

747



Лаборатория ядерных проблем

Б.Ю. Семенов, А.Н. Сянаев, В.А. Яковлев

747

ПРИБОР ДЛЯ ВЫВОДА  
НА САМОПИШУЩИЙ АВТОПОТЕНЦИОМЕТР  
ДАННЫХ С ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ  
МНОГОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Дубна 1981

Б.Ю. Семенов, А.Н. Сянаев, В.А. Яковлев

747

ПРИБОР ДЛЯ ВЫВОДА  
НА САМОПИШУЩИЙ АВТОПOTЕНЦИОМЕТР  
ДАННЫХ С ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ  
МНОГОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ

## В в е д е н и е

В последние годы в блоках регистрации амплитудных и временных анализаторов и других многоканальных систем все шире применяются различные запоминающие устройства. Для вывода информации из запоминающих устройств и представления ее в удобной для анализа форме могут использоваться цифропечатающие аппараты или самопишущие автопотенциометры. В сложных системах информация из запоминающих устройств передается для дальнейшего анализа на электронную вычислительную машину/. Применение таких приборов значительно сокращает время, потребное для расшифровки и обработки полученного спектра, особенно при большом числе каналов.

При использовании самопишущего автопотенциометра /самописца/ информация представляется на бумажной ленте в виде гистограммы. Основным недостатком этого метода является ограниченная точность регистрации чисел: она не может быть выше точности работы самописца / $0,5 \pm 1\%$ ; однако, во многих случаях эта точность оказывается вполне достаточной. К преимуществам такого метода относятся наглядность представления спектра и простота электронной схемы по сравнению со схемой, необходимой для вывода информации на цифропечатающий аппарат. В настоящее время вывод информации на самописец применяется в ряде анализаторов, однако отдельные описания такого рода устройств отсутствуют. Ниже описывается прибор, предназначенный для работы с многоканальными системами, имеющими запоминающее устройство с последовательным /порядковым/ считыванием числа импульсов, зарегистрированных в каждом канале, в двоичной системе счисления. К таким запоминающим устройствам относятся устройства, использующие потенциалоскопы, электроинно-лучевые трубки, линии задержки, магнитные барабаны и т.д. Разработанный нами прибор выполнен в виде отдельного блока и может быть использован в качестве приставки к многоканальной системе, использующей любое из названных запоминающих устройств. При работе с конкретной многоканальной системой схема прибора может быть несколько упрощена. Схема упрощается и при использовании прибора с системой, имеющей запоминающее устройство с параллельным /одновременным/ считыванием всех разрядов числа /например, запоминающее устройство на ферритовых сердечниках/.

### Погрешности прибора

Говоря о точности, требуемой от прибора, прежде всего надо иметь в виду, что он предназначен для работы с многоканальными системами, которые регистрируют импульсы, являющиеся статистически независимыми случайными событиями. Следовательно, если в канале зарегистрировано  $N$  импульсов, то относительное среднеквадратичное отклонение будет равно  $\pm \frac{1}{\sqrt{N}}$ . Например, при регистрации 10.000 импульсов относительное среднеквадратичное отклонение будет равно 1%. Очевидно, не имеет смысла требовать, чтобы собственная погрешность прибора была во много раз меньше статистической погрешности.

В качестве самописца в приборе используется электронный автоматический потенциометр ЭПП-09. Его основная относительная погрешность  $\delta_1$  составляет  $\pm 0,5\%$  от предела измерения. Если же запись производится не в конце шкалы, то погрешность соответственно увеличивается. Погрешность  $\delta_2 = \pm 10,2 \div 0,5\%$  будет вносить схема преобразования числа в напряжение, подаваемое на самописец.

Поскольку из-за указанных погрешностей число импульсов, зарегистрированных в каком-либо канале, не может быть записано с абсолютной точностью, то для упрощения конструкции прибора можно учитывать не все, а только старшие двоичные разряды числа. Если ошибка за счет отбрасывания младших разрядов будет меньше суммы остальных погрешностей, то общая точность записи существенно не ухудшится. Пусть при записи  $m$ -разрядного числа учитывается только  $n$  его старших разрядов, а  $m-n$  младших разрядов отбрасывается. Если во всех  $n$  разрядах записана единица, то самописец должен отклониться на всю шкалу. Относительная ошибка при этом будет равна

$$\delta_3 = - \frac{2^{m-n}}{2^m} 100\% = - \frac{100}{2^n} \%$$

Формула справедлива при числе отброшенных разрядов  $m-n > 3$ ; в противном случае ошибка будет меньше. В большинстве случаев достаточно учитывать

$n = 8$  разрядов числа; при этом  $\delta_3 = 0,4\%$ . Если запись производится не в конце шкалы самописца, то  $\delta_1$  и  $\delta_3$  будут увеличиваться в одинаковом отношении; так, при записи в середине шкалы они возрастут вдвое.

### Блок-схема прибора

На рис. 1 показана временная диаграмма импульсов, поступающих от многоканальной системы. По первому кабелю поступают отрицательные импульсы каналов, отмечающие начало считывания информации с каждого канала. Время между следованием двух соседних импульсов порядка 100 мксек; число каналов может доходить до нескольких сотен. По этому же кабелю подается положительный импульс начала цикла многоканальной системы, который отмечает начало считывания информации с первого канала. По второму кабелю поступают отрицательные импульсы, отмечающие положение разрядов числа; разряды следуют, начиная с младшего. Предполагается, что в каждом канале может быть записано 16 разрядное число в двоичной системе счисления. По этому же кабелю подаются положительные импульсы числа, означающие, что в данном разряде записана единица /отсутствие импульса означает запись нуля/. Время между следованием двух соседних разрядов числа составляет несколько микро-секунд.

Прибор должен после нажатия кнопки произвести считывание числа, зарегистрированного в последнем канале, преобразовать это число в соответствующее ему напряжение и запомнить его на время, достаточное для регистрации самописцем. После этого прибор должен произвести считывания числа, зарегистрированного в предпоследнем канале и т.д. /Считывание удобнее начинать с последнего канала для того, чтобы на ленте самописца каналы шли слева направо в порядке возрастания номеров/. Следовательно, в состав прибора должны входить: схема выбора канала, схема считывания и запоминания числа, схема преобразования числа в напряжение и самописец. У используемого самописца время прохождения кареткой шкалы составляет 1 сек, следовательно, для записи числа, зарегистрированного в каждом канале достаточно 1,5 сек.

Блок-схема прибора изображена на рис. 2. После нажатия кнопки "пуск" начинает работать генератор линейно-падающего напряжения. Период его работы должен быть равен времени записи всего спектра. Импульс начала цикла и импульсы каналов подаются на схему получения нарастающего ступенчатого напряжения. С приходом каждого импульса канала напряжение на выходе этой схемы увеличивается на определенную величину. С приходом импульса начала

цикла напряжение на выходе схемы сбрасывается до минимального значения. Следовательно, каждому каналу соответствует определенное напряжение. Это напряжение и напряжение с выхода генератора линейно-падающего напряжения подаются на схему сравнения. Импульс на выходе схемы сравнения возникает при равенстве обоих напряжений. Он определяет начало считывания числа, зарегистрированного в выбранном канале. Как уже упоминалось, считывание начинается с последнего канала.

Наиболее подходящим устройством для последовательного /поразрядного/ считывания и запоминания числа является так называемый сдвигающий регистр; такие регистры широко применяются в арифметических устройствах электронных вычислительных машин. В качестве ячеек сдвигающего регистра применяются обычные триггеры с дополнительными элементами для связи. На блок-схеме значащие ячейки сдвигающего регистра обозначены " $2^0-2^7$ " и вспомогательные триггеры - "Тр 1" и "Тр 2". Импульс начала считывания переводит триггер "Тр 2" в положение "нуль". Передним фронтом импульса от этого триггера формируется импульс сброса, который переводит все триггеры сдвигающего регистра в первоначальное состояние. При первоначальном состоянии триггер "Тр 1" находится в положении "единица", а все остальные триггеры регистра - в положении "нуль"; единицу, записанную на триггере "Тр 1", будем называть служебной единицей. Перейдя в положение "единица", триггер "Тр 2" открывает схему пропускания, и через нее начинают проходить импульсы разрядов, которые являются для сдвигающего регистра импульсами сдвига. При поступлении первого импульса сдвига служебная единица перейдет из триггера "Тр 1" в триггер " $2^7$ ", а триггер "Тр 1" возвратится в положение "нуль". Если в первом разряде числа, зарегистрированного в данном канале, записана единица, то она снова переведет триггер "Тр 1" в положение "единица"; если же в этом разряде записан нуль, то триггер "Тр 1" останется в положении "нуль". Второй импульс сдвига переведет служебную единицу в триггер " $2^6$ ", триггер "Тр 1" передает свое состояние триггеру " $2^7$ ", а затем сам воспринимает информацию, записанную во втором разряде числа и т.д. Таким образом, при поступлении импульса сдвига каждая ячейка сдвигающего регистра передает свое состояние последующей, а сама переходит в состояние предыдущей ячейки; триггер "Тр 1" воспринимает информацию из соответствующего разряда числа. Когда служебная единица дойдет до триггера "Тр 2", то он переходит в положение

"единица", схема пропускания закрывается, и поступление импульсов сдвига прекращается. На значащих элементах сдвигающего регистра будет записано то же число, что и в соответствующем канале многоканальной системы. В сдвигающем регистре имеется 8 значащих ячеек, следовательно, он может воспринимать только 8 разрядов числа. При помощи схемы выбора масштаба можно выбирать любые 8 разрядов шестнадцатиразрядного числа. Переключатель схемы выбора масштаба может быть соединен с любой ячейкой сдвигающего регистра. Когда служебная единица достигает соответствующей ячейки, то со схемы выбора масштаба подается импульс на схему сброса, в результате чего все триггеры регистра переходят в первоначальное состояние. С поступлением следующего импульса сдвига весь процесс начинается снова, но уже с очередного разряда. На этот раз благодаря блокировке импульс на схему сброса поступить не может. На рис. 3 приведена временная диаграмма положения отдельных элементов прибора при считывании двоичного числа 1101000100000101, когда переключатель масштаба находится в девятом положении /т.е. записываются восемь старших разрядов числа/.

В приборе применена релейная схема преобразования числа в напряжение, основанная на суммировании токов. В аноды триггеров значащих элементов сдвигающего регистра включены реле. Если данный триггер находится в положении "единица", то через контакты реле проходит определенный ток. Величины токов подобраны по двоичному закону в соответствии с местом триггера. Эти токи суммируются на общем сопротивлении, напряжение с которого подается на самописец.

Поскольку для записи самописцем информации с одного канала требуется не менее 1,5 секунды, а весь цикл многоканальной системы имеет порядок десятков миллисекунд, то информация с одного и того же канала записывается на сдвигающий регистр подряд несколько сотен раз. Это обеспечивается соответствующим наклоном линейно-падающего напряжения, получаемого от генератора. За время перезаписи информации реле не успевают изменить своего состояния. Благодаря многократной перезаписи случайное искажение информации при ее передаче на сдвигающий регистр не имеет значения, так как оно будет исправлено в течение следующего цикла многоканальной системы.

После окончания записи информации с первого канала, осуществляемой в

последнюю очередь, прекратится поступление импульсов от схемы сравнения. Это вызовет появление импульса конца записи, который подается на схему сброса. Импульс сброса возвратит триггеры сдвигающего регистра в первоначальное состояние из того состояния, в котором они остались после записи информации с первого канала. После этого каретка самописца возвратится в нулевое положение.

#### Принципиальная схема прибора

Принципиальная схема прибора приведена на рис. 4. Генератор линейно-падающего напряжения собран на лампах  $L_1$  и  $L_{2a}$ . Принцип его действия основан на линейном разряде емкости через пентод. Подключение управляющей сетки и катодного сопротивления разрядного пентода к части выходного сопротивления катодного повторителя увеличивает диапазон линейного разряда; он составляет более 100 вольт при коэффициенте нелинейности около 10%. Скорость изменения напряжения  $/0,2 \div 1,2/$  в/сек; она регулируется потенциометром  $P_1$ . Начальное напряжение генератора, которое устанавливается при нажатии кнопки "пуск", регулируется потенциометром  $P_2$ .

Схема получения нарастающего ступенчатого напряжения собрана на лампах  $L_7$ ,  $L_{23} \div L_{25}$ . Отрицательные импульсы каналов запускают запертый блокинг-генератор на лампе  $L_7$ , являющийся формирующим устройством. Положительный импульс с блокинг-генератора через дозирующую емкость  $C_1$  и левую половину диода  $L_{23}$  заряжает емкость  $C_2$ . Амплитуда зарядного импульса поддерживается постоянной, благодаря ее ограничению полупроводниковым диодом, присоединенным к напряжению +75 в. Напряжение на емкости  $C_2$  сохраняется неизменным до прихода следующего импульса. Обратная связь, подаваемая через катодный повторитель на лампе  $L_{24a}$  и диод Д2Е, обеспечивает постоянную величину приращения напряжения на емкости  $C_2$  от каждого зарядного импульса; это приращение имеет величину около 1 в. Кремниевый стабилитрон Д810 создает нужный потенциал в цепи обратной связи. Из положительного импульса начала цикла при помощи ламп  $L_{24b}$  и  $L_{25}$  формируется разрядный импульс, который через правую половину диода  $L_{23}$  разряжает емкость  $C_2$ . Величина разрядного импульса фиксируется полупроводниковым



диодом, стоящим в анодной цепи лампы  $L_{25}$ . Схема сравнения, на которую подаются выходные напряжения с генератора линейно-падающего напряжения и со схемы получения ступенчатого напряжения, выполнена на лампах  $L_4$  и  $L_5$ . Она представляет собой схему с двумя устойчивыми состояниями. Для ускорения перехода из одного состояния в другое анод каждой лампы соединен с экранной сеткой соседней, а также введена цепочка, соединяющая анодную цепь лампы  $L_5$  с управляющей сеткой лампы  $L_4$ . После начала пикла лампа  $L_4$  открыта, а лампа  $L_5$  закрыта; при достижении равенства поступающих напряжений лампы меняются ролями. Отрицательный импульс с анода  $L_5$  дифференцируется и подается на вспомогательную схему пропускания, собранную на лампе  $L_6$ ; на другой вход схемы пропускания подаются положительные импульсы каналов, сформированные блокинг-генератором на лампе  $L_7$ . На выходе схемы пропускания вырабатывается отрицательный импульс начала считывания. Введение схемы пропускания значительно повышает надежность работы всей схемы выбора канала.

Импульс начала считывания опрокидывает триггер "Тр 2", собранный на лампе  $L_{22}$ ; при этом запертой становится правая половина лампы. Положительный импульс, снимаемый с анодной цепи правой половины лампы этого триггера, после дифференцирования запускает формирующий блокинг-генератор, собранный на лампе  $L_8$ , который вырабатывает отрицательный импульс сброса. Импульс сброса подается на все триггеры сдвигающего регистра, приводя их в первоначальное состояние. Напряжение с правого анода триггера "Тр 2" подается на диодно-трансформаторную схему пропускания, в состав которой входит также катодный повторитель на лампе  $L_{26}$ . Пока заперта правая половина триггера "Тр 2" отрицательные импульсы разрядов запускают блокинг-генератор на лампе  $L_{10}$ , который формирует отрицательные импульсы сдвига, подаваемые на сдвигающий регистр.

Значимыми ячейками сдвигающего регистра служат триггеры, собранные на лампах  $L_{14} \div L_{21}$ , а вспомогательными - триггеры, собранные на лампах  $L_{13}$  и  $L_{22}$ . Дополнительными элементами в схемах триггеров являются полупроводниковые диоды, включенные в их сеточные цепи, а также цепочки, состоящие из сопротивлений  $R = 68$  ком и  $160$  ком и емкости  $C = 36$  пф. При поступлении импульса сдвига эти элементы обеспечивают переход каждого триггера в положение, в котором ранее находился предыдущий триггер. Так, импульс

сдвига пройдет только через диод, соединенный с цепочкой, которая включена в анодную цепь проводящей лампы предыдущего триггера. Благодаря интегрирующему действию цепочки  $RC$  потенциал на катоде диода не успеет измениться за время наличия импульса сдвига, если предыдущий триггер также переходит в новое положение.

Масштаб выбирается присоединением при помощи переключателя "Пер" запертого блокинг-генератора на лампе  $L_{11б}$  к анодной цепи правой половины лампы одного из значащих триггеров сдвигающего регистра /при масштабе, равном единице, присоединение не производится/. Этот блокинг-генератор запускается при поступлении служебной единицы на соответствующий триггер. Продифференцированный импульс с блокинг-генератора в свою очередь запускает блокинг-генератор на лампе  $L_{11а}$ , который формирует импульс сброса. Вторичного запуска блокинг-генератора на лампе  $L_{11б}$  при поступлении очередной единицы на соответствующий триггер не происходит благодаря значительному мертвому времени блокинг-генератора.

Отрицательные импульсы с анода лампы  $L_5$  схемы сравнения проходят также через катодный повторитель на лампе  $L_{9б}$  и заряжают емкость  $C=20\text{мкф}$ , стоящую в сеточной цепи триггера Шмидта, собранного на лампе  $L_3$ . Благодаря положительному напряжению на емкости левая половина лампы  $L_3$  открыта, правая - заперта. После окончания записи спектра поступление импульсов со схемы сравнения прекращается, емкость  $C=20\text{мкф}$  постепенно разряжается и триггер Шмидта опрокидывается. Положительный импульс с триггера запускает блокинг-генератор на лампе  $L_8$ , который формирует импульс сброса. После этого все триггеры регистра переходят в первоначальное состояние. Реле  $P_9$ , стоящее в анодной цепи левой половины лампы  $L_3$ , выключает электродвигатель, приводящий в движение диаграмную ленту самописца. Потенциометром  $P_3$ , стоящим в сеточной цепи триггера Шмидта, регулируется время записи самописцем информации, поступающей с канала, который выбирается последним; это время может быть сделано таким же, как и для остальных каналов.

Для проверки и настройки прибора предусмотрены кнопки установки значащих триггеров сдвигающего регистра на нуль /в первоначальное положение/ и на единицу.

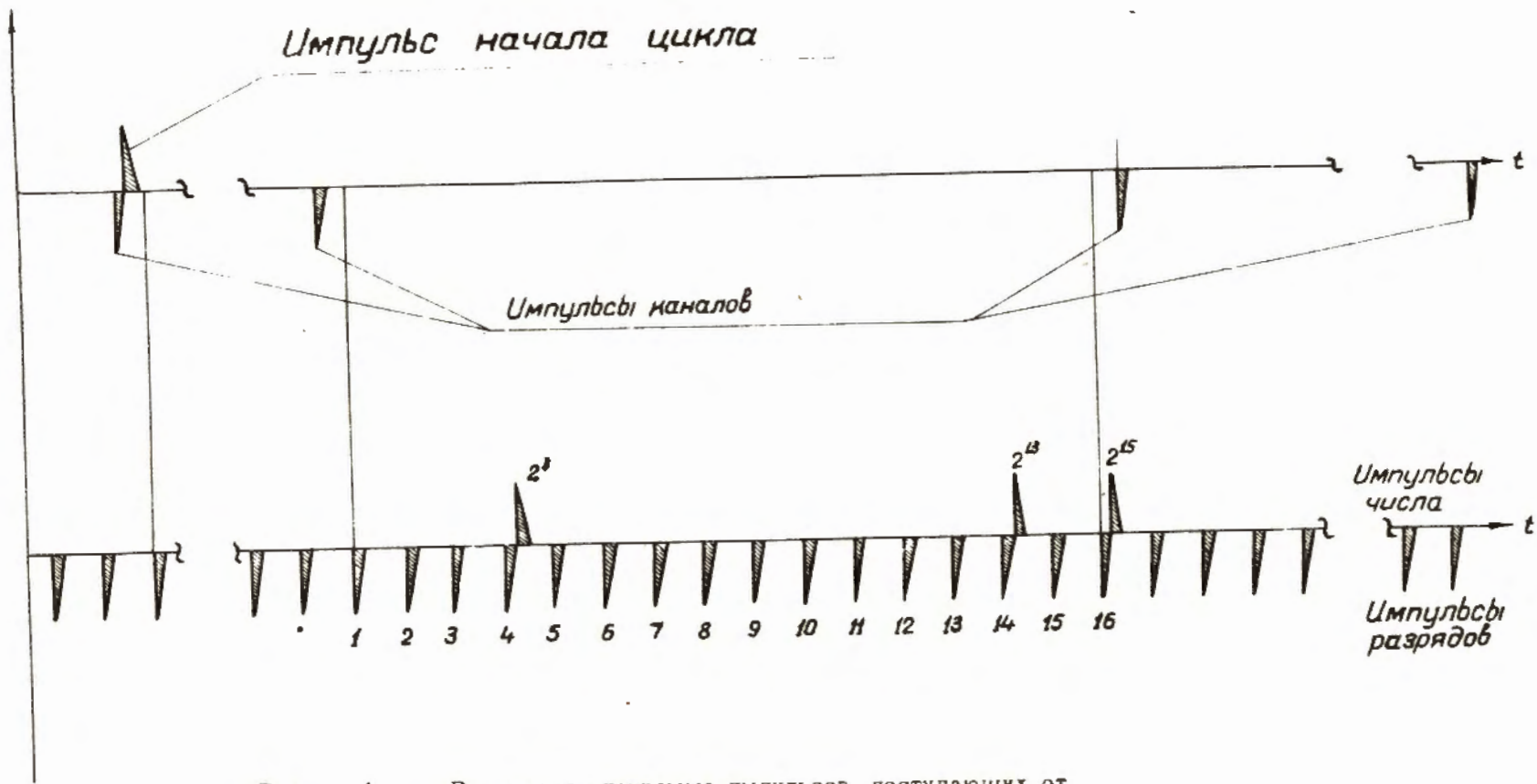
Для преобразования числа в напряжение в анодных цепях значащих триггеров сдвигающего регистра установлены поляризованные реле типа РП-4 / $R_0 \div R_7$ /. Схема преобразования числа в напряжение помещена в левом верхнем углу рис. 4. Работа схемы основана на принципе получения калиброванных токов и их сложения на общем сопротивлении. Величина калиброванных токов определяется сопротивлениями  $R_0 \div R_3$  /имеется две группы таких сопротивлений соответственно для четырех младших и четырех старших разрядов числа/. Величины сопротивлений удовлетворяют следующему соотношению:  $R_0 = \frac{R_1}{2} = \frac{R_2}{4} = \frac{R_3}{8}$ . Через каждое из этих сопротивлений течет постоянный ток независимо от положения контактов реле; только в одном случае ток проходит далее через сопротивление, напряжение с которого подается на самописец, а в другом случае — через балластное сопротивление той же величины. Напряжение на самописец снимается с сопротивлений  $R_{11}$  и  $R_{12}$ . Суммирование токов четырех младших разрядов происходит на сопротивлении  $R_{12}$ , а четырех старших — на сопротивлении  $R_{11} \div R_{12}$ . Величина сопротивления  $R_{11} \div R_{12}$  должна быть много меньше самого малого сопротивления из группы  $R_0 \div R_3$ ; отношение сопротивлений  $\frac{R_{11}}{R_{12}}$  должно быть равно 15. Когда все триггеры регистра находятся в положении "единица", на самописец подается напряжение около 10 мВ, необходимое для его отклонения на всю шкалу. Точную регулировку этого напряжения /подстройку масштаба/ можно производить при помощи потенциометра П<sub>4</sub>. Все сопротивления изготовлены из марганцовой проволоки с точностью  $0,06 \div 0,1\%$ .

### З а к л ю ч е н и е

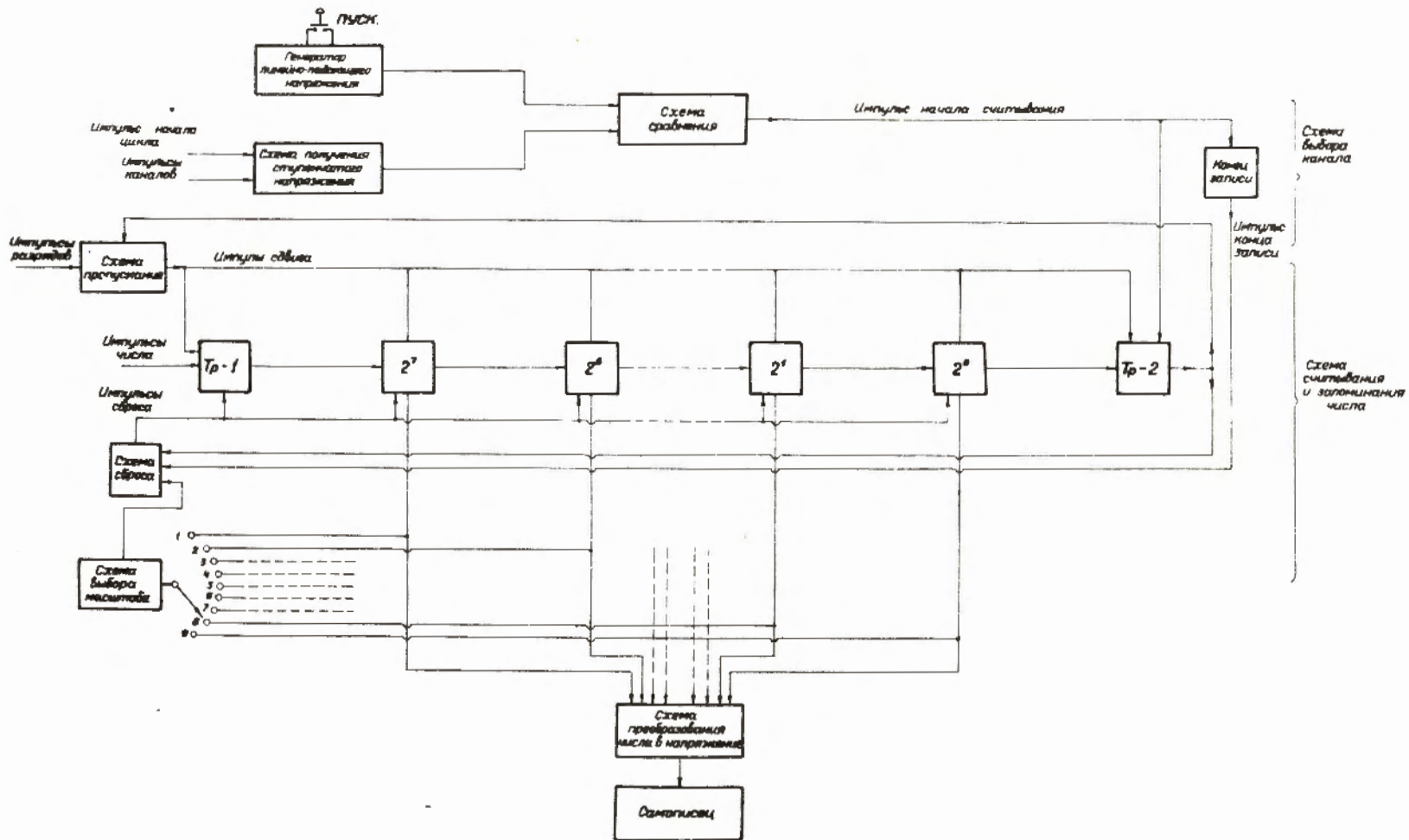
Прибор вместе с самописцем потребляет из сети 280 вА. Общий вид его показан на рис. 5. На рис. 6 представлена снятая прибором гистограмма энергетического спектра  $Co^{60}$ , который зарегистрирован 64-канальным амплитудным анализатором с запоминающим устройством на потенциалоскопе; рядом представлена фотография этого же спектра с экрана электронно-лучевой трубки в двоичной системе счисления.

Авторы благодарят г.г. Фадеева Л.А. и Цымбулова И.В. за изготовление прибора.

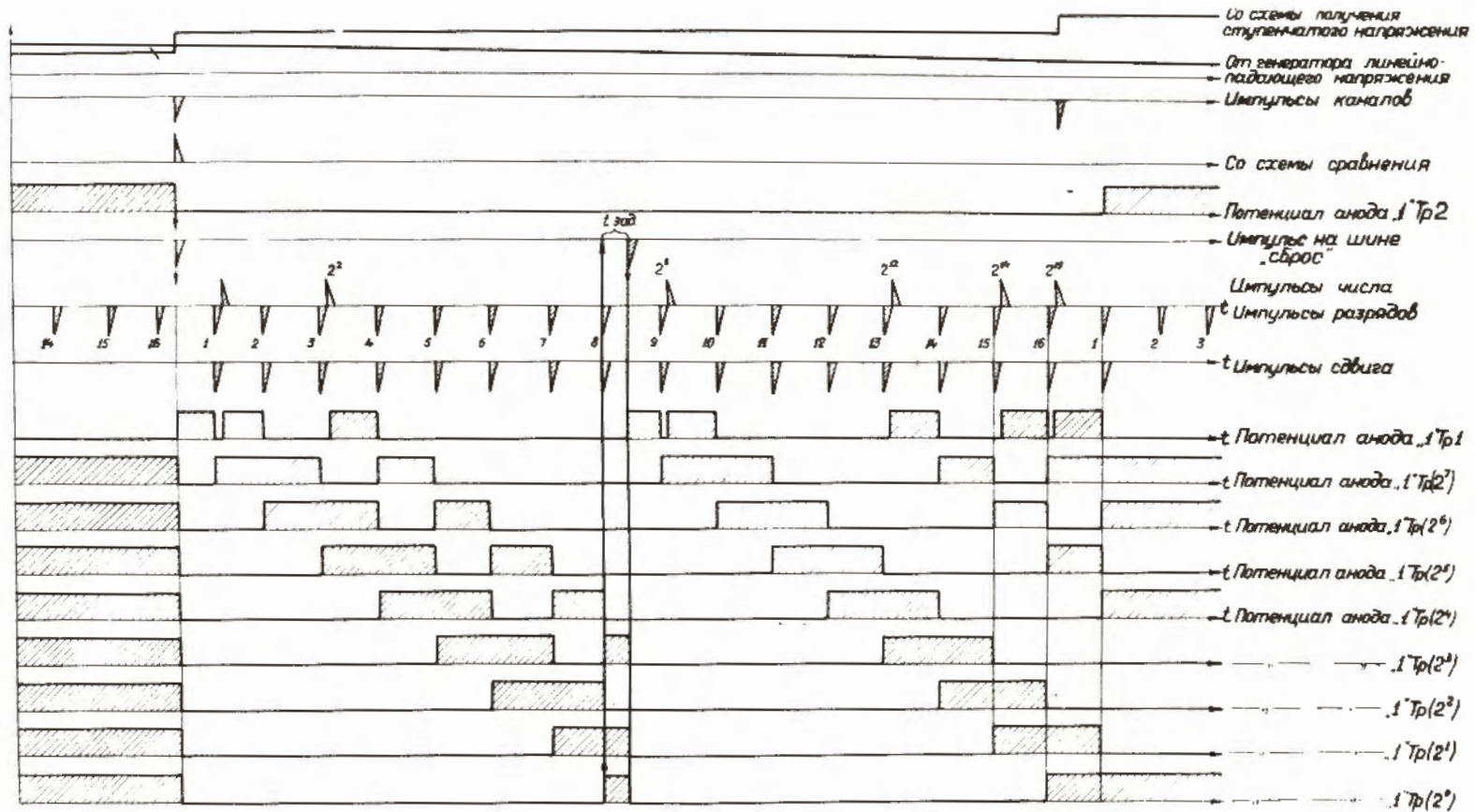
Рукопись поступила в издательский отдел  
15 мая 1961 г.



Р и с. 1. Временная диаграмма импульсов, поступающих от многоканальной системы.

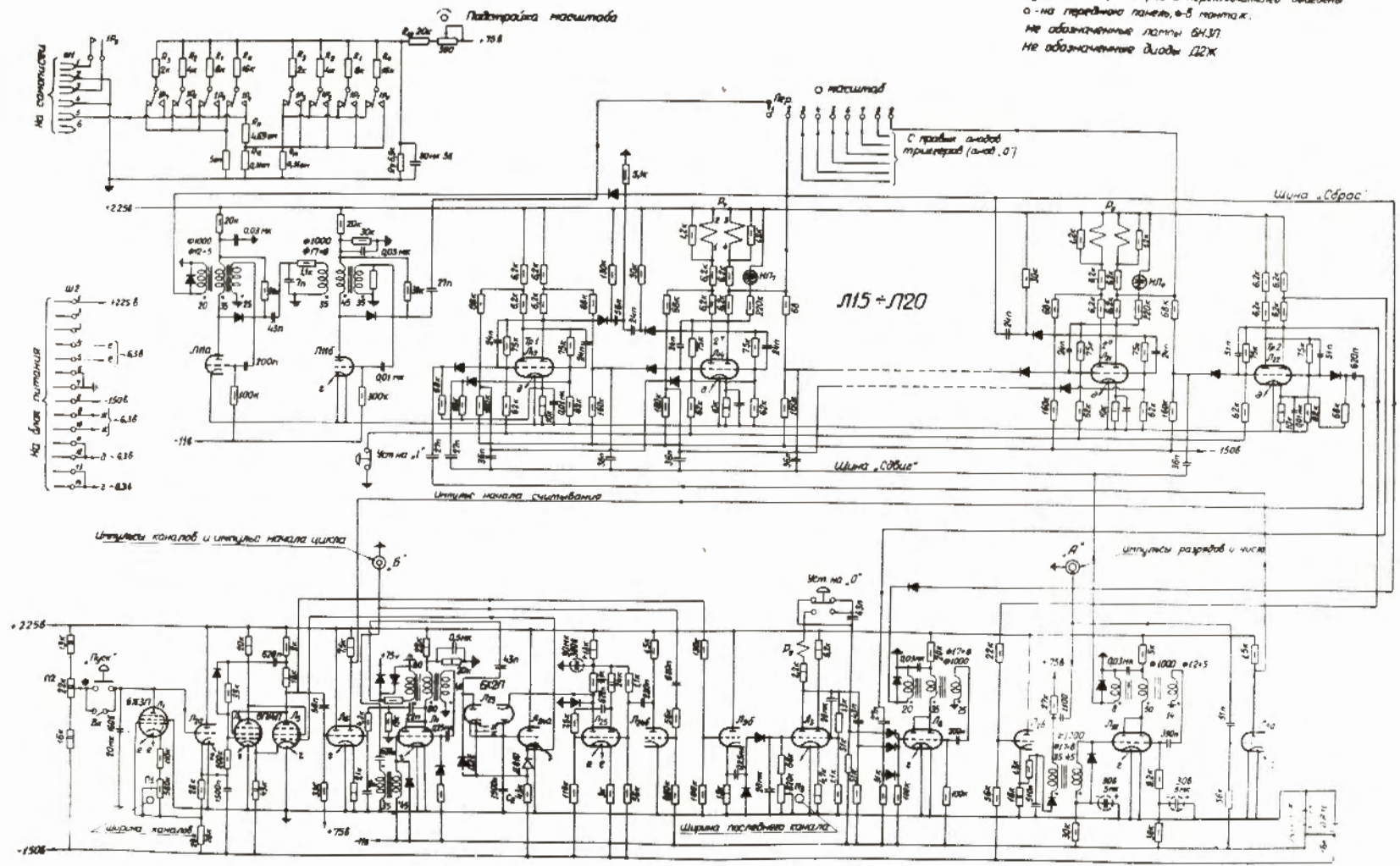


Р и с. 2. Блок-схема прибора.

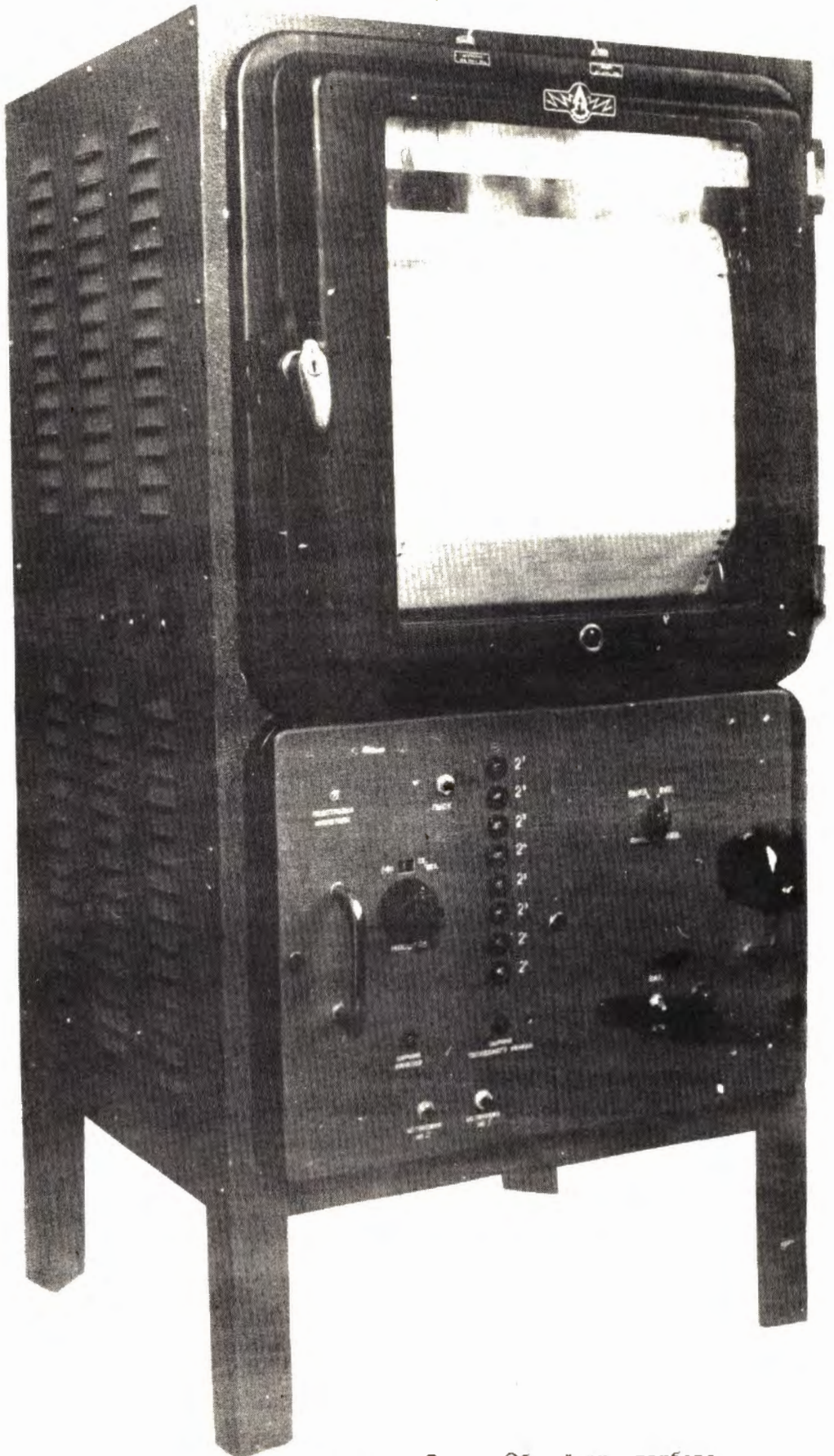


Р и с. 3. Временная диаграмма импульсов в отдельных узлах прибора.

Дуки потенциометров и переключатели выведены  
 а - на верхнюю панель, в - 5 панелей.  
 не обозначенные лампы 6Н3У  
 не обозначенные диоды Д2Ж

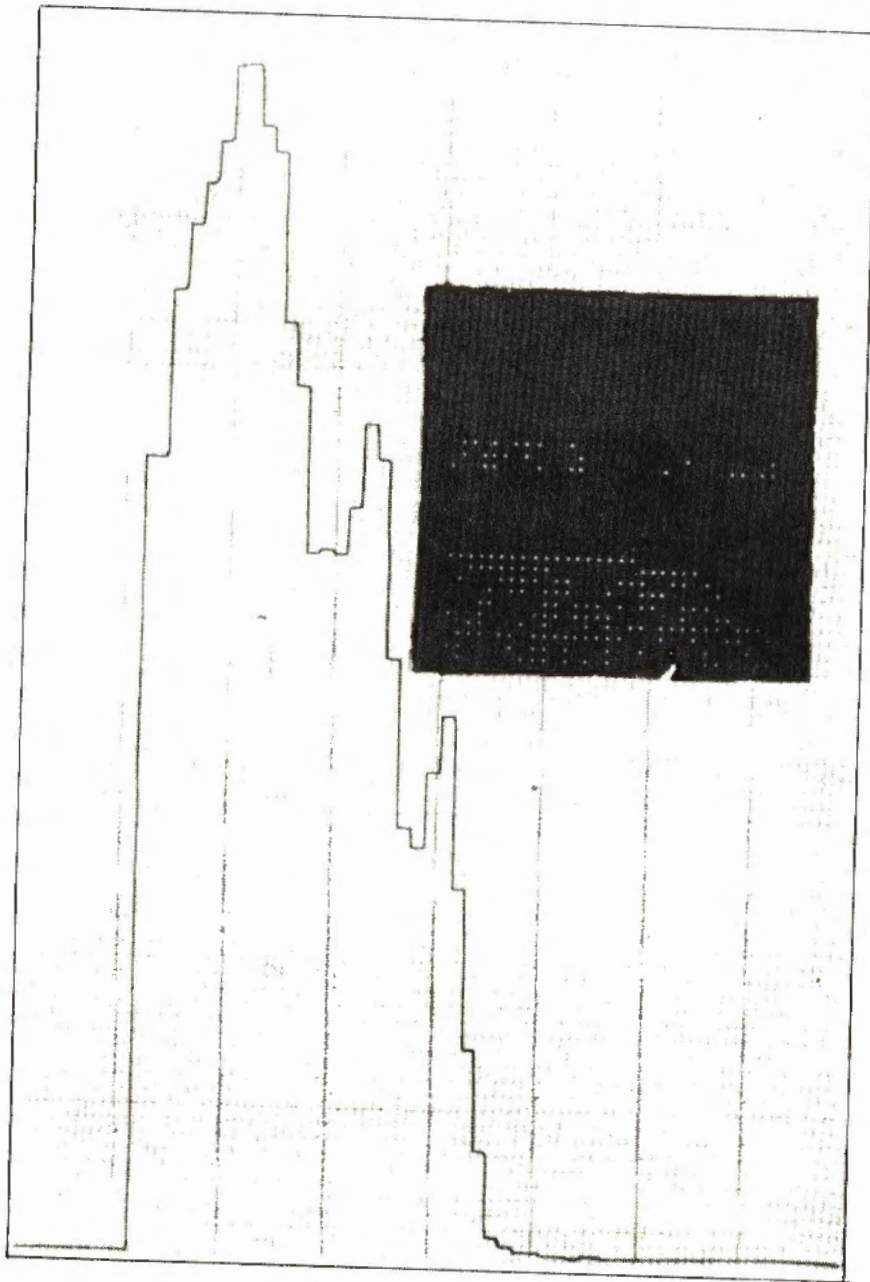


Р и с . 4 . Принципиальная схема прибора.



Р и с. 5.      Общий вид прибора.





Р и с. 6. Гистограмма энергетического спектра  $Co^{60}$ .