

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
СО АН СССР



В.Ф.Веремеенко.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО
УПРАВЛЕНИЯ ЯМР - МАГНИТОМЕТРОМ

ПРЕПРИНТ 83-16

Новосибирск

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ЯРМ-МАГНИТОМЕТРОМ

В.Ф.Веремеенко

А Н Н О Т А Ц И Я

Описывается система дистанционного управления магнито-
метром ЯМР с применением ЭВМ. Перестройка магнитометра осу-
ществляется ЦАП-емкостью. Система управления основана на
принципе фазовой автоподстройки частоты, связанной с ЭВМ
делителем с переменным коэффициентом деления. Система поз-
воляет с помощью программы, записанной в ЭВМ осуществлять
перестройку, автоматический поиск и слежение за резонансом

Увеличивающаяся с каждым годом сложность ускорительно-накопительных комплексов заставляет автоматизировать управление, используя для этой цели ЭВМ. Поиск сигнала ядерного магнитного резонанса (ЯМР) при измерении магнитного поля представляет процедуру, занимающую много времени у оператора. В 1972-73 годах в институте был разработан магнитометр ЯМР с гребенчатым фильтром, управляемый дистанционно от ЭВМ и перестраиваемый посредством 16-разрядной ЦАП-емкости [1]. Попытка автоматизировать поиск резонанса в этом магнитометре была малоуспешной. Неоднозначная связь частоты с кодом (емкости конденсаторов ЦАП-емкости подбираются не точно в соответствии с двоичным кодом, а с перекрытием 0,2%) затрудняла поиск резонанса.

Избавиться от указанного недостатка позволила разработка системы управления с фазовой автоподстройкой частоты (ФАПЧ) и делителем с переменным коэффициентом деления (ДПКД). Система управления позволяет осуществлять следующие режимы работы магнитометра:

1. перестройка от ЭВМ
2. ручная перестройка
3. слежение за полем
4. стабилизация поля

На рис. 1 приведена функциональная схема системы. В режиме управления от ЭВМ параллельный код заносится в реверсивный счетчик РС1 и регистр памяти РП. С выходов РС1 первые 17 разрядов кода заносятся в ДПКД, определяя его коэффициент деления. Восемнадцатый, девятнадцатый и двадцатый разряды управляют датчиками в схеме переключения датчиков СПД. Двадцать первый разряд разрешает или запрещает работу в ручном режиме, осуществляя т.о. приоритет работы от ЭВМ. На счетный вход ДПКД подается высокочастотный сигнал магнитометра, а с выхода ДПКД — на один из входов фазового детектора ФД. На второй вход ФД в качестве опорной частоты подается сигнал f кГц от кварцевого генератора КГ. В детекторе ФД вырабатывается напряжение (сигнал ошибки), пропорциональное разности фаз входных сигналов. Это напряжение воздействует на варикап магнитометра, изменяя его частоту в сторону уменьшения разности фаз двух сигналов

на входах ФД. Получающийся контур регулирования позволяет перестраивать частоту магнитометра варикапом путем изменения коэффициента деления ДПКД:

$$f_m = f_{кГ} \cdot K \text{ дпкд}$$

Диапазон перестройки частоты варикапом невелик, поэтому для её расширения используется ЦАП-емкость. ЦАП-емкость состоит из набора восьми конденсаторов с номиналами возрастающими в двоичном коде. Для управления ЦАП-емкостью имеется дополнительный контур регулирования. При большом рассогласовании (более 360°) работа контура ФАПЧ нарушается, нарушается и равенство частот $f_{кГ}$ и $f_{дпкд}$. В схеме вычитания частот СВЧ выделяется разностная частота, которая подается на входы прямого или обратного счета реверсивного счетчика РС2. Код, образующийся на выходах РС2, осуществляет перестройку ЦАП-емкости в сторону уменьшения разности частот $f_{кГ} - f_{дпкд}$. Когда разность фаз этих сигналов становится меньше 360° , происходит захват частоты в контуре ФАПЧ.

В устройстве предусмотрено ручное управление, которое рассматривается как вспомогательное. Переход в ручной режим осуществляется записью нуля в двадцать первом разряде. Кнопкой "Пуск" запускается мультивибратор М15-1, М15-2, импульсы которого подаются на счетные входы РС1, осуществляя увеличение или уменьшение кода в РС1. Кнопкой "Реверс" изменяется направление счета. Кнопками "Скорость" можно, изменяя частоту мультивибратора, регулировать скорость перестройки. Кнопками "1", "2", "3" в схеме СПД можно выбрать необходимый диапазон измерения.

Поиск резонанса при управлении от ЭВМ осуществляется автоматически по программе, записанной в ЭВМ. Предварительно в РС1 заносится код, величина которого приблизительно соответствует месту нахождения резонанса (о котором можно судить по току электромагнита). Затем осуществляется сканирование в обе стороны от записанного кода. При прохождении через резонанс на выходе магнитометра появляется сигнал, который подается на синхронные детекторы СД1 и, через гребенчатый фильтр ГФ, на СД2. В СД1 осуществляется синхронное детектирование сигнала ЯМР по первой гармонике спектра, в СД2 - по второй. На рис.2

показаны зависимости выходных напряжений СД1 и СД2 от величины расстройки поля. Когда напряжение на выходе СД2 достигает порога срабатывания компаратора К2, на его выходе появляется логический сигнал, который подается в ЭВМ, означая команду окончания поиска. Если замкнут тумблер "Вкл. слежения", выходной сигнал К2 запускает мультивибратор, импульсы которого начинают перестраивать магнитометр. С выхода СД1 сигнал подается на компаратор К1, срабатывающий от нулевого уровня. Через инверторы М40-1, М40-2 и триггер М5-2 сигналом компаратора К1 осуществляется реверс счетчика РС1. Режим слежения магнитометра за полем происходит путем незначительных колебаний вокруг нулевой точки выходной характеристики СД1.

Для осуществления режима стабилизации поля по сигналу ЯМР тумблер "Вл. слежения" после нахождения резонанса размкнется, а сигнал с выхода СД1, в качестве корректирующего сигнала, подается в контур регулятора тока электромагнита.

В процессе перестройки магнитометра, при переключении конденсаторов в ЦАП-емкости, в автодине магнитометра возникает переходный процесс, когда на время 0,2 сек нарушается его линейный режим чувствительный к эффекту поглощения. Возникает опасность пропустить сигнал ЯМР, если его прохождение по времени совпадает с переходным процессом при переключении. Чтобы избежать это, имеется схема задержки СЗ, которая в момент переключения в ЦАП-емкости подает в ЭВМ сигнал остановки перестройки на время 0,2 сек. На это же время сигналом задержки блокируются счетные входы РС2.

Для удобства рассмотрения принципиальная схема системы управления разбита на четыре части. На рис.3 изображены РС1 (М16 - М20), ДПКД (М1 - М13), элементы ручного управления (М14, М15, М22-2, М22-3) и СПД (М22-1, М23). Подробно с принципом работы ДПКД можно ознакомиться в работе [2].

На рис.4 изображены СВЧ (М24 - М26) РС2 (М27 - М28) и ЦАП-емкость (С6-С12, Д1-Д8). Выходные сигналы РС2 через инверторы М29-М30 и ключи Т4-Т11 коммутируют обмотки управления I-8 герконов К1-К8. На варикапы Д1-Д8 подается сигнал ФАПЧ с выхода ФД.

На рис.5 показаны принципиальные схемы ФД (Т12-Т17) и

КТ (Т18-Т20, М32-М35). Кварцевый генератор на транзисторе Т8 вырабатывает сигнал частоты 10 кГц. Через усилитель Т19, Т20 и делитель М32-М34 импульсы опорной частоты 120 Гц длительностью 50 мксек подаются на первый вход ФД в качестве опорного сигнала. В детекторе эти импульсы преобразуются в пилообразное напряжение, формирующееся на конденсаторе С14. Импульсы от ДПКД длительностью 10 мксек, подающиеся на второй вход ФД, открывают ключ Т16 Т17, заряжая конденсатор С16 мгновенным значением напряжения пилы. В результате напряжение на С16 оказывается пропорциональным разности фаз импульсов КТ и ДПКД.

На рис.6 показаны принципиальные схемы СЗ (М36, М37, Т21), К1 (М39), К2 (М38) и СД2.

Эксплуатация магнитометра с устройством управления от ЭИМ на накопительных комплексах ВЭИП-3, ВЭИП-4 показала высокую надежность устройства. Магнитометр и блок управления располагались на расстоянии 70 м друг от друга. Удаются осуществлять автоматический захват и слежение весьма слабых сигналов, которые без гребенчатого фильтра неразличимы на фоне шумов. Ниже приведены основные технические данные магнитометра и блока управления:

1. диапазон измеряемых полей разделен на три поддиапазона, перекрываемые тремя датчиками: $5 \cdot 10^{-2} \pm 0,15$ т; $0,15 \pm 1$ т; 1 ± 3 т;
2. погрешность измерения $2 \cdot 7 \cdot 10^{-5}$ в зависимости от величины и неоднородности измеряемого поля;
3. время перестройки одного поддиапазона 40 сек;
4. скорость слежения за полем 2 кГц/сек.

Автор выражает благодарность к.т.н. А.С.Медведко за полезные советы и интерес к работе.

Литература

1. М.М.Карлинер, В.И.Кушнир, А.С.Медведко. Широкодиапазонный ядерный магнитометр. ПТЭ № 2 1973 г. стр. 132-134.
2. М.Л.Лейнов, В.С.Качалуба, А.Б.Рыжков. Цифровые делители частоты на логических элементах. "Энергия", М., 1975, стр. 93-106.

Подписи к рисункам

Рис.1. Функциональная схема системы управления магнитометром ЯМР.

Рис.2. Зависимость выходных напряжений синхронных детекторов от расстройки измеряемого поля:
 1 - выходное напряжение СД1,
 2 - выходное напряжение СД2,
 3 - порог срабатывания компаратора К2.

Рис.3. Принципиальные схемы РС1 и ДПКД:
 М1, М5-130ЛА3, М2, М3, М6-130ТВ1, М4, М15, М22-155ЛА3, М7-130ЛА4, М8, М9-155ЛА2, М10-М13, М16-М20-155ИЕ7, М14-155ТМ2, М15-155ЛА2, М21-155ИР1, М23-155ЛИ1, Т1-Т3-КТ315В.

Рис.4. Принципиальные схемы СВЧ, РС2 и ЦАП-емкости:
 М24-М26, М29, М30-155ЛА3, М27-М28-155ИЕ7, Т4-Т11-КТ-315В, К1-К8 - магнитоуправляемый контакт КЭМ-2А, Д1-Д8-КВ109А.

Рис.5. Принципиальные схемы ФД и КГ:
 Т12, Т14-Т17, Т19-Т20-КТ315В, Т13, Т18-КП303В, М31-140УД8, М32-155ЛА2, М33-М34-155ТМ2, М35-155ЛА3, Д9, Д10-КД521Б.

Рис.6. Принципиальные схемы СЗ, СД2, К1, К2:
 М36-155ЛА1, М37-155ЛА3, М38-М39-553УД1А, М40-155ЛА4, Т21, Т22-КТ315В, Т23-Т26-КП303В, Д10-Д13-КД521Б.

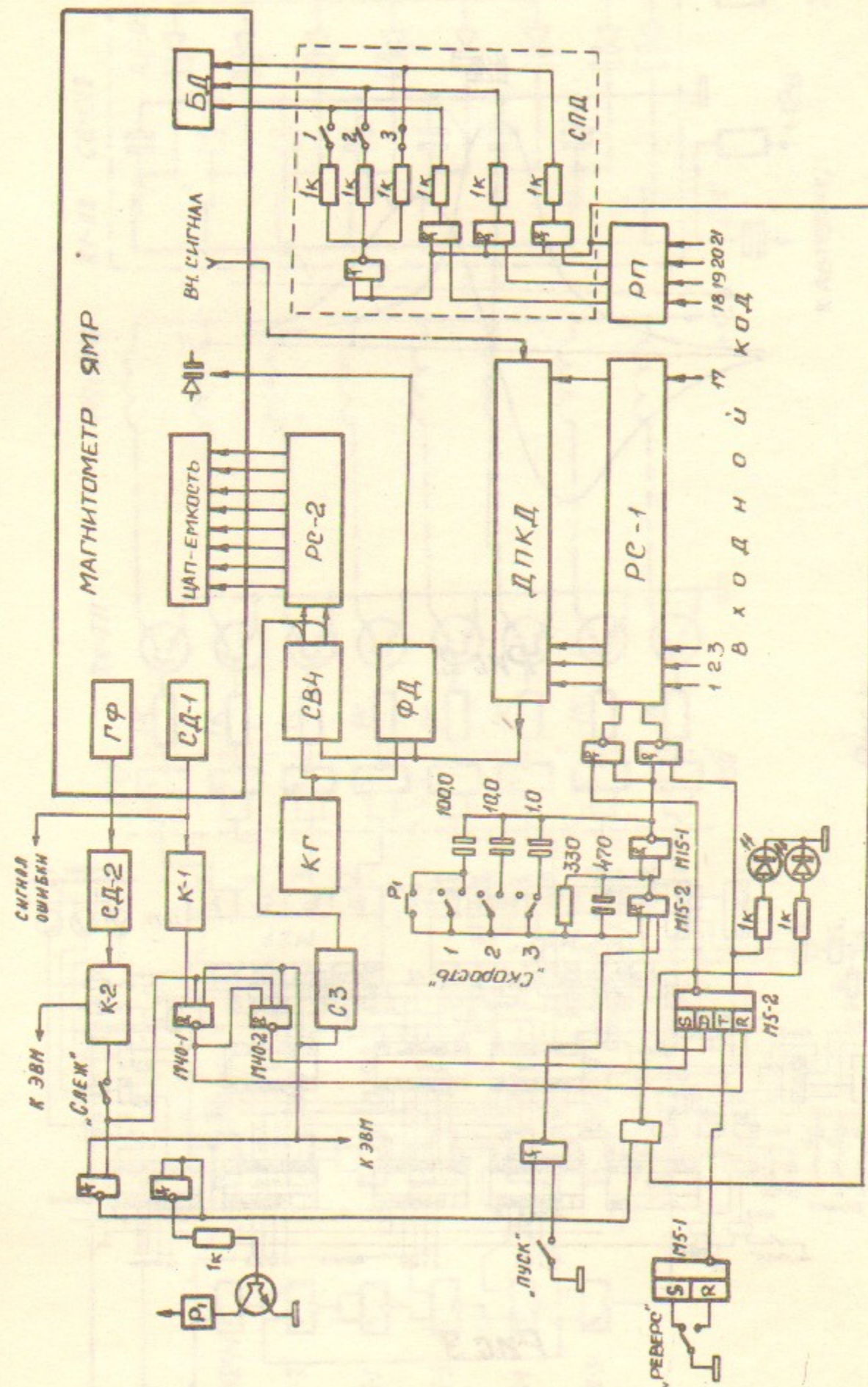


РИС 1

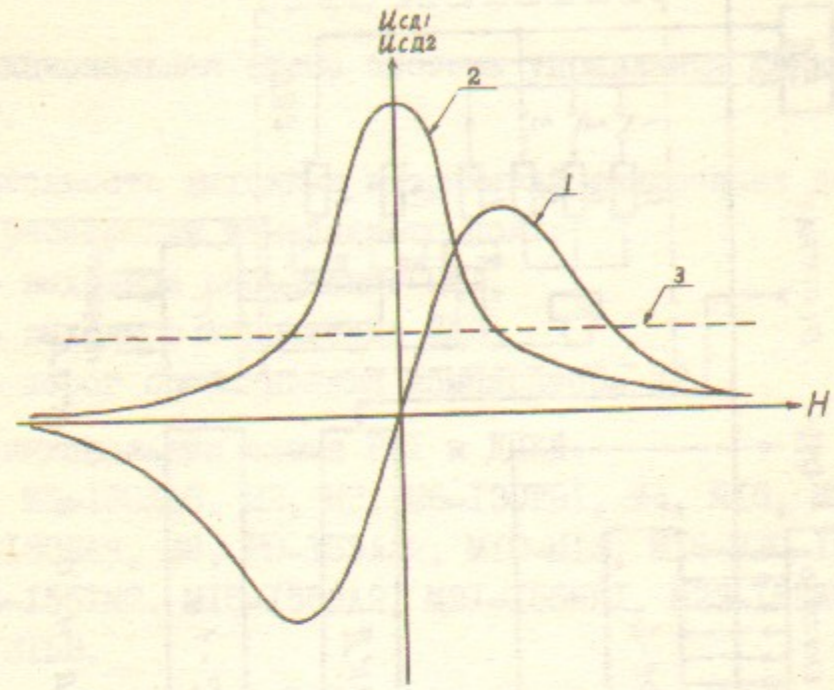


Рис 2

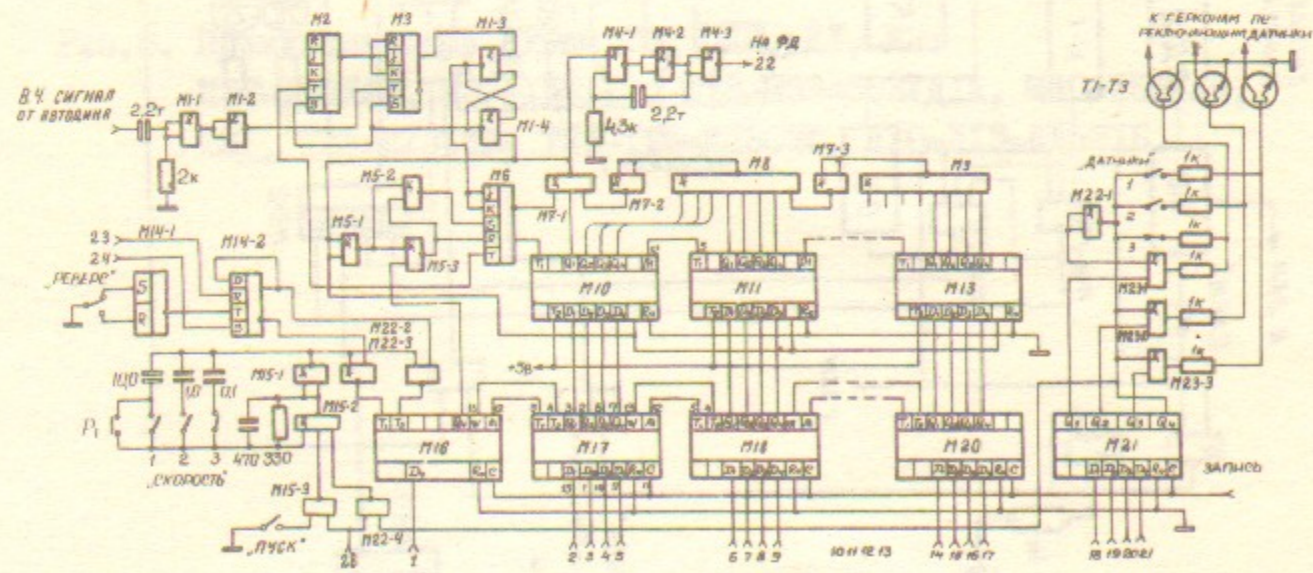


Рис 3

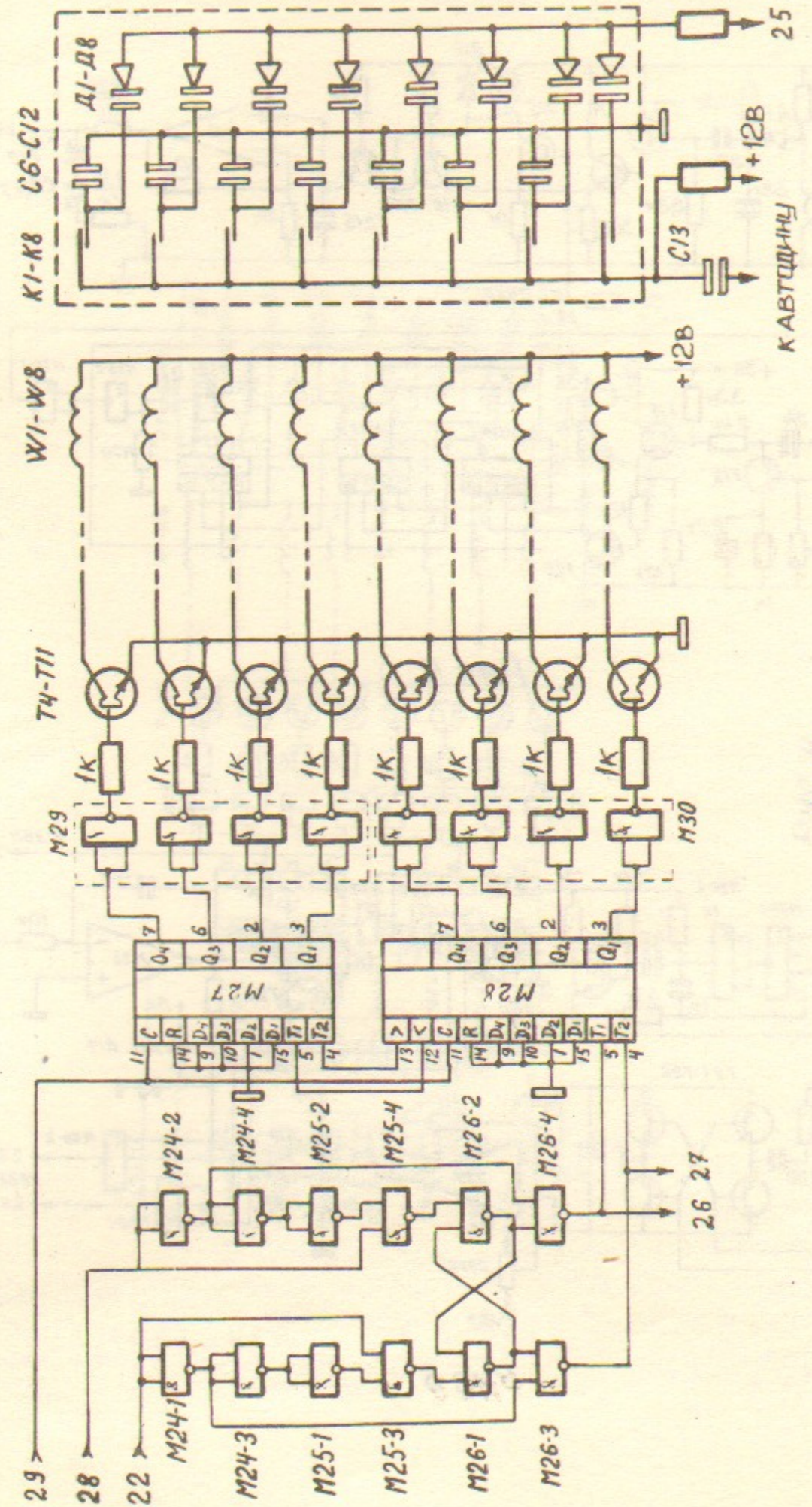


Рис 4

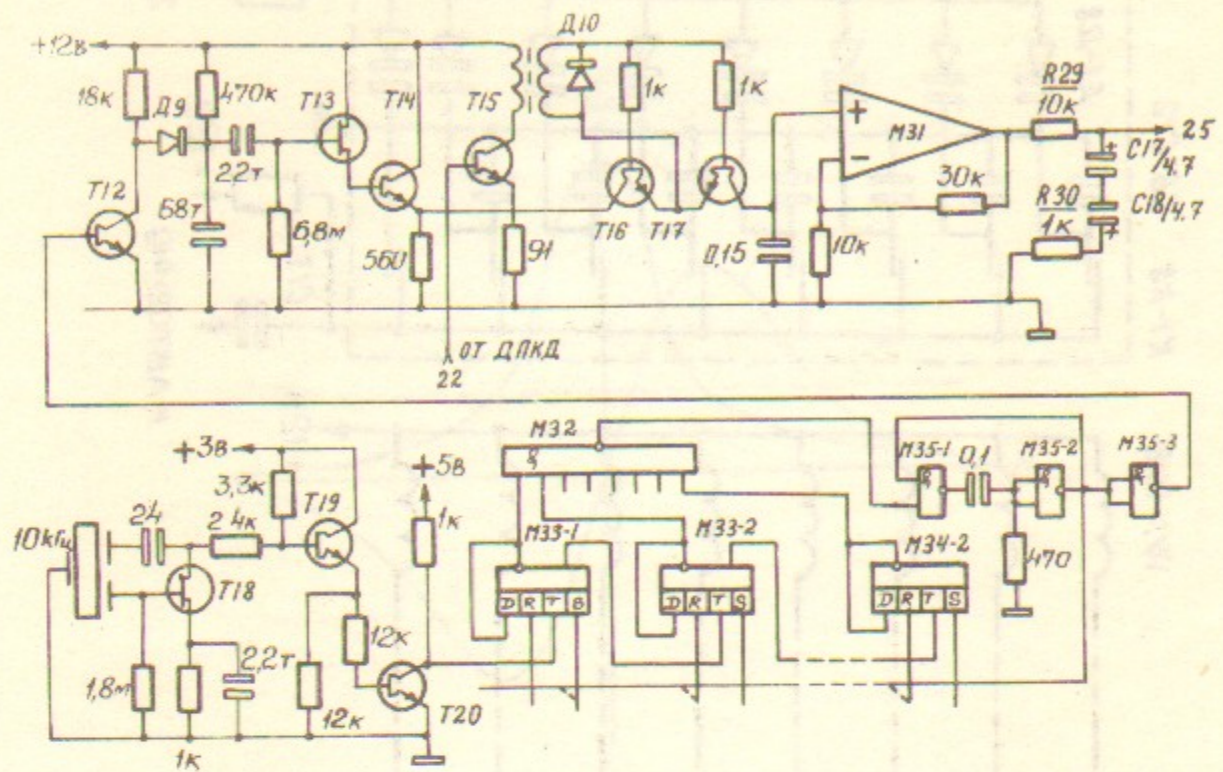


Рис 5

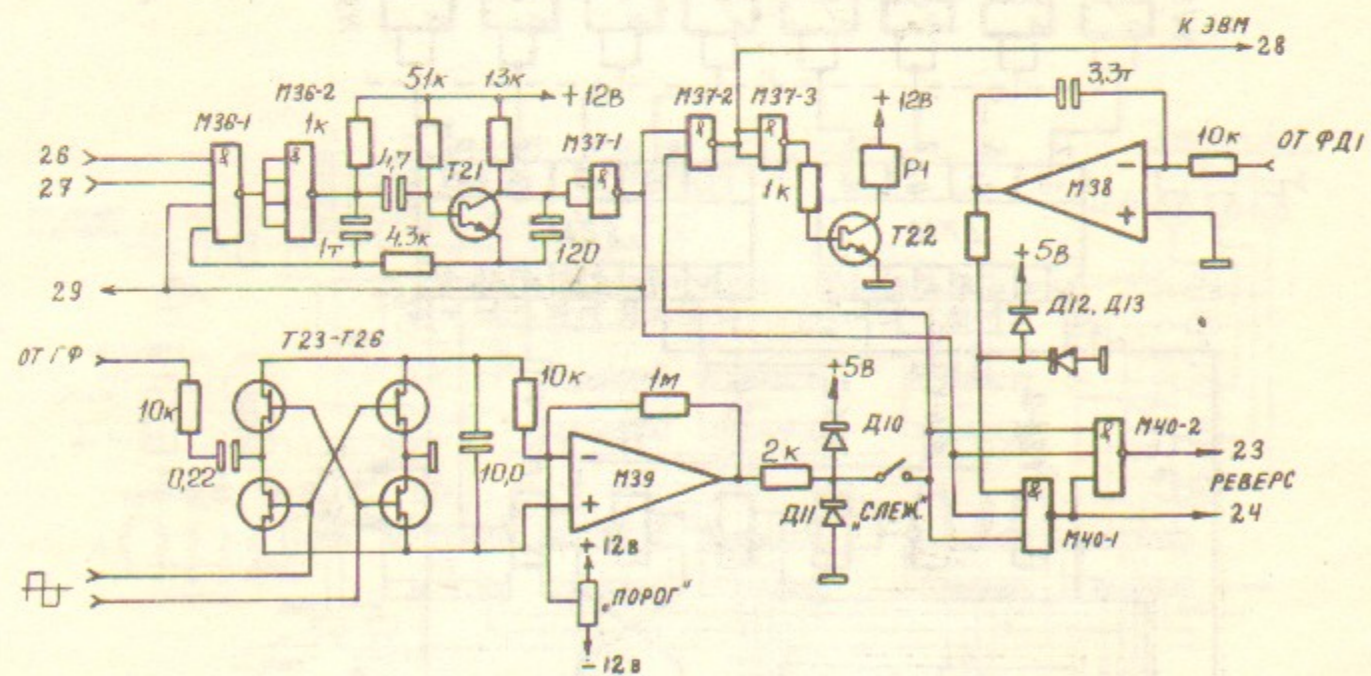


Рис 6

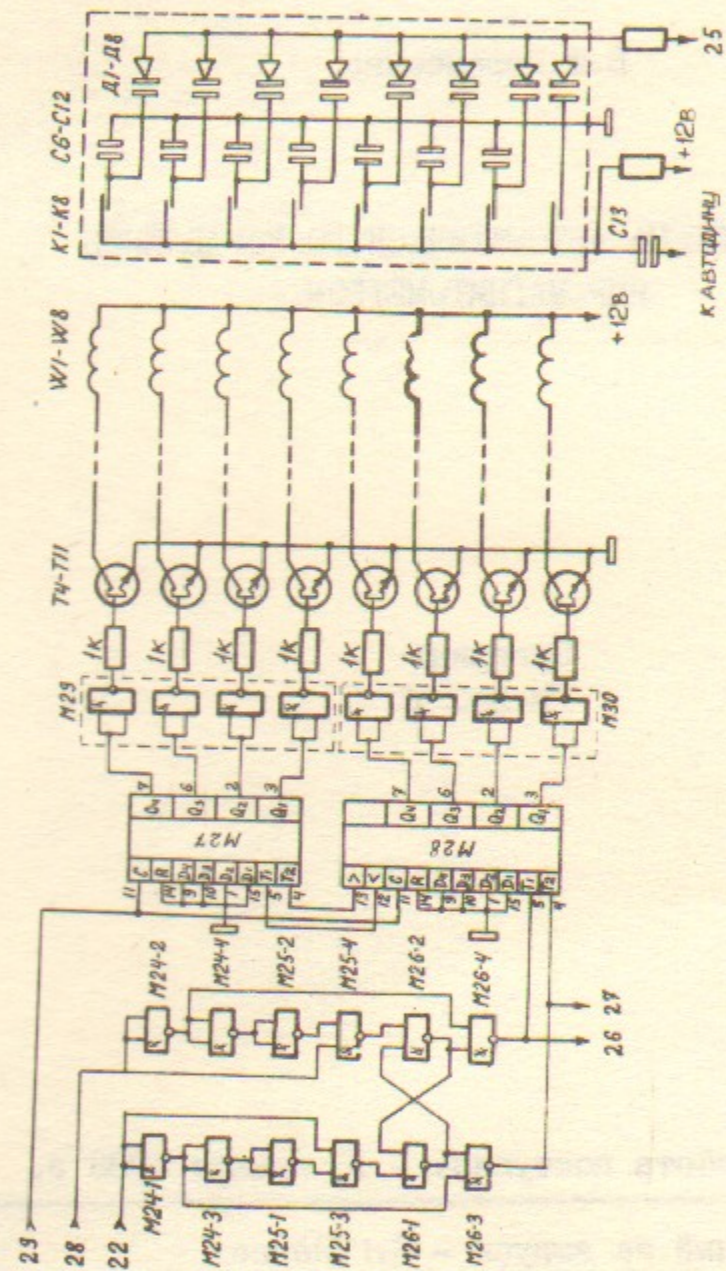


Рис 4

В.Ф.Веремеенко

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ЯМР-МАГНИТОМЕТРОМ

Препринт
№ 83-16

Работа поступила - 10 января 1983 г.

Ответственный за выпуск - С.Г.Попов
Подписано к печати 24.1-1983 г. МН 03031
Формат бумаги 60x90 1/16 Усл.0,8 печ.л., 0,6 учетно-изд.л.
Тираж 290 экз. Бесплатно. Заказ № 16.

Ротапринт ИЯФ СО АН СССР, г.Новосибирск, 90