

15

# И Н С Т И Т У Т ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН С С С Р

И Я Ф 73 - 70

Б.А.Баклаков, В.Ф.Веремеенко, М.М.Карлинер,  
Э.А.Купер, Б.В.Левичев, А.Д.Орешков, И.Я.Протопопов

## АППАРАТУРА ДЛЯ МАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ЭЛЕКТРОМАГНИТЕ ВАШ - 4

Новосибирск

1970

Б.А.Баклаков, В.Ф.Веремеенко, М.М.Карлинер, Э.А.Купер,  
Б.В.Левичев, А.Д.Орешков, И.Я.Протопопов

## А Н Н О Т А Ц И Я

Для проведения большого объёма магнитных измерений секций электромагнита протон-антипротонного накопителя ВАПП-4 разработана быстродействующая многоканальная аппаратура, в которой в качестве измерительных элементов используются датчики Холла, поочередно подключенные с помощью коммутатора на полевых транзисторах через масштабный усилитель к цифровому вольтметру. Результаты измерений могут быть получены на перфоленте, на магнитной ленте или введены непосредственно в ЭВМ. Время одного измерения 40 мсек, погрешность не превышает  $\pm (3 - 5) \cdot 10^{-4}$ .



В связи с большим объёмом магнитных измерений электромагнита протон-антипротонного накопителя ВАПП-4 в Институте ядерной физики (г.Новосибирск) была разработана и изготовлена усовершенствованная измерительная аппаратура, в которой для измерений магнитного поля используются датчики Холла, распределённые по рабочей области сечения магнита. Применение коммутатора на полевых транзисторах и использование непосредственной связи с ЭВМ позволило резко увеличить быстродействие системы по сравнению с системой, описанной в работе 1.

В качестве измерительных элементов используются датчики Холла, разработанные в СКБ ИП АН СССР (г.Ленинград). Типовые характеристики датчиков приведены в таблице 1. Эти датчики Холла отличаются малым дрейфом э.д.с. неэквипотенциальности и слабой зависимостью  $\Delta U$  от тангенциальной составляющей магнитного поля. Калибровка датчиков производится в специальном градуировочном магните, поле которого стабилизировано с помощью ядерного магнитометра с точностью не хуже  $\pm 1 \cdot 10^{-4}$ .

Блок датчиков Холла выполнен аналогично описанному в работе 1. Десять датчиков измеряют вертикальную компоненту магнитного поля (два ряда по 5 датчиков), два датчика - радиальную. Кроме них в блок вмонтированы термосопротивления, сигналы с которых используют в ЭВМ для внесения температурной поправки, что позволило отказаться от термостатирования.

Блок-схема измерительной системы представлена на рис.1, а её общий вид на рис.2.

Датчики Холла соединены последовательно и питаются от одного источника стабильного тока (1) с долговременной нестабильностью менее  $\pm (2 - 3) \cdot 10^{-4}$ . Схема генератора тока изолирована и имеет малую ёмкость по отношению к земле и питающей сети (200 пф).

Блок датчиков Холла (2) перемещается внутри камеры электромагнита по точно выполненным направляющим. Движение блока осуществляется непрерывно с помощью винта длиной около 4 метров, с которым механически связан световой датчик продольной координаты (3). Точность определения координаты  $\pm 0,1$  мм. Формирующее устройство светового датчика выдаёт импульсы синхронизации через 1 см.пути, пройденного блоком датчиков.

Выходы датчиков поочередно подключаются при помощи коммутатора на полевых транзисторах (4) к прецизионному усилителю постоянного тока (3). Схема коммутатора приведена на рис.3.

Включение любого датчика (ДХ1, ДХ2, и т.д. на рис.3) осуществляется при замыкании двух ключей на полевых транзисторах КП102Е. Полевой транзистор открыт, когда напряжение между стоком и затвором равно нулю, и закрыт, когда напряжение на затворе относительно истока больше или равно потенциалу запираения, который обычно равен  $+2 - 3$  в. Управление каналом осуществляет коммутирующий каскад на транзисторе КТ301А, потенциал на коллекторе которого может принимать два значения:  $+8$  в. -  $0,6$  в. Коллектор коммутирующего транзистора соединен с затворами двух полевых транзисторов кремниевыми диодами КД503Б, шунтированными ёмкостями  $200$  пф, которые служат для ускорения переключения. Такая схема управления ключами позволяет поддерживать на затворе открытого транзистора нулевой потенциал относительно истока (режим с плавающим затвором).

Падение напряжения, возникающее за счёт того, что токи затворов запёртых транзисторов в других каналах протекают по отпертому ключу, ухудшает точность измерения, но при одинаковых сопротивлениях пары ключей в открытом состоянии и одинаковых токах затвора происходит компенсация этих напряжений. Поэтому, полевые транзисторы подбирались в пары с одинаковыми сопротивлениями в открытом состоянии и одинаковыми токами затворов. Отобранные транзисторы обладают следующими характеристиками: ток затвора в закрытом состоянии не более  $10^{-9}$  а, сопротивление ключа в открытом состоянии не более  $3$  ком, в закрытом не менее  $10^{10}$  ом. Симметрия схемы коммутатора уменьшает синфазную наводку от сети. Для уменьшения коммутационных помех предусмотрен канал, закорачивающий вход усилителя в момент переключения на время порядка  $200$  мксек. Монтаж коммутатора произведен на стеклотекстолите и фторпласте для исключения утечек.

Температурный дрейф разностной э.д.с., возникающей вследствие несбалансированности токов затворов и сопротивлений ключей равен  $0,2 - 1,0$  мкв/град.С в рабочем диапазоне температур ( $10 - 30$  град.С).



Масштабный усилитель постоянного тока выполнен по схеме "модулятор - усилитель - демодулятор" с преобразованием сигнала на полевых транзисторах КП102Е. Применение полевых транзисторов в модуляторе позволило получить малый температурный (2 мкв/град.С) и временной (5 мкв за 8 часов) дрейф нуля усилителя. Для получения большого входного сопротивления (это необходимо, так как открытый ключ на полевом транзисторе имеет сравнительно большое сопротивление) и стабильного коэффициента усиления усилитель охвачен перекрестной обратной связью (рис.4). Такая обратная связь оказалась возможной благодаря тому, что вход усилителя балансный (ослабление синфазного сигнала усилителем без обратной связи 120 децибелл) и источник сигнала не заземлен. Усилитель сбалансирован таким образом, что входное сопротивление равно 30 Мом. Нестабильность коэффициента усиления в рабочем диапазоне температур не более  $3 \cdot 10^{-4}$ . Постоянная времени усилителя порядка 1мсек.

Для уменьшения электромагнитной наводки проводники, соединяющие датчики Холла с усилителем, перевиты, а вся схема экранирована. Уровень наводки, приведенный ко входу усилителя составляет 20 - 30 мкв, но её влияние уменьшается из-за того, что запуск цифрового вольтметра В2-22(7) синхронизирован с сетью.

Измеренное вольтметром напряжение в виде параллельного двоично-десятичного кода поступает на преобразователь кода (9), который трансформирует код в параллельно-последовательный для передачи в МОЗУ ЭВМ. Время передачи одной цифры в виде пятиразрядного параллельного кода - 60 мксек. Для наладочных и калибровочных работ предусмотрена работа на перфоратор ПЛ-20. Кроме того, имеется возможность записи результатов измерения на магнитофонную ленту. При работе непосредственно на ЭВМ (без магнитофона) предусмотрена возможность использования телетайпного канала ЭВМ для ввода данных в машину, управления программой обработки измерений и оперативного получения информации о ходе измерений.

Автоматический цикл измерений в одном сечении электромагнита включает запись нуля усилителя при закороченном входе, последовательный опрос 12 датчиков Холла, проверку коэффициента усиления усилителя и тока датчиков, контроль температуры блока датчиков, запись значения тока электромагнита. Управ-

ление каналами и цифровым вольтметром осуществляет программатор (5). Начало цикла определяется импульсом синхронизации от датчика продольной координаты. Время одного измерения равно 40 мсек, время измерений в одном сечении (т.е. длительность цикла) равно 640 мсек. Измерение производится без останковки блока датчиков, который проходит путь длиной 0,5 см за полный цикл. На рис.5 показана временная диаграмма работы системы с частотой 25 ги. Работа системы синхронизирована с частотой питающей сети. Предусмотрены режимы внешнего ручного и автоматического запусков. В момент начала цикла в ЭВМ посылается значение координаты блока датчиков.

Перед началом измерений блоком исходных данных (8) в ЭВМ посылаются следующие данные: стандартный код, означающий начало очередного измерения; номер измерения; номер магнита; дата измерения; шифр оператора, производящего измерения; резервная информация.

Благодаря тому, что в течение цикла измерений в одном сечении электромагнита в ЭВМ заносятся значения нуля и коэффициента усиления усилителя, а также тока датчиков Холла, существенно снижаются требования на долговременную стабильность этих параметров.

Суммарная погрешность данной измерительной системы не превышает  $\pm(3 - 5) 10^{-4}$ .

Таблица 1.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКОВ ХОЛЛА СКБ ИП АН СССР

Чувствительность датчиков при рабочем токе, мкв/эрстед	10 - 15
Рабочий ток, ма	160
Температурный коэффициент чувствительности, %/град.С	0,01 - 0,03
Входное и выходное сопротивления. ом	1 - 3
Э.д.с. неэквипотенциальности при рабочем токе не более, мкв	100
Температурный коэффициент э.д.с. неэквипотенциальности, мкв/град.С	1 - 2
Рабочая площадь датчика, мм <sup>2</sup>	1,5 x 0,5



## Л и т е р а т у р а

1. Б.А.Баклаков, М.М.Карлинер, Б.В.Левичев, А.С.Медведко, И.Я.Протопопов. "Устройство для прецизионных измерений магнитного поля в электромагните накопителя". Труды Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Москва, 9-16 октября 1968, том 1, стр.674.
2. Б.А.Баклаков, М.М.Карлинер, Б.В.Левичев, А.С.Медведко, И.Я.Протопопов. "Применение датчиков Холла для прецизионных измерений магнитного поля". Препринт ИЯФ 9-17 СО АН СССР, Новосибирск, 1970.



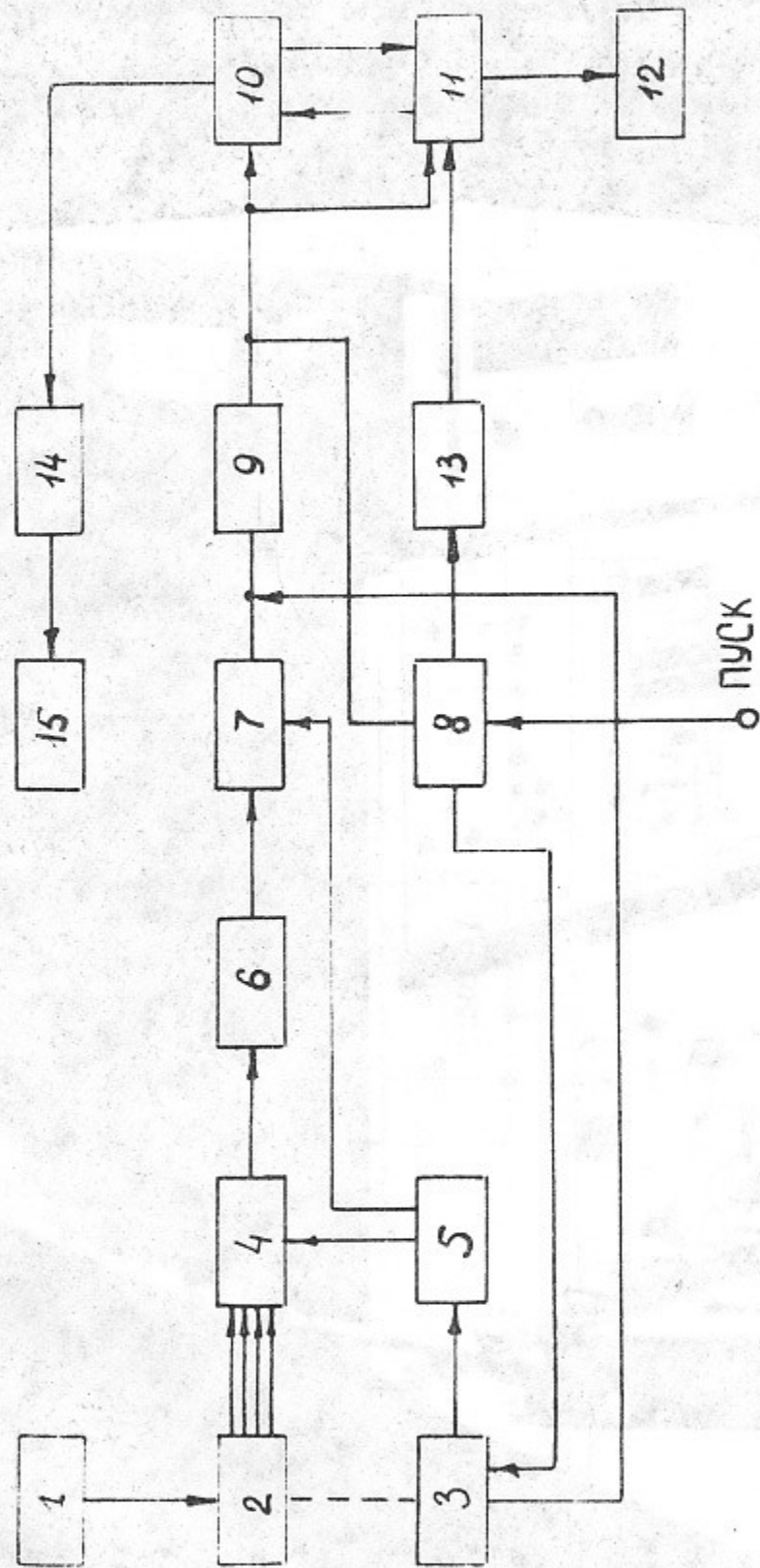


Рис. 1. Блок-схема измерительной системы, где 1-генератор тока; 2-блок датчиков Холла; 3-блок перемещения и измерения координаты; 4-коммутатор; 5-программатор; 6-усилитель постоянного тока; 7-цифровой вольтметр; 8-блок исходных данных; 9-преобразователь кода; 10-вычислительная машина "Минск-22"; 11-буфер; 12-магнитофон; 13-блок управления записью; 14-преобразователь кода; 15-электрическая пишущая машинка.

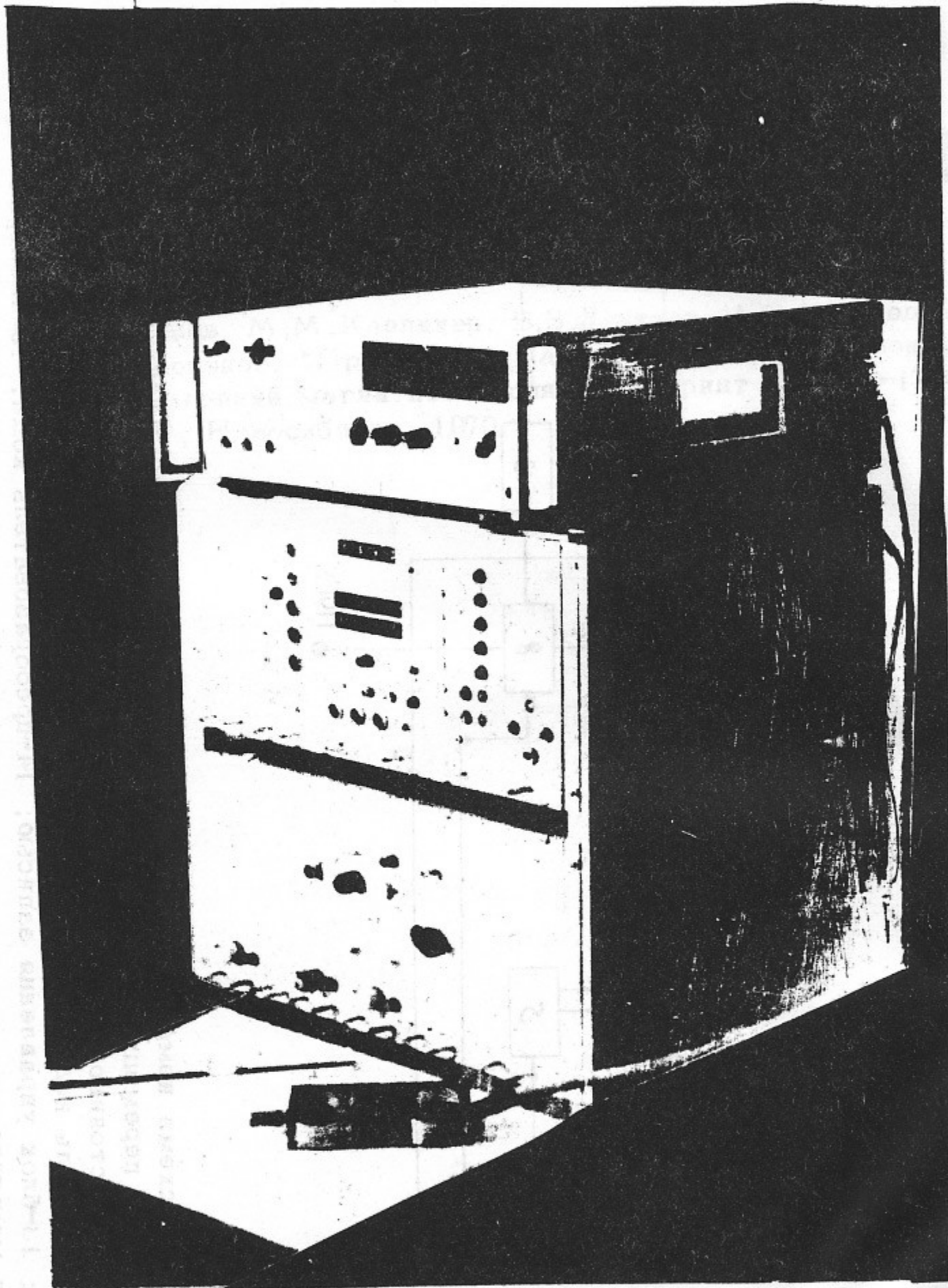


Рис.2. Фотография измерительной системы.



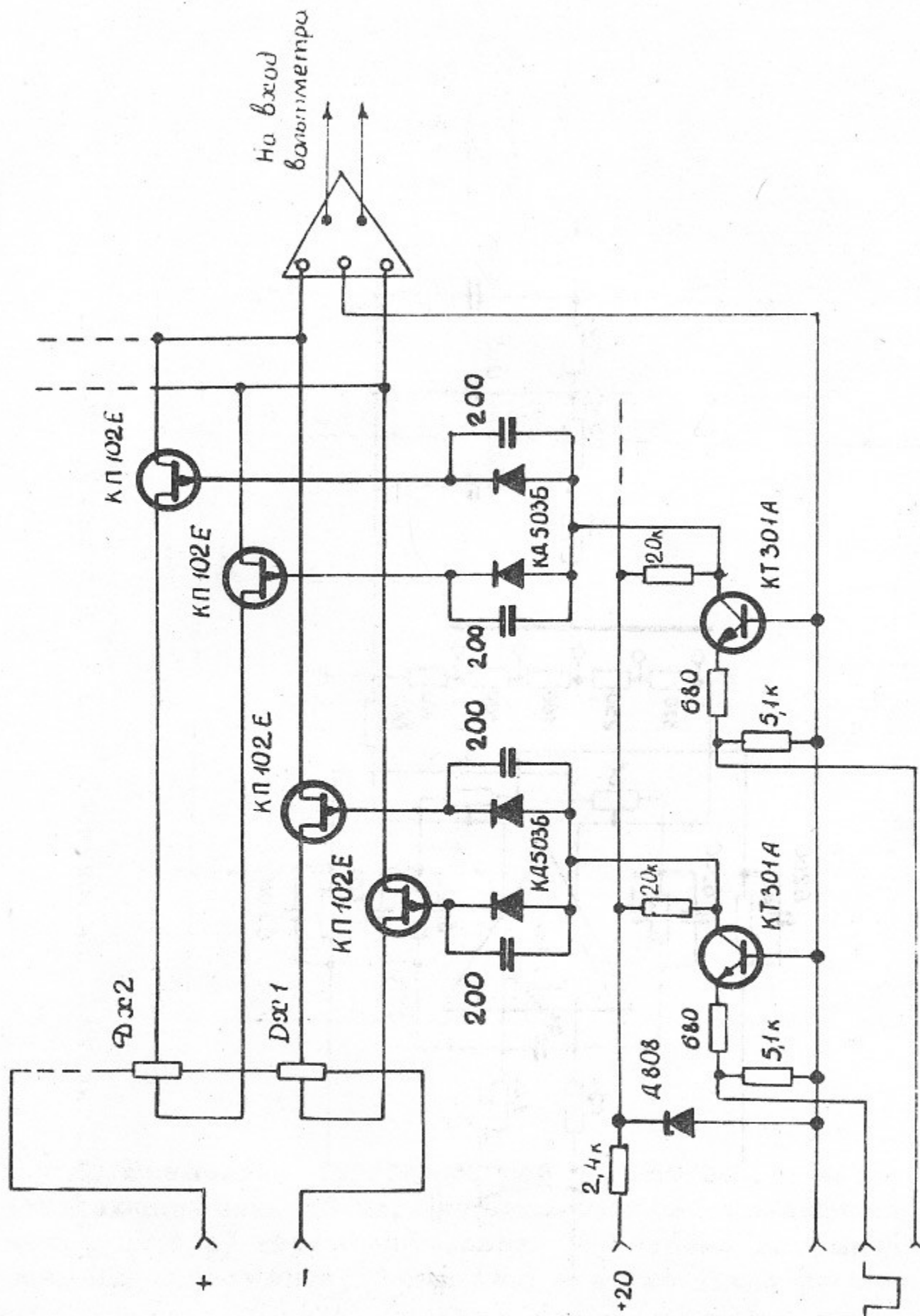


Рис.3. Схема коммутатора на полевых транзисторах.

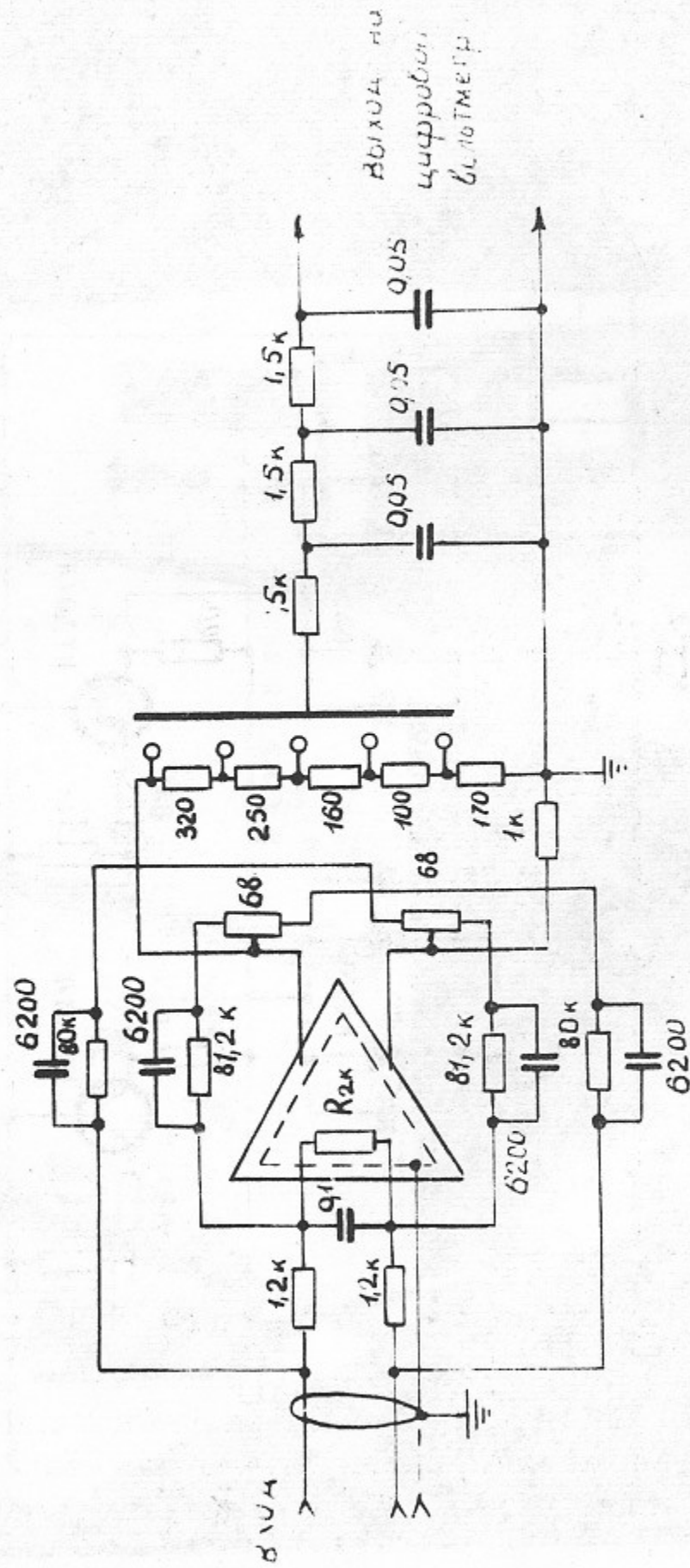


Рис.4. Усилитель постоянного тока с обратными связями.



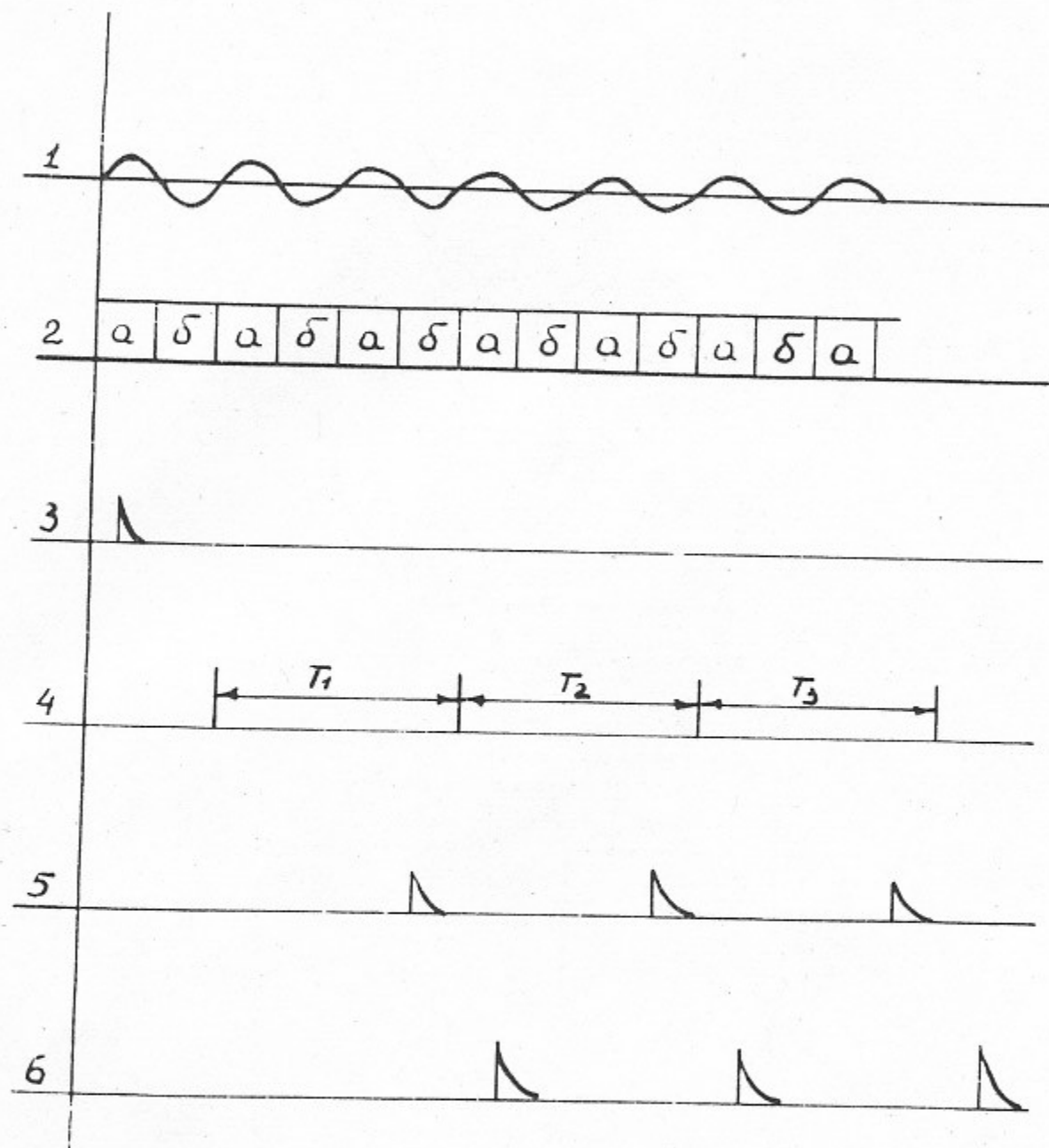


Рис.5. Временная диаграмма работы системы с частотой 25 гц: 1-питающая сеть 50 гц; 2-диаграмма работы цифрового вольтметра, где а) -время измерения, б) -время запоминания измеряемого напряжения; 3-импульс запуска цикла измерений; 4-диаграмма переключения каналов, где  $T_1$ -время в течение которого включен первый канал,  $T_2$ -время в течение которого включен второй канал и т.д.; 5-импульсы запуска вольтметра; 6-импульсы запуска преобразователя кода.

---

Ответственный за выпуск А.Д.Орешков

Подписано к печати 7.09.70

Усл. 0,6 печ.л., тираж 200 экз. Бесплатно.

Заказ № 73 . ПРЕПРИНТ

---

Отпечатано на ротапринтере в ИЯФ СО АН СССР, нв