

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКНОВЫЕ ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ**ОБЗОР ПРИНЦИПОВ РЕГИСТРАЦИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ
В МНОГОКАНАЛЬНЫХ АМПЛИТУДНЫХ И ВРЕМЕННЫХ
АНАЛИЗАТОРАХ***Г. П. Мельников*

В ряде областей экспериментальной физики широко используются многоканальные анализаторы амплитуд импульсов и многоканальные анализаторы интервалов времени. Одной из черт, объединяющих эти два вида приборов, является наличие в них многоканальных регистрирующих устройств, требования к которым в обоих случаях практически одинаковы. В настоящее время известно большое количество различных многоканальных регистраторов. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки, поэтому бывает очень трудно решить, какой вид регистрирующего устройства следует выбрать для выполнения той или иной конкретной задачи многоканального анализа. Правильный выбор возможен лишь на основе достаточно ясного понимания различий как в средствах, используемых в многоканальном регистраторе, так и в способах, т. е. принципах осуществления регистрации. В литературе данный вопрос практически не затрагивался.

Имеющаяся в ряде обзоров по многоканальным анализаторам (например,^{1,2,3}) классификация регистрирующих устройств проводится непоследовательно, часто по внешним, случайным признакам. Поэтому представляется важным рассмотреть многоканальные регистрирующие устройства независимо от того, в каком анализаторе они применены, и ввести такую классификацию этих устройств, которая давала бы возможность критически оценивать соответствие между поставленной задачей, выбранным принципом регистрации и используемыми техническими средствами его осуществления.

Предлагаемая классификация в какой-то мере отвечает этим требованиям. Она базируется на выделении основных принципов построения логических схем многоканальных регистрирующих устройств амплитудных и временных анализаторов. Под логикой схемы какого-либо устройства понимается характер операций, которые должны производиться устройством, и способ распределения функций между элементами схемы устройства для осуществления этих операций.

При проведении классификации будем исходить из того, что в самом общем виде многоканальный анализатор, например амплитудный, можно представить состоящим из двух основных блоков: сортирующего и регистрирующего. Сортирующий блок выполняет функции предварительного формирования анализируемых сигналов, блокирует вход анализатора на время анализа и регистрации, дискриминирует сигнал, т. е. определяет номер канала, в котором данное событие должно быть зарегистрировано,

и посылает сигналы, которые заставляют срабатывать соответствующий канал регистрирующего блока.

Регистрирующий блок, воспринимающий эти сигналы, производит следующие операции: 1) суммирует числа импульсов в каналах; 2) запоминает полученные результаты на необходимое время; 3) позволяет тем или иным способом наблюдать эти результаты и 4) «сбрасывать» их перед принятием новых.

Первые образцы многоканальных анализаторов в качестве регистрирующих устройств использовали почти исключительно электромеханические счетчики. В настоящее время имеется большое число средств регистрации: пересчетные схемы на тиратронах с холодным катодом, на накальных лампах, декатроны, трохотроны, системы памяти на линиях задержки, на электронно-лучевых приборах, на ферритах, на магнитном барабане и т. п. Однако, несмотря на такое разнообразие, любое регистрирующее устройство должно производить четыре перечисленные выше операции: суммирование, запоминание, представление и сброс. С количественной стороны все эти регистраторы характеризуются: 1) большей или меньшей емкостью, т. е. объемом данных, над которыми могут производиться перечисленные операции, 2) большим или меньшим быстродействием, т. е. временем, необходимым на проведение этих операций и прежде всего на суммирование, 3) большей или меньшей сложностью, т. е. объемом технических средств, затраченных на осуществление перечисленных операций.

Надежность работы устройства является первостепенным условием, без которого рассмотрение остальных характеристик бессмысленно.

Перечисленные операции и количественные характеристики относятся к регистраторам с любым числом каналов. Но особенно важным становится выбор способов регистрации при значительном числе каналов, достигающем в некоторых случаях нескольких сотен. При таком большом числе элементов регистрации качество регистратора в значительной мере зависит от того, каким образом распределены функции между этими элементами и какие элементы выбраны для выполнения каждой из функций.

При всем разнообразии средств регистрации оказывается возможным выделить всего четыре типа многоканальных регистраторов. Их принципиальное отличие заключается в логике связи между составными элементами регистратора, т. е. в способе распределения функций между ними.

Первый и до недавнего времени наиболее распространенный тип — многоканальный регистратор с независимыми регистрирующими устройствами в каждом канале^{4,5,6}. Такие устройства выполняют все четыре функции, обладают необходимой емкостью, а быстродействие суммирования их элементов может убывать от первого элемента к последнему. В случае применения механического счетчика и пересчетной схемы изменение быстродействия осуществляется обычно не плавно, а скачком: пересчетная схема обладает сравнительно высоким быстродействием, механический счетчик — низким.

Если в качестве регистраторов используются декатроны или схемы на тиратронах с холодным катодом, то для увеличения быстродействия первые каскады пересчетных схем приходится делать на вакуумных лампах⁶.

Недостатки регистраторов первого типа хорошо известны: большое число ламп, громоздкость, недостаточно наглядная и при этом часто довольно сложная индикация, нередкие осложнения со сбросом. Все эти недостатки особенно резко ощущаются при большом числе каналов. Однако возможности элементов, из которых состоит регистратор, используются полностью. Дальнейшее улучшение этого типа идет по пути создания новых универсальных считающих устройств.

Второй тип многоканального регистратора можно пояснить на примере анализаторов с памятью на ферритах^{7,8,9}. Так как ферритовые элементы способны принимать два физически различных состояния и позволять управлять этими состояниями, то оказывается возможным использовать ферриты в качестве элементов памяти. В каждый канал анализатора вводится цепочка элементов памяти. Функцию суммирования выполняет ламповая пересчетная схема, причем на весь анализатор она единственна. Сортирующий блок определяет канал, в котором должна быть произведена регистрация. Суммирующая схема, находившаяся в сброшенном состоянии, в результате сортировки подключается к запоминающей цепочке выбранного канала. Число, хранившееся в цепочке памяти, передается на суммирующую схему. После этого к числу, представленному на суммирующей схеме, прибавляется единица, и новая сумма передается назад на предварительно сброшенную цепочку ферритовой памяти обрабатываемого канала.

Хотя операция передачи данных из цепочки памяти на суммирующую схему и назад, на цепочку памяти, требует сложной дополнительной управляющей схемы, однако за счет замены многих суммирующих ламповых схем одной схемой и за счет того, что функции памяти выполняют очень простые и малые по размерам ферритовые кольца, многоканальный регистратор второго типа значительно более выгоден, чем регистратор первого типа.

Достаточно ли полно используются возможности элементов, примененных в анализаторе второго типа? К сожалению, нет. Суммирующее триггерное устройство способно выполнять и функцию длительного запоминания, однако эта способность не находит применения. Элементы длительной памяти выполняют сугубо пассивную роль, не принимая никакого непосредственного участия в суммировании, а в то же время ясно, что если бы эти элементы соответствующим образом связать между собой, непосредственно или через схему управления, то они могли бы выполнять и функцию суммирования, а триггерная суммирующая схема оказалась бы ненужной. Это привело бы к заметному упрощению общей системы коммутации.

Совершенно очевидно, что регистратор по типу два не является принципиально «ферритовым». Любая система длительной памяти, будь то линия задержки, магнитный барабан, электронно-лучевая трубка и т. д., позволяет построить многоканальный регистратор второго типа. Только в зависимости от того, насколько полно будут использованы выбранные устройства памяти, регистратор будет более или менее сложным, более или менее быстродействующим. Что же касается специфики самих ферритов, то следует отметить, что представление данных, запомнившихся на них, довольно неудобно.

Кроме всей перечисленной выше схемы приходится вводить индикаторную электронно-лучевую трубку и систему последовательного опроса всех ферритов блока памяти. Кроме того, осложнением при построении ферритных регистраторов является то, что массовый выпуск высококачественных ферритов до сих пор еще не налажен.

Третий тип многоканального регистратора появился значительно раньше второго. Анализатор, работающий по этому принципу, был построен Хатчинсоном и Скарротом¹⁰. В этом приборе нет той функциональной «недогруженности» элементов регистратора, которая характерна для регистратора второго типа. И странно, что регистратор с памятью на ферритах, появившийся через несколько лет после анализатора Хатчинсона и Скаррота, был по сравнению с ним в логическом отношении скорее шагом назад, а не прогрессом.

Действительно, если рассмотреть анализатор Хатчинсона и Скарротта, то видно, насколько полно используются все его элементы: линия задержки в сочетании со сравнительно простой схемой управления выполняет функции длительной памяти и одновременно является суммирующим устройством в каждом канале. При этом сравнительно небольшое число элементов памяти обладает большой емкостью. Хотя представление результатов, накопленных в линии задержки, также требует введения дополнительной электронно-лучевой трубки, однако для подключения трубки почти не нужно дополнительных каскадов в управляющей схеме.

Единственным слабым местом регистратора третьего типа является использование чисто последовательного способа выполнения операций. В результате этого для записи всего одного проанализированного импульса приходится иногда прочитывать все данные во всех каналах регистратора. В среднем же, каждая запись нового данного связана с обработкой половины данных регистратора. При этом следует заметить, что если бы запоминающее устройство было идеальным и не требовало регенерации, то обрабатывать все элементы памяти по пути к тому элементу, где действительно нужно прочитать или записать информацию, не было бы необходимости. Однако экономии времени при регистрации эта «идеальность» все равно бы не принесла, так как при последовательном способе выбора требуемого элемента так или иначе тратится время на ожидание момента, когда этот элемент пройдет «мимо» читающего и записывающего устройства. Поэтому практически оказывается выгодным всегда использовать время ожидания на регенерацию данных в просматриваемых элементах памяти. Достаточно очевидно, что чисто последовательная система в принципе не может быть быстродействующей. Вариантом анализатора третьего типа является анализатор Цитовича^{11,12}. Главным отличием его от анализатора Хатчинсона и Скарротта заключается в замене ртутной линии памяти обычной электронно-лучевой трубкой. Это несколько упростило схему, но сделало прибор еще менее быстродействующим, снизило надежность в работе, а замена двоичного изображения линейным уменьшила емкость. Еще одним отличием анализатора Цитовича является то, что в нем не элементы памяти проходят мимо читающего и пишущего устройства, как в ртутной линии, а читающий и пишущий луч обегает неподвижные элементы памяти. Однако такая смена ролей никак не сказывается на принципе регистрации.

В анализаторе¹³ вместо ртутной линии задержки используется кварцевая линия, а в анализаторе¹⁴—магнитный барабан. Все перечисленные анализаторы третьего типа работают циклически и имеют период цикла, равный времени обработки всех элементов памяти. Если сделать регистратор, работающий в ждущем режиме, т. е. с переменным периодом цикла, но сохранить чисто последовательный принцип введения и вывода информации, то такой регистратор также нужно будет отнести к третьему типу. Среднее мертвое время этого регистратора также будет равно половине максимального периода цикла.

Чтобы сохранить преимущества регистратора третьего типа, но сделать его быстродействующим, необходимо, где это возможно, заменить последовательный выбор данных параллельным, т. е. таким, чтобы для обработки данных в каком-либо элементе памяти не было необходимости обрабатывать данные в других элементах памяти. В тех же случаях, когда ради простоты схемы желательно оставить последовательный опрос элементов, то необходимо придумать такую программу взаимодействий, чтобы число последовательных элементов, которые нужно обработать, было минимальным.

Принцип построения многоканального регистратора, отвечающего перечисленным требованиям, был предложен в конце 1952 г.¹⁵ Анализа-

торы, использующие этот принцип регистрации, в настоящее время получают все большее распространение^{16,17,18}.

В этом, четвертом типе многоканальных регистраторов в качестве запоминающего устройства применяется потенциалоскоп. Как любая другая достаточно емкая система статической памяти, потенциалоскоп позволяет к моменту окончания сортировки импульса сразу начинать регистрацию в соответствующем канале, не тратя времени на обработку данных в других каналах. Недискретная амплитуда анализируемого импульса превращается в сортирующей блоке в дискретную и задает дискретное горизонтальное отклонение луча потенциалоскопа. После того как отклоняющее напряжение установилось, луч включается.

С этого момента управляющая схема производит последовательную обработку столбца точек на экране потенциалоскопа, которые являются элементами памяти выбранного канала. Обработка заключается в том, что луч, попадая в точку, сначала прочитывает имевшуюся там запись «0» или «1». Если прочитан «0», то сразу же записывается «1», гасится луч и производится сброс отклоняющего напряжения в исходное состояние, если же прочитана «1», то в этой точке записывается «0», луч гасится и направляется в следующую точку по вертикали. Так луч перемещается до тех пор, пока не будет «найдена» точка, где будет прочитан «0», значит записана «1», после чего наступит сброс обоих отклоняющих напряжений.

Нетрудно проследить на примерах, что такая программа управления лучом потенциалоскопа приводит к тому, что числа импульсов в каналах регистратора будут записываться по двоичной системе счисления, что позволяет получать большую емкость в каждом канале, а на запись проанализированного импульса приходится в среднем обрабатывать всего две точки, два элемента памяти, благодаря чему удается сочетать простоту последовательного способа обработки данных с быстродействием параллельного способа.

По четвертому типу можно заставить работать и регистраторы на ферритах, что должно привести к упрощению общей схемы регистратора. Однако потенциалоскоп имеет свои преимущества. Во-первых, он дешев, промышленностью его выпускают в больших количествах. Работа над совершенствованием потенциалоскопов не прекращается, благодаря чему его характеристики из года в год удается улучшать, цену и габариты — снижать. Кроме того, очень важно, что потенциалоскоп чрезвычайно легко объединяется с осциллографической трубкой наблюдения; схемы питания и отклонения у обеих трубок общие. Мощность, потребляемая собственно элементами памяти, практически ничтожна.

Одна из последних моделей анализатора с регистратором четвертого типа¹⁸ содержит в собственно регистрирующей части около 60 электронных ламп и позволяет регистрировать данные в 1024 каналах приемности 65 535 в каждом канале. Время обработки одного элемента памяти — около 3 мксек.

В заключение следует упомянуть о регистраторах непрерывного действия, например самописцах, фоторегистраторах и т. д. Они отличаются простотой схемы и наглядностью представления результатов, но, как всякое аналоговое арифметическое устройство, дают большие погрешности счета. Использование их в многоканальных анализаторах — вычислительных приборах чисто дискретного счета — в общем случае нецелесообразно, и практическое применение они находят здесь лишь как дополнительное средство наглядного изображения гистограммы спектра при наличии многоканального регистратора одного из четырех перечисленных типов.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. A. V. van Rensselaers, *Nucleonics* **10**, № 9 и 10 (1952).
 2. А. А. Санин, Обзор многоканальных амплитудных анализаторов, УФН **54** (1954).
 3. W. A. Higginbotham, *Nucleonics* **14**, № 4 (1956).
 4. E. Gatti, *Nuovo Cimento* **7**, № 4, 655 (1950).
 5. Г. П. Софиев, С. М. Медведев, А. А. Марков, Амплитудный дифференциальный анализатор ЭДА-50, Описание АН СССР.
 6. А. Е. Воронков, Л. Н. Кораблев, И. Д. Мурун, И. В. Штрапих, Быстродействующий многоканальный амплитудный анализатор, Изд-во «Передовой научно-технический и производственный опыт», М., 1957.
 7. P. W. Byington, C. W. Johnstone, T. R. E. Convection Record, № 10, 204 (1955).
 8. H. L. Schultz, G. F. Pieper, L. Rosler, R. S. I. **27**, 437 (1956).
 9. Л. А. Маталин, А. М. Шиманский, С. Н. Чубаров, ПТЭ, № 1, 64 (1957).
 10. H. W. Hutchinson, G. G. Scarrott, *Phil. Mag.* **42**, 792 (1951).
 11. В. И. Мостовой, М. И. Певзнер, А. П. Цитович, доклад p/640 (СССР) на Международной конференции в Женеве, 1955.
 12. А. П. Цитович, ПТЭ, № 5, 118 (1957).
 13. R. W. Schumann, J. P. McMahon, R. S. I. № 9, 27, 675 (1956).
 14. Р. Г. Оффенгенден, В. Г. Котова, Доклад на сессии Академии наук Украинской ССР, 1956.
 15. Г. П. Мельников, Описание к авторской заявке, АН СССР, 1953.
 16. Г. П. Мельников, Л. И. Артеменков, Ю. М. Голубев, ПТЭ, № 6 57 (1957).
 17. В. О. Вяземский, В. В. Трифонов, Амплитудный многоканальный анализатор импульсов с регистрацией на потенциалоскопе АМА-2, Описание, ЛЭТИ им. Ульянова, 1957.
 18. Ю. М. Голубев, Г. Л. Левин и др., 1024-канальный амплитудный и временной анализатор ЭЛИА-3, Отчет АН СССР, 1958.
-