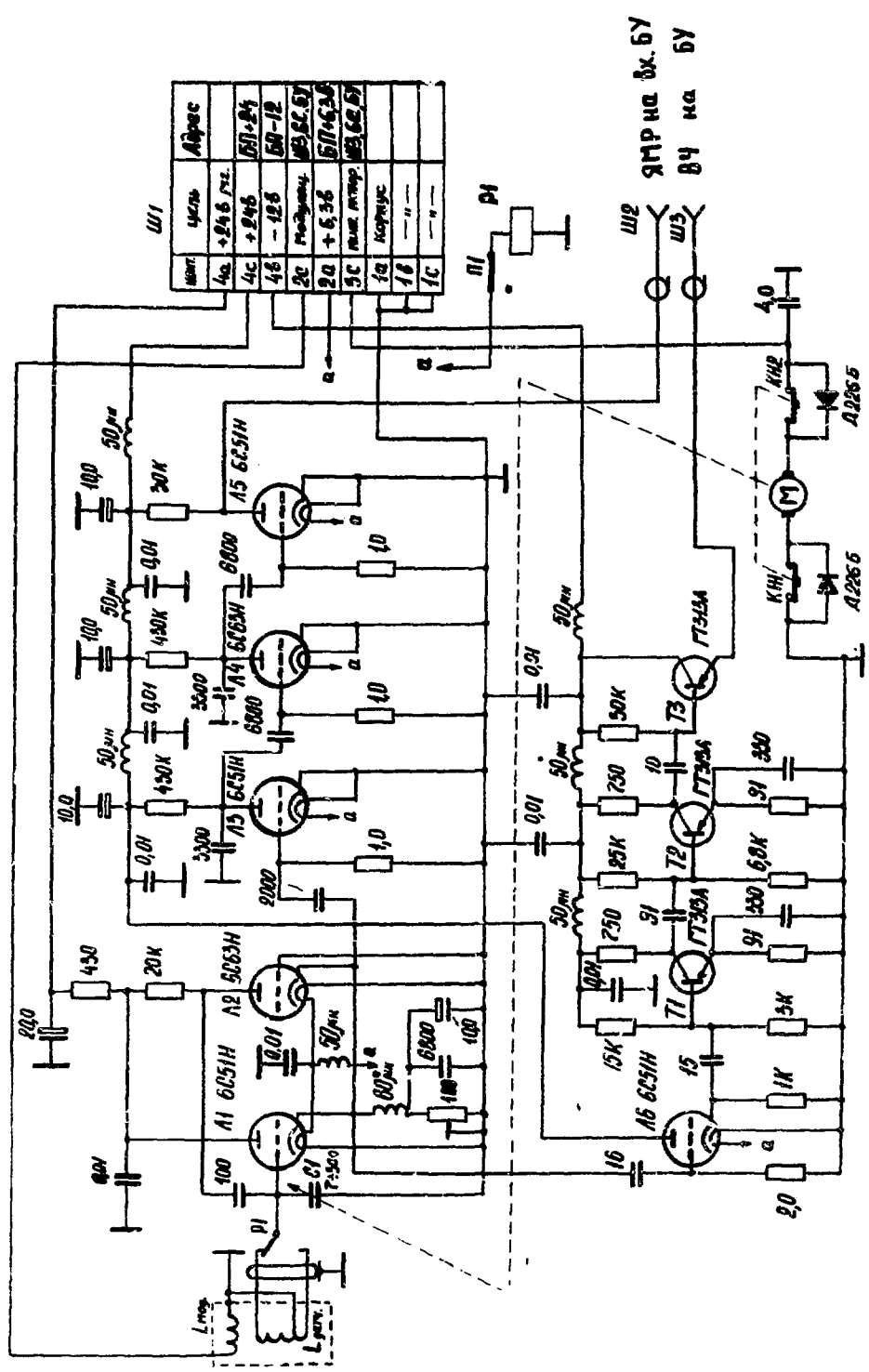
Магнитометр

Одним из прецизионных методов измерения постоянных магнитных полей является метод ядерного магнитного резонанса. Для измерения полей, как правило, применяется ЯМР на протонах. Измерение больших магнитных полей $/10+20/кэ$ вызывает ряд технических трудностей. С ростом поля возрастает его градиент в области расположения датчика, что приводит к уменьшению отношения $U_c/U_{ш}$, величина которого имеет существенное значение для нормальной работы системы перестройки и стабилизации поля.

Наиболее удобным оказывается использование в автодине магнитометра металлокерамических ламп серии "Н". Основным их отличием от обычных электровакуумных ламп является низкий уровень собственных шумов, что позволяет существенно улучшить отношение $U_c/U_{ш}$, а также малые значения межэлектродных ёмкостей, что важно для получения достаточной широкодиапазонности.

Разработанный измеритель постоянного магнитного поля состоит из двух узлов: автодина /рис.2/ и блока управления /рис3/. Схема рис. 2 состоит из автодина Паунда и Найта (L_1-L_2), усилителя высокой частоты (УВЧ) (L_6, T_1+T_3), усилителя низкой частоты (УНЧ) (L_3+L_5). Для исключения влияния базового тока первого каскада УВЧ на автодин в схеме применён разделительный катодный повторитель (L_6). Детектирование сигнала ЯМР катодное.

Блок управления содержит каскад УНЧ, фазосдвигающую цепочку, цепь модуляции датчика и цепь развёртки луча осциллографа, схему питания электродвигателя перестройки частоты.



ЯМР на вх. БУ
 ВУ на БУ

Рис.2.
 Схема автодина.

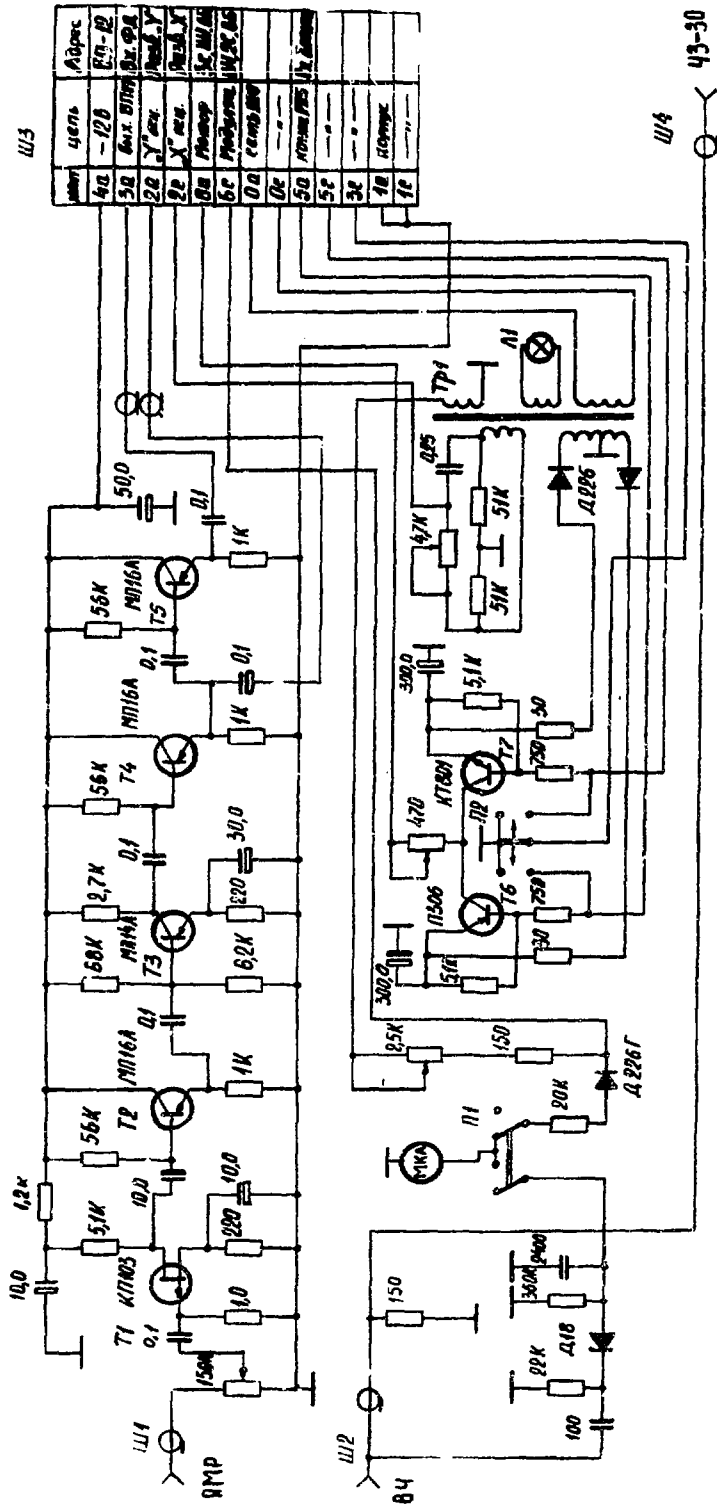


Рис.3
Схема блока управления,

Рабочий диапазон частот 7 ± 15 МГц. Перекрытие всего диапазона шланное и осуществляется одним датчиком с двумя поддиапазонами. Широкодиапазонность достигается за счёт подключения к контуру датчика дополнительной индуктивности. Для сохранения отношения $U_c/U_{ш}$ во всём диапазоне дополнительная индуктивность является частью катушки датчика и расположена непосредственно на ампуле с образцом.

Разработанная схема обеспечивает отношение $U_c/U_{ш}$ 60 во всём рабочем диапазоне полей при однородности магнитного поля не хуже 10^{-5} э/см., имеет малый микрофонный эффект, позволяет работать с малыми анодными напряжениями, имеет малые размеры и вес.

Диапазон магнитного поля $1,5 \pm 10$ кэ перекрывается протонным резонансом. Для перекрытия диапазона 10 ± 20 кэ возможно использование резонанса на ядрах лития. Отношение $U_c/U_{ш}$ для лития значительно меньше, чем для протонов [2]. Поэтому при работе с литием необходимо поддерживать амплитуду высокочастотных колебаний автодина на оптимальном уровне, который определяется максимумом амплитуды сигнала ЯМР.

Схема магнитометра позволяет измерять магнитные поля от 150 э и выше. При измерении малых полей используются датчики, рабочие диапазоны которых соответствуют заданным частотам. Кроме этого, при работе с малыми полями необходимо перестраивать индуктивность в катод автодина в пределах 50 ± 100 мкГн.

При работе на установке схема показала высокую долговременную стабильность частоты (рис.4) и уровня амплитуды высокочастотных колебаний.

Измерение и задание частоты ЯМР

Схема измерения и задания частоты ядерного магнитометра позволяет измерять и устанавливать частоту как с командного устройства, так и по команде с ЭВМ. Схема (рис.5) включает частотомер ЧЗ-3-30 1, дешифратор 2, код-аналоговое уст-

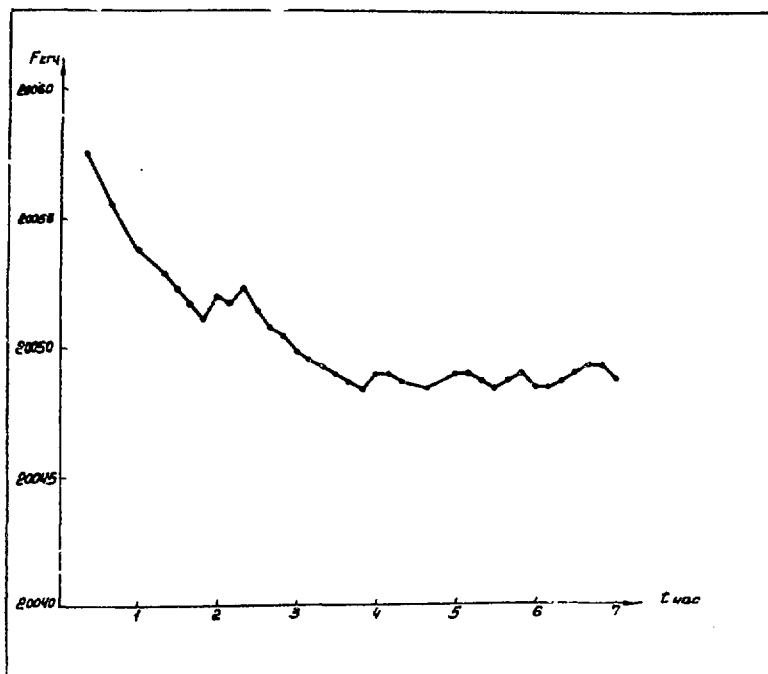


Рис. 4
Стабильность частоты автодина.

ройство 3, командно-аналоговое устройство 4, схему сравнения 5, схему блокировки 6, исполнительное устройство 7, магнитометр 8.

Принцип работы схемы состоит в следующем. Информация о величине частоты снимается с декад частотомера, дешифруется с двоично-десятичного кода в десятичный и преобразуется в аналоговую величину. Полученная аналоговая величина сравнивается с аналоговой величиной, вырабатываемой командно-аналоговым устройством. Разностный сигнал поступает на исполнительное устройство, которое осуществляет перестройку частоты магнитометра до тех пор, пока разность не станет равной нулю.

Схема содержит 4 идентичных канала, каждый из которых соответствует одной декаде частотомера. Количество каналов определяется точностью установки частоты. В нашем случае точность установки не превышает 10 кГц.

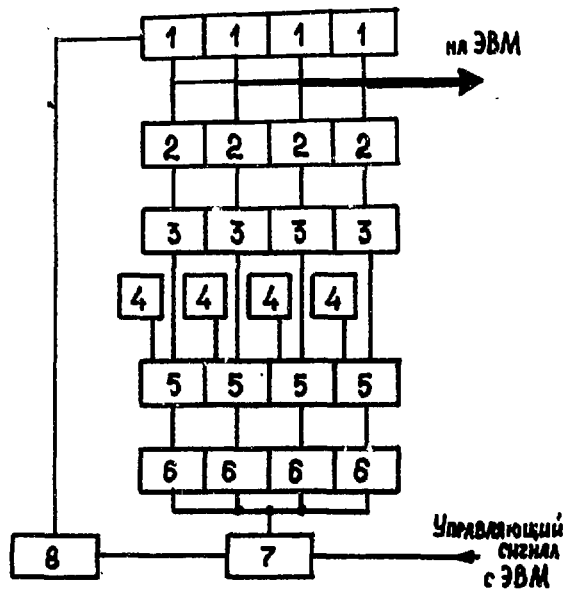
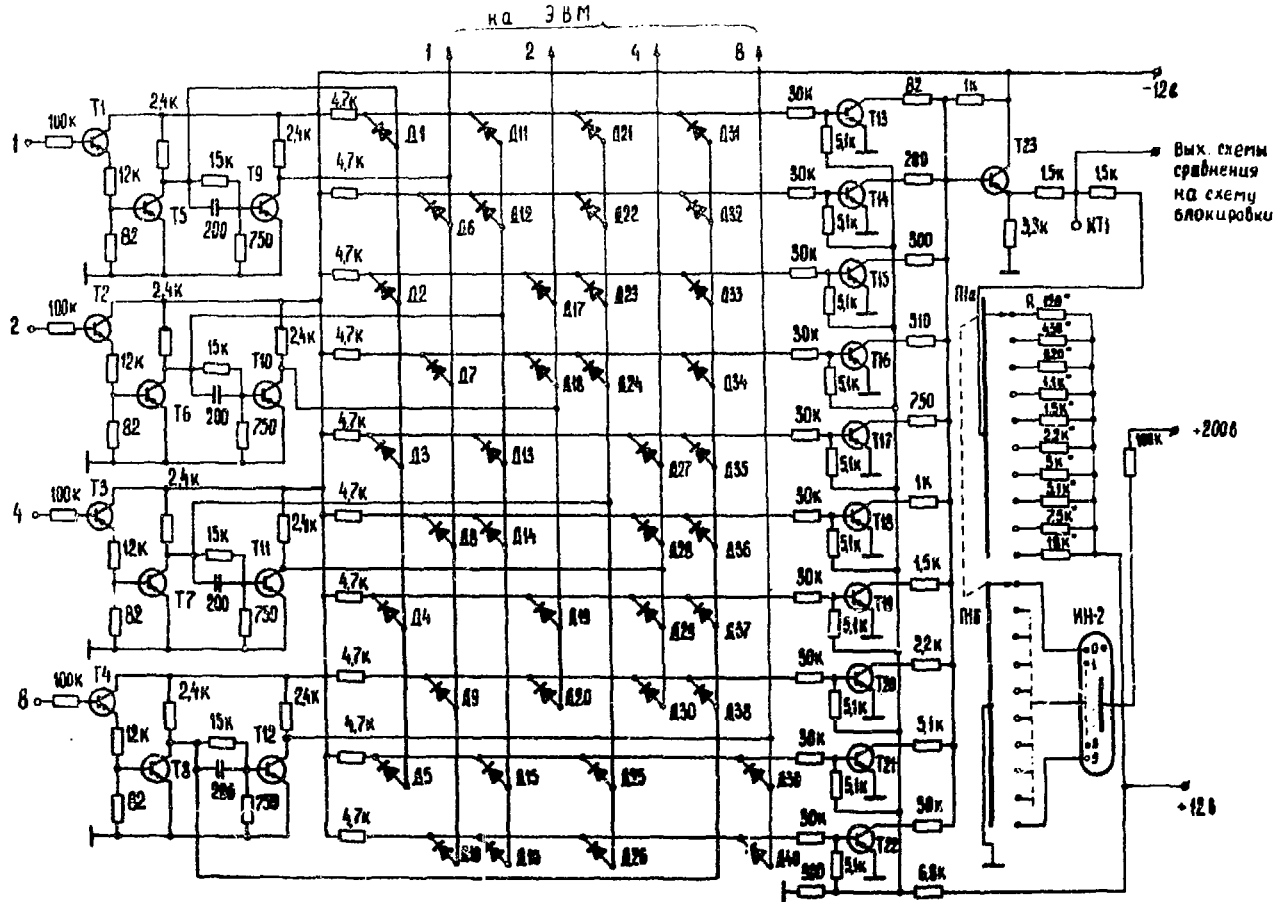


Рис.5

Блок-схема измерения и задания частоты.

Схема блокировки выполнена с той целью, что если показания дециды частотомера старшего разряда не совпадают с аналоговой величиной команды того же разряда, каналы младших разрядов заблокированы и на исполнительном устройстве имеется сигнал только от канала старшего разряда. Как только на выходе схемы сравнения этой декады разностный сигнал становится равным нулю, блокировка схемы снимается и в работу вступает следующий канал. Таким образом, на исполнительном устройстве присутствует сигнал только от одного из каналов.

Исполнительное устройство приводит в движение ротор конденсатора переменной ёмкости, регулируя тем самым частоту. Индикация задаваемой командно-аналоговым устройством частоты производится на цифровых индикаторах типа ИИ-2. Принципиальная схема узла приведена на рис.6 а.



T1-T13-ПН166. D1-D40-D90. R-подбираю при настройке

Рис.6а. Принципиальная схема измерения и задания частоты: дешифратор, командно-аналоговое устройство, схема сравнения

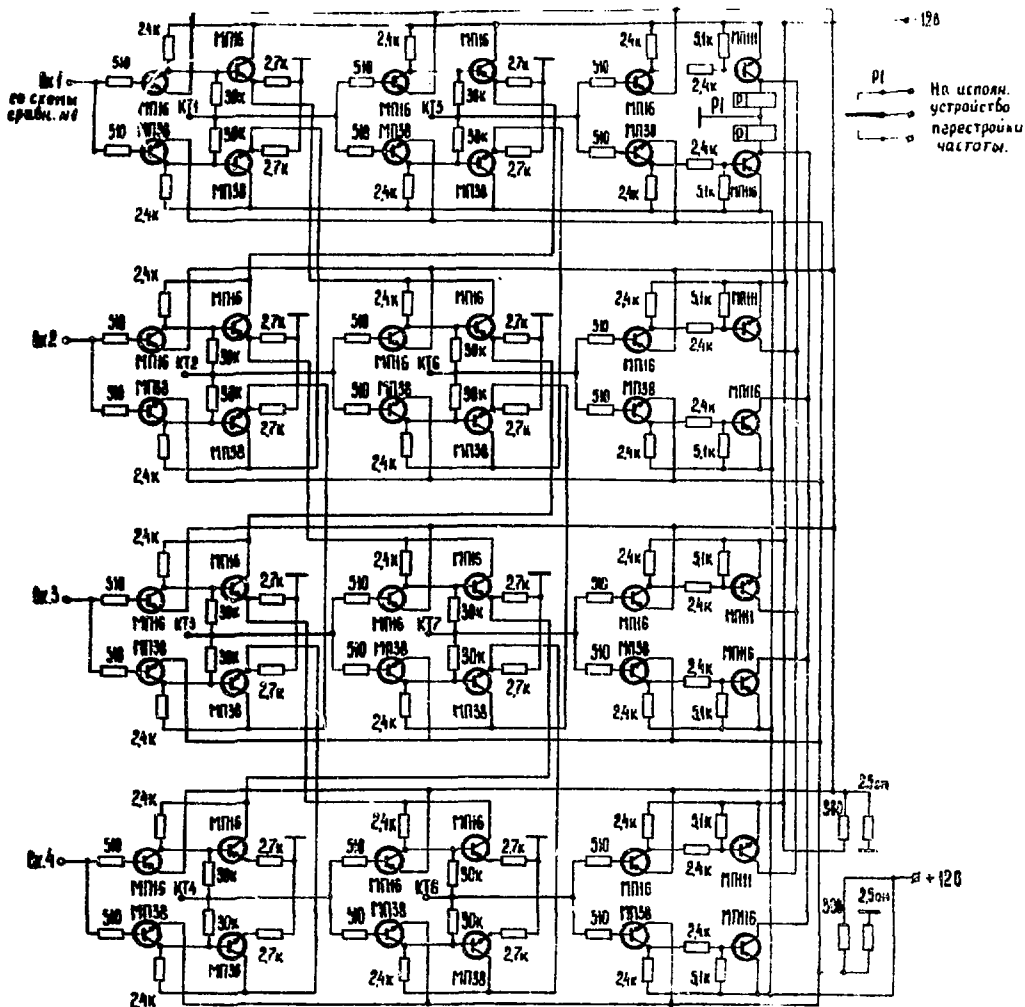


Рис. 6б
Схема блокировки

Для управления частотой со стороны ЭВМ информация о частоте после усиления и приведения к нужным уровням поступает на ЭВМ, откуда следуют команды на управляющие входы исполнительного устройства.

Схема перестройки магнитного поля,

Перестройка поля по сигналу ЯМР осуществляется по цепи "а" (рис.1), изменение частоты магнитометра приводит к разбалансу фазы сигналов ЯМР. Полученный разбаланс выделяется схемой фазового детектора $\Delta U = k \cdot \Delta \varphi$. Разбалансный сигнал ΔU , воздействуя на источник питания основной обмотки электромагнита, приводит к изменению тока основной обмотки. В качестве источника питания основной обмотки используется мотор-генераторная установка совместно со стабилизатором тока БТ-4. При перестройке тока фазовый детектор воздействует на величину сигнала, снимаемого с шунта и подаваемого на схему стабилизации тока. Схема перестройки может быть применена и для других источников питания электромагнита, например, управляемых выпрямителей.

Фазовый детектор (рис.7) преобразует сдвиг фазы импульсов ЯМР в приращение напряжения. Его работа основана на принципе работы триггера. Схема состоит из двух усилителей ($\Pi_1-\Pi_2$), триггера ($\Pi_3-\Pi_4$) с разделённым запуском, двух каскадов формирования опорных импульсов с фазосдвигающими цепочками ($\Pi_7-\Pi_8$), каскадов сглаживания ($\Pi_5-\Pi_6$, $\Pi_{12}-\Pi_{13}$), эмиттерных повторителей ($\Pi_9-\Pi_{10}$), усилителей ($\Pi_{11}-\Pi_{12}$). Схема работает следующим образом. Сигналы ЯМР поступают на вход усилителей $\Pi_1-\Pi_2$. Усилители заперты и отпираются опорными импульсами, которые формируются из модулирующего напряжения каскадами $\Pi_7-\Pi_8$. Опорные импульсы фазированы так, что один из усилителей пропускает чётные импульсы ЯМР, другой - нечётные. Длительность опорных импульсов определяет рабочий диапазон фазового детектора, который может регулироваться в широких пределах. Разделённые и усиленные импульсы ЯМР поступают на запуск триггера. Перепады напряжения, снимаемые с триггера, поступают на сглаживающие каскады.

Если $\Delta \varphi = 0$, т.е. импульсы ЯМР возникают при $H_z = 0$, выходные импульсы триггера симметричны и постоянные составляющие на сглаживающих ёмкостях равны. При появлении разбаланса выходные

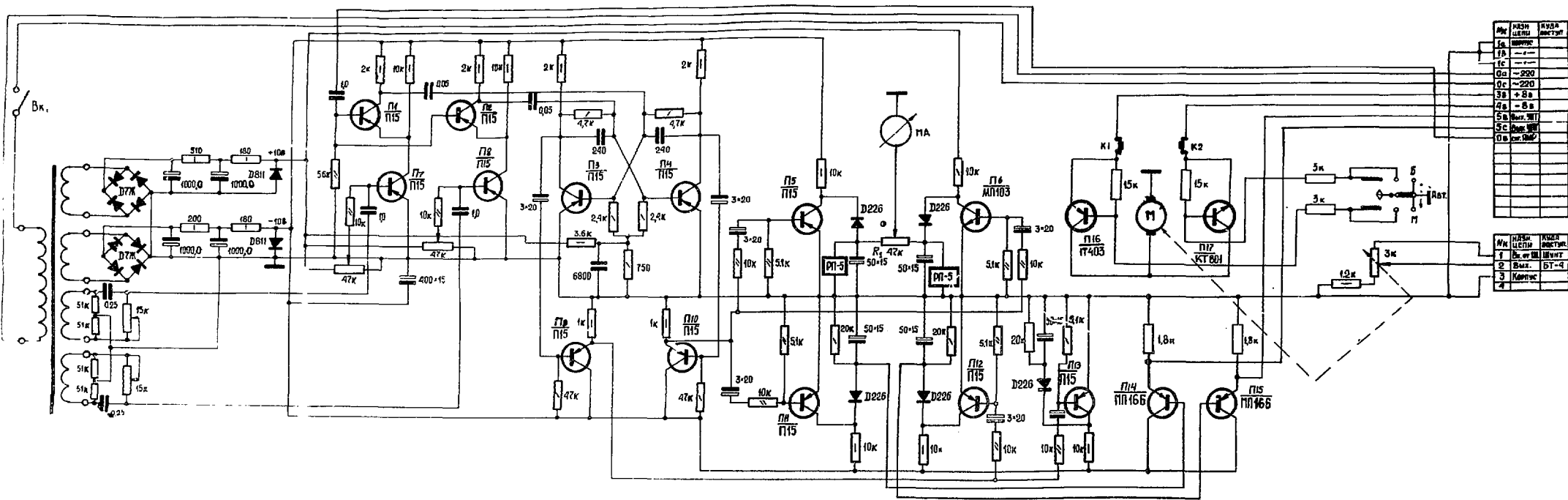


Рис. 7
 Принципиальная схема фазового детектора

импульсы асимметрируются, а на ёмкостях появляются различные постоянные составляющие. Крутизна преобразования схемы равна 0,25в/мсек. Увеличение крутизны преобразования легко достигается увеличением коллекторного напряжения триодов П₅-П₆, П₁₁-П₁₂

Перестройка магнитного поля при перестройке частоты осуществляется следующим образом. Изменение частоты вызывает рост разбаланса фазового детектора. При достижении разбалансом заданной величины срабатывает поляризованное реле РП-5, контакты которого управляют режимом работы ключей П₁₆-П₁₇. Открывание одного из триодов приводит к включению мотора в соответствующей полярности, который регулирует потенциометр-делитель напряжения шунта, включённого в цепь питания основной обмотки электромагнита. Это приводит к разбалансу системы стабилизации тока основной обмотки, а значит, и к изменению тока в ней.

Система разработана для магнитного спектрометра установки ЛУЭ-360. Она может найти широкое применение для точного измерения магнитных полей в диапазоне 150э+20кэ.

Л и т е р а т у р а

1. В.М.Деняк, Н.Г.Афанасьев, В.И.Старцев, ИТЭ, 5,82, 1966.
2. А.Лёше "Ядерная индукция" ИИИ, Москва, 1963.

Ответственный за выпуск Д.В. Владимир

Подписано к печати 12 апреля 1973 г., Т-06186,
I п.л., зак.286, тир.250. Цена 8 коп.
Харьков-108, ротاپронт ФТИ АН УССР.