

функциональные возможности. Программное управление через магистраль крейта позволяет оперативно изменять частоту дискретизации и диапазон обрабатываемых сигналов по амплитуде, столь же оперативно менять параметры цепей запуска. Все это делает автоматизированные системы, построенные на основе этого прибора, более гибкими и удобными для физического эксперимента.

В приборе использованы следующие команды:

$F(0)$ — чтение одного слова из ОЗУ с добавлением 1 к содержимому адресного счетчика;

$F(8)$ — проверка наличия сигнала запроса;

$F(10)$ — сброс сигнала запроса;

$F(16)$ ($W_1—W_{12}$) — запись одного слова в ОЗУ от ЭВМ;

$A(1)F(17)$ ($W_1—W_{12}$) — запись информации в статусный регистр, определяющий режимы работы блока;

$A(2)F(17)$ ($W_1—W_{12}$) — запись начального адреса в адресный счетчик ОЗУ;

$A(3)F(17)$ ($W_1—W_{12}$) — установка диапазона АЦП по амплитуде и интервала дискретизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Касперович А. Н., Мантуш О. М., Шалагинов Ю. В. Двухканальная система сбора и регистрации данных для быстротекущего эксперимента.— ПТЭ, 1977, № 4, с. 86—88.
2. Байборodin С. И., Батраков А. М., Нифонтов В. И., Хильченко А. Д. Многоканальная быстродействующая измерительная система для ввода данных в ЭВМ.— В кн.: Вопросы теории и проектирования преобразователей информации. (Материалы Всесоюзного семинара.) Киев, «Знание», 1975.
3. Гельман М. М., Степанов Б. М., Филинов В. Н. Дискретные преобразователи моноимпульсных электрических сигналов. М., Атомиздат, 1975.
4. Тотаев Л. Т., Слива С. С., Вапиров В. В. Особенности аналого-цифрового преобразователя Ш68300.— В кн.: Проблемы создания преобразователей формы информации. (Материалы III Всесоюзного симпозиума.) Киев, «Наукова думка», 1976.
5. Батраков А. М., Козак В. Р., Нифонтов В. И., Хильченко А. Д., Чуканов В. В. Приборы для цифровой регистрации однократных импульсных сигналов.— В кн.: Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ. (Материалы Всесоюзной конференции.) Новосибирск, изд. ИАиЭ СО АН СССР, 1977.
6. Касперович А. Н., Литвинов Н. В., Солоненко В. И. Особенности работы цифроаналогового преобразователя с инвертированной матрицей R—2R.— «Автометрия», 1974, № 3, с. 74—81.
7. Бахтияров Г. Д., Дикий С. Л. Аналого-цифровые преобразователи. (Обзор.) — «Зарубежная электроника», 1975, № 1, с. 52—89.

Поступила в редакцию 9 января 1978 г.

УДК 681.325

В. П. ЮНОШЕВ

(Новосибирск)

АЦП С ЦИФРОВЫМ СТАТИСТИЧЕСКИМ РАЗРАВНИВАНИЕМ

Для ряда применений аналого-цифровых преобразователей (АЦП), связанных с определением статистических характеристик измеряемых сигналов или объектов, важнейшим параметром прибора является дифференциальная нелинейность (ДН). Так, при автоматизации одного из видов биофизического эксперимента по построению гистограмм рас-

пределения клеток по величине возникает необходимость в АЦП с малой ДН. В этом эксперименте осуществляется измерение мгновенного значения сигнала, возникающего при прохождении исследуемой клетки через кондуктометрический датчик, в момент времени, задаваемый анализатором формы импульса, находящимся вне АЦП. Наличие ДН приводит к систематическим выбросам и провалам некоторых участков гистограмм, построенных с помощью АЦП, имеющего подобную ДН.

Дифференциальная нелинейность АЦП определяется индивидуально для каждого i -го кванта шкалы АЦП как относительная погрешность величины i -го кванта [1]

$$\delta_{\text{дн}i} = (q_i - \bar{q}) / \bar{q},$$

где \bar{q} — усредненная по шкале величина кванта: $\bar{q} = (U_{\text{max}} - U_{\text{min}}) / N$; $U_{\text{max}} - U_{\text{min}} = \sum_{i=1}^N q_i$ — диапазон сигнала (длина шкалы); N — число квантов на шкале; q_i — величина i -го кванта.

Минимальной ДН обладают АЦП с преобразованием аналогового сигнала (напряжения) в интервал времени и последующим заполнением интервала счетными импульсами (преобразование время — код).

Исследованию ДН и описанию принципов построения АЦП с малой ДН посвящено большое число работ [1—6]. Однако требования практики и необходимость получения все меньших значений ДН заставляют совершенствовать методы построения АЦП с малой ДН. Особенности автоматизируемого биофизического эксперимента поставили задачу разработки простого и относительно быстродействующего АЦП, обладающего малой ДН, с максимальным использованием достижений современной микроэлектроники.

Анализ литературы [1—6] и экспериментальные данные, полученные при испытании построенных макетов АЦП, показывают, что основная доля ДН обусловлена двумя факторами:

1) асимметрией узлов, из которых состоит преобразователь время — код (ПВК), проявляющейся в погрешности типа «чет-нечет»; это явление и способы борьбы с ним рассмотрены в работе [7];

2) помехами от цифровых схем двоичного счетчика ПВК на аналоговые узлы преобразователя амплитуда — время (ПАВ).

Рассмотрим влияние второго фактора. Предположим, что при включении каждый триггер двоичного счетчика дает такую помеху, что верхняя граница следующего кванта смещается вниз (в сторону начала шкалы) на величину α , а при выключении — вверх на ту же величину. При изменении состояний нескольких триггеров одновременно результирующая погрешность будет равна алгебраической сумме погрешностей от каждого из переключившихся триггеров. В качестве примера в таблице представлены погрешности величин квантов, обусловленные смещением границ за счет изменения состояния четырех младших разрядов двоичного счетчика.

| Номер кванта | 14 | 15 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Кодовая комбинация четырех младших разрядов | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Число единиц | 3 | 4 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 |
| Смещение границы | -1 | +4 | -1 | 0 | -1 | +1 | -1 | 0 | -1 | +2 | -1 | 0 | -1 | +1 | -1 | 0 | -1 | |
| Погрешность кванта | +5 | -5 | +1 | -1 | +2 | -2 | +1 | -1 | +3 | -3 | +1 | -1 | +2 | -2 | +1 | -1 | | |

Закономерность, которой подчинены погрешности квантов, позволяет построить гистограмму распределения вероятностей погрешностей для АЦП с любым числом разрядов (например, для 7-разрядного АЦП, рис. 1, а) в предположении, что измеряемая величина распределена равномерно по диапазону.

Практически такая закономерность нарушается одновременным переключением триггеров счетчика. Кроме того, сказываются неидентичность триггеров и расстояний до аналоговых цепей и прочие факторы. В результате ДН для разных точек шкалы становится случайной (оставаясь в каждой точке шкалы систематической погрешностью). Гистограмма распределения вероятностей погрешностей реального АЦП дана на рис. 1, б.

- 1) конструктивное совершенствование АЦП;
 - 2) оптимизация соотношений параметров схем АЦП, направленная на уменьшение влияния наводок;
 - 3) разделение во времени работы преобразователей А—В и В—К;
 - 4) использование счетчиков с уменьшенным излучением помех.
- Другую группу образуют:
- 5) метод градуировки;
 - 6) аналого-цифровые и цифровые методы статистического выравнивания величины квантов.

Остановимся подробнее на перечисленных методах с точки зрения эффективности уменьшения составляющих ДН.

1. Улучшение конструкции АЦП (экранировка узлов, грамотная прокладка шин питания, установка развязывающих фильтров, использование «чистой» земли и т. д.), а также изготовление преобразователей А—В и В—К в виде отдельных устройств (пространственное разделение) позволяют существенно уменьшить (до 1%) ДН преобразователя А—В, однако никак не влияют на погрешность «чет-нечет» П.В.К.

2. Правильный выбор параметров преобразователя А—В, направленный на уменьшение влияния наводок, будет способствовать уменьшению ДН. Увеличение емкости накопительного конденсатора преобразователя А—В при соответствующем увеличении разрядного тока с целью сохранения неизменным времени преобразования уменьшает ДН преобразователя А—В. Уменьшение частоты следования счетных импульсов также снижает как ДН ПАВ (чем меньше частота, тем менее мощные схемы можно использовать при построении счетчика), так и ДН ПВК (можно использовать формователи для устранения «резаных» импульсов).

3. При последовательном преобразовании А—В и В—К [1] по импульсу запуска запускается преобразователь А—В и начинается формирование вспомогательного импульса постоянной и заданной длительности. Преобразователь В—К работает с момента окончания работы ПАВ до момента окончания вспомогательного импульса. Результат получается в обратном коде. Метод полностью устраняет погрешность ПАВ, но совершенно не влияет на погрешность ПВК. Сложность этого метода заключается в том, что необходимо формировать вспомогательный импульс со стабильностью, соизмеримой со стабильностью импульсов кварцованного генератора, и так, чтобы при его формировании не возникало нежелательных наводок.

4. Снижение уровня помех с цифровой части на аналоговые узлы можно обеспечить путем использования в преобразователе В—К счет-

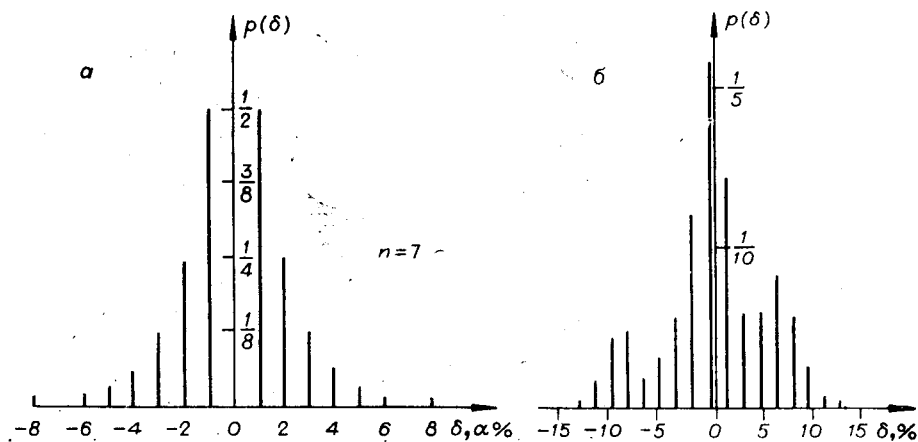


Рис. 1.

чика в коде с единичным кодовым расстоянием. Примером такого кода может служить код Грея [8]. Поскольку с приходом каждого счетного импульса в таком счетчике изменяет состояние лишь один триггер, то уровень максимальной помехи будет таким же, как в обычном двоичном счетчике, в котором все триггеры, кроме младшего, не создают помех.

ДН в принципе будет также исключаться при использовании в качестве счетчика сдвигового регистра.

Заметим, наконец, что уменьшения влияния помех на ДН можно достичь также за счет их компенсации. Подавить помехи от счетчика можно введением добавочных триггеров, работающих в противофазе с триггерами счетчика. Этот способ применим и для подавления погрешности «чет-нечет» ПВК.

Перейдем теперь к рассмотрению методов уменьшения ДН путем обработки.

5. Метод градуировки заключается в том, что число отсчетов в каждом из квантов гистограммы умножается на величину

$$\xi_i = 1/(1 + \delta_i).$$

Естественно, этот метод предполагает наличие запоминающего устройства для хранения ξ_i , а также наличие процессора для введения поправок. При использовании в эксперименте ЭВМ этот метод может быть реализован достаточно просто.

6. Другим способом уменьшения ДН путем обработки является метод статистического разравнивания, который основан на том, что каждое новое измерение производится на новом участке шкалы АЦП. Если изменение положения на шкале происходит случайным образом, то ДН становится также случайной и с накоплением отсчетов при построении гистограмм будет уменьшаться. (При этом происходит преобразование систематической погрешности квантов в случайную.) Метод статистического разравнивания размера квантов является одним из самых действенных. Обычно метод разравнивания реализуется в аналого-цифровой форме следующим образом. АЦП (поразрядного или развертывающего уравнивания) дополняется устройством разравнивания, состоящим из генератора случайного кода, преобразователя «код — аналог», аналогового сумматора и цифрового вычитающего устройства. Аналоговый пьедестал случайной высоты* прибавляется к измеряемому сигналу. АЦП измеряет сумму входного сигнала и пьедестала.

* Аналоговый пьедестал может быть неслучайной функцией времени [5], но он не должен быть коррелирован с измеряемой величиной.

Затем значение пьедестала вычитается в цифровой форме [3—5].

Диапазон U_x , в котором происходит разравнивание величины квантов, теперь не равен длине шкалы АЦП:

$$U_{\min} < U_x < U_{\max} - U_p,$$

где U_p — максимальное значение пьедестала. Как правило, выбирают $U_p \leq (U_{\max} - U_{\min}) : 2^6$. Минимум пьедестала — нуль.

В последнее время начал широко использоваться метод статистического разравнивания в цифровой форме [6], обеспечивающий существенное упрощение реализации. Тот же эффект (что и при разравнивании в аналого-цифровой форме) может быть достигнут, если аналоговую часть заставить работать без изменения пьедестала, а относительно нее случайным образом менять состояние цифровой части. Практически это реализуется тем, что триггеры младших разрядов счетчика преобразователя «время—код» перед измерением не сбрасываются, т. е. содержат случайное число. Импульсы, прошедшие за временной интервал, пропорциональный U_x , прибавляются в счетчике к этому числу, а результат преобразования определяется как разность между новым и предыдущим состояниями счетчика.

Некоторым недостатком этого метода является то, что при его использовании необходимо заботиться о равновероятности состояний счетчика при накоплении. Так, в случае преобразования детерминированных сигналов равновероятность может не обеспечиваться и разравнивание не будет эффективным. Это затрудняет накопление статистики медленно изменяющихся сигналов, что бывает необходимо при экспериментальной проверке ДН АЦП.

Рассмотрим механизм статистического разравнивания размера квантов сначала для циклической шкалы — для случая, когда все разряды счетчика не сбрасываются в процессе накопления отсчетов.

Измеряемая величина U_x , представленная независимыми друг от друга значениями, имеет плотность распределения $p(x)$, математическое ожидание m_x и дисперсию D_x . Гистограмма распределения измеряемой величины по квантам, построенная с помощью АЦП, при большом числе измерений после соответствующей нормировки будет совпадать с законом распределения этой величины с точностью до дифференциальной нелинейности АЦП. Найдем предельное значение дифференциальной нелинейности АЦП при проведении статистического разравнивания.

Предположим, что счетчик, в котором производится преобразование «время—код», имеет неограниченную емкость. Тогда после k измерений величины U_x случайное число, накопленное в счетчике, будет иметь значение

$$N_{\Sigma} = \sum_{l=1}^k N_l,$$

где N_l — код, получаемый при l -м измерении.

Число N_{Σ} характеризуется следующими параметрами:

$$m_{\Sigma} = km_x; \quad D_{\Sigma} = kD_x.$$

При достаточно большом k случайное число N_{Σ} будет подчиняться, согласно центральной предельной теореме, нормальному закону.

Поскольку в реальном случае максимальный код, который может быть зафиксирован в счетчике, равен $2^n - 1$, где n — число двоичных разрядов счетчика, то при превышении числом N_{Σ} максимального кода счетчика в последнем оказывается остаток от целочисленного деления N_{Σ} на число квантов шкалы 2^n .

Весьма быстро при накоплении среднеквадратическое отклонение $\sqrt{D_x}$ становится больше емкости счетчика. Согласно [9], при квантовании процесса, подчиняющегося нормальному закону распределения, погрешность квантования будет распределена равномерно в пределах кванта при условии, что среднеквадратическое отклонение сигнала превышает половину кванта. Отсюда следует, что в нашем случае при условии

$$\sqrt{kD_x} > 2^{n-1}$$

(которое, например, в случае нормального закона распределения U_x с $\sigma_x = \frac{1}{6} \cdot 2^n$ выполняется при $k \geq 10$, а при равномерном законе — при $k > 3$) плотность вероятности попадания U_x в любую точку шкалы будет равномерной, т. е. все кодовые комбинации счетчика при измерении U_{xi} будут встречаться при первом приближении одинаково часто. Поэтому можно считать, что распределение погрешности для каждого i -го кванта шкалы АЦП с разравниванием будет совпадать с законом распределения погрешности по всей шкале АЦП без разравнивания.

Матожидание предельного значения величины ДН определится для i -го кванта

$$\delta_{i,n} = \sum_{j=0}^{2^n-1} \delta_j p_{jn},$$

где δ_j — величина ДН j -го кванта шкалы; p_{jn} — вероятность δ_j ; $p_{jn} = qj/2^n \bar{q}$, и будет одинаковым для всех квантов шкалы. Размеры всех квантов в пределе будут равными. Дисперсия ДН для U_{xi} при накоплении уменьшается в соответствии с

$$D_{\text{разр}} = D_{\text{АЦП}}/k p_i.$$

Здесь $D_{\text{АЦП}}$ — дисперсия ДН по всей шкале АЦП без разравнивания; p_i — вероятность i -го значения измеряемой величины (вероятность попадания U_x в i -й квант шкалы идеального АЦП).

При неограниченном накоплении дисперсия ДН неограниченно приближается к нулю.

Перейдем теперь к рассмотрению разравнивания по методу скользящей шкалы, т. е. случая, когда в отличие от предыдущего не сбрасываются в нуль лишь s младших разрядов счетчика ($s=1, 2, \dots, n-1$). Код, который имеется в двоичном счетчике перед началом любого измерения, есть случайное число R , представляющее собой остаток от целочисленного деления N_x на 2^s . Код N_x , который будет зафиксирован в счетчике после любого l -го измерения, есть сумма R и N_l .

Из приведенных выше рассуждений можно заключить, что R — случайная величина, подчиняющаяся равномерному закону распределения на интервале $[0; 2^s-1]$. Результат измерения U_{xi} может быть получен только в 2^s случаях, когда в счетчике будут образовываться числа от i до $i+2^s-1$.

Закон распределения ДН у АЦП с таким разравниванием для i -го кванта шкалы будет совпадать с законом распределения ДН на участке шкалы $[i; i+2^s-1]$ АЦП без разравнивания.

Матожидание предельного значения величины ДН будет зависеть от значения U_x :

$$\delta_{i,s} = \sum_{j=i}^{i+2^s-1} \delta_j p_{js},$$

где $p_{js} = q_j/2^s \bar{q}$.

личины в этом случае будет определяться как

$$D_{\text{скол } i} = D_{\text{АЦП } i} / k p_i,$$

где $D_{\text{АЦП } i}$ — дисперсия на участке шкалы $[i; i+2^s-1]$ АЦП без разравнивания.

Закон распределения погрешностей ДН АЦП со скользящей шкалой изменяется по шкале. Можно показать, что по сравнению с АЦП без разравнивания АЦП со скользящей шкалой в первом приближении обеспечит в R раз меньшее значение ДН и дисперсия закона распределения ДН по шкале станет в R раз меньше.

На рис. 2, а для примера показана гистограмма распределения измеряемой величины по шкале (исходный закон распределения измеряемой величины равномерный), накопленная с помощью АЦП, у которого два кванта имеют явно выраженную погрешность. Рис. 2, в иллюстрирует действие разравнивания. Сравнив законы распределения погрешности АЦП без разравнивания (см. рис. 2, б) и со скользящим разравниванием (см. рис. 2, г), видим, что величина погрешности ДН уменьшается в 2^s раз, однако вероятность ее увеличилась во столько же раз за счет уменьшения вероятности квантов нормального размера. Те же погрешности, которые расположены на шкале с периодом $\leq 2^s$ (в частности, погрешность «чет-нечет»), разравниванием уменьшаются до нуля.

Для практической реализации был избран вариант со статистическим разравниванием без сброса всех разрядов счетчика. АЦП содержит (рис. 3): аналоговое запоминающее устройство (АЗУ) (буферный операционный усилитель с $k_v=1$, нормально замкнутый ключ, конденсатор), преобразователь «амплитуда — время» (генератор эталонного тока ГЭТ, нормально замкнутый ключ, компаратор К, RS-триггер) и преобразователь «время — код» (генератор импульсов ГИ, вентиль В, счетчик Сч). В режиме выборки напряжение на конденсаторе повторяет входной сигнал. По стартовому импульсу АЗУ переводится в режим хранения и практически сразу же начинается преобразование запомненного значения напряжения во временной интервал. Для этого по ближайшему тактовому импульсу генератора опорной частоты RS-триггер устанавливается в «1». При достижении напряжением на конденсаторе потенциала земли компаратор сбрасывает триггер. Длительность импульса, снятого с триггера, пропорциональна значению входного напряжения в момент стартового импульса.

Для получения цифрового эквивалента входного сигнала импульс с RS-триггера поступает через D-триггер, синхронизируемый счетными (тактовыми) импульсами, на клапанирующий вентиль, разрешая прохождение импульсам с кварцованного генератора на двоичный счетчик, работающий в режиме сложения. Вычислительная часть АЦП содержит регистр и вычитающее устройство. Перед преобразованием в регистр со счетчика заносится число, полученное при предыдущем преобразовании. Для нахождения результата преобразования вычислительное устройство вычитает из нового значения кода (со счетчика) старое (из регистра). Вычислительное устройство выполнено на микросхемах арифметического логического устройства (АЛУ) 155 ИПЗ. Переполнение счетчика не будет сказываться на результате, поскольку подобная ситуация предусмотрена в АЛУ (уменьшаемое может быть меньше вычитаемого): АЛУ переводятся в режим вычитания лишь в момент

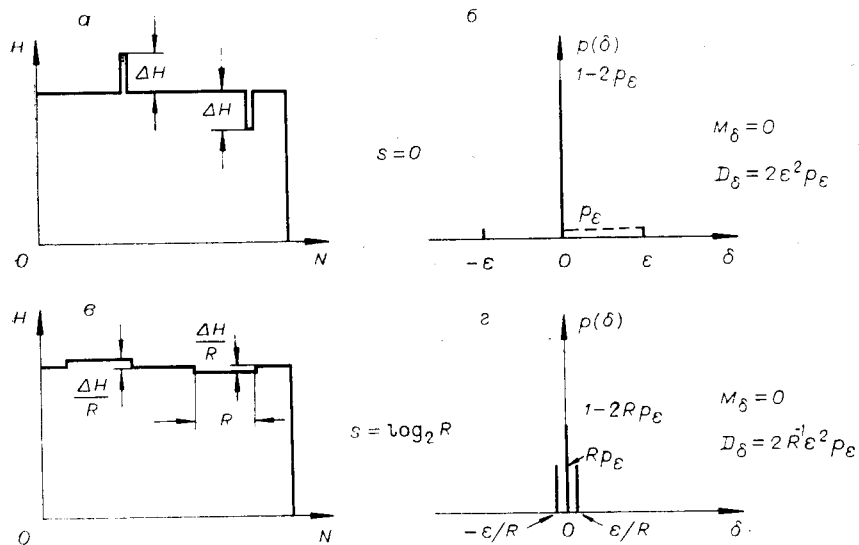


Рис. 2.

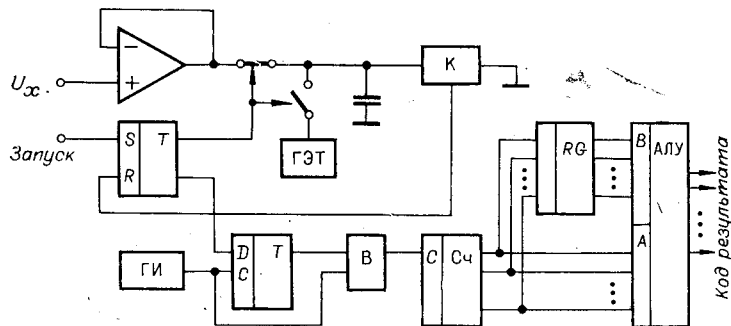


Рис. 3.

считывания результата, все остальное время они находятся в состоянии «Генерация нулей». В противном случае во время счета импульсов АЛУ будет являться источником помех, коррелированных с определенными точками шкалы, порождающих ДН, неустранимую операцией разравнивания.

Макет разработанного АЦП выполнен в стандарте САМАС на одной плате. Диапазон входного сигнала $0 \div 5, 12$ В. Число квантов шкалы 512 и 1024. Частота опорного генератора 50 МГц. В счетчике использовались микросхемы ТТЛ- и ЭСЛ-серий. Экспериментальные исследования макета проводились совместно с анализатором ВМ96 «Intertechnique». В качестве испытательного сигнала использовались как сигналы генератора шума, амплитуда которого соответствует нормальному закону, так и реальные сигналы. Следует заметить, что даже при использовании идеального АЦП число зарегистрированных событий $U_{\text{ж}}$ характеризуется в силу статистической природы измеряемой величины относительной погрешностью отклонения $\delta_{\text{ст}}$ от матожидания, которая пропорциональна $1/\sqrt{k_i}$ [10]. Поскольку $\delta_{\text{ст}}$ и $\delta_{\text{разр}}$ одинаковым образом зависят от k_i и при всяком k_i практически всегда выполняется $\delta_{\text{ст}} > \delta_{\text{разр}}$, то результирующая погрешность $\delta_{\text{ст+разр}}$ будет обусловлена в основном статистикой измеряемого сигнала.

Собранный по описанной схеме макет АЦП без использования процедуры разравнивания имел ДН порядка 17%. С использованием

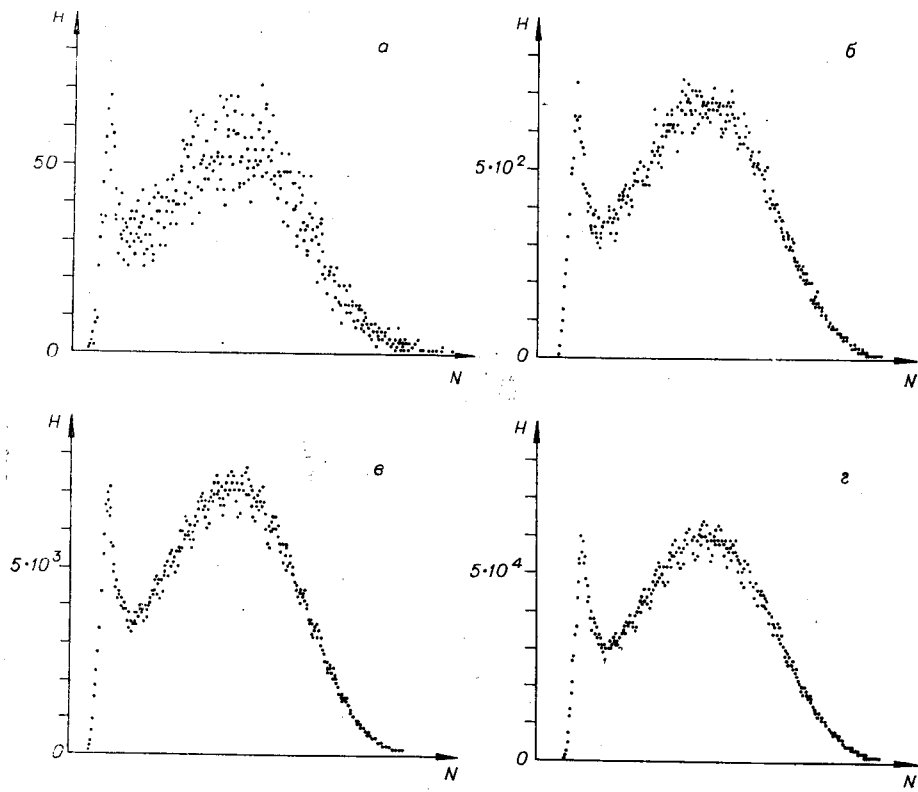


Рис. 4.

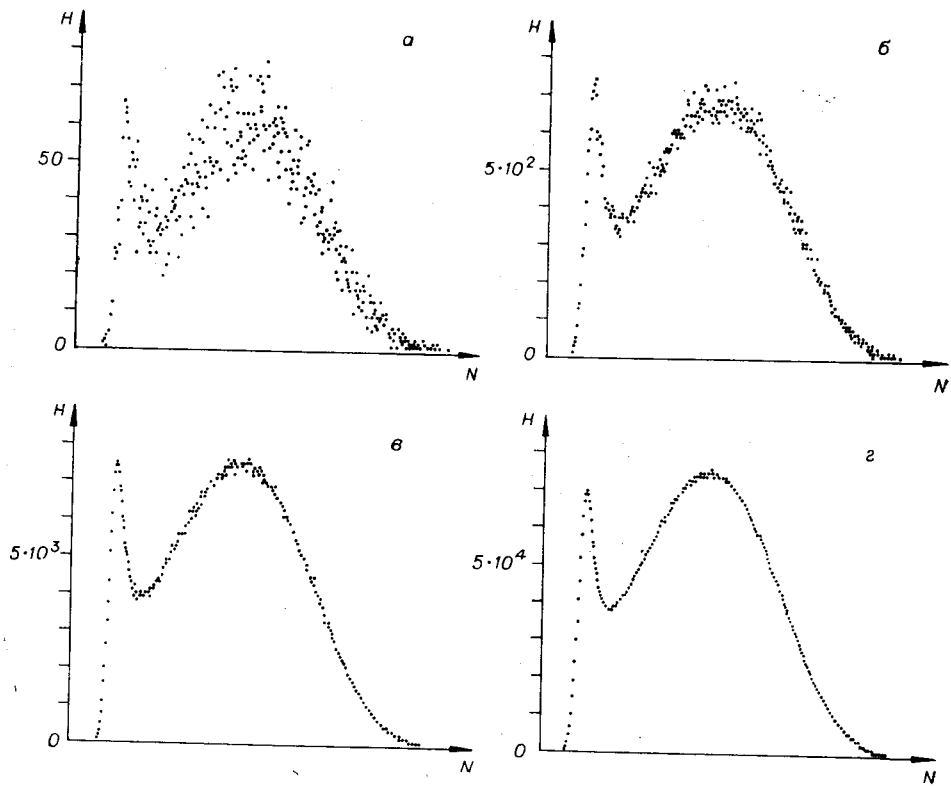


Рис. 5.

цифрового разравнивания дифференциальная нелинейность $\delta_{ст.} \delta_{разр}$ при накоплении $75 \cdot 10^3$ отсчетов на канал составила 0,5%, что согласуется с изложенным выше. На рис. 4, а—г и 5, а—г представлены гистограммы, полученные в реальных условиях соответственно без разравнивания и с разравниванием. Разработанный АЦП находится в эксплуатации в течение полугода.

В заключение автор считает своим приятным долгом выразить благодарность А. Н. Касперовичу за полезные обсуждения и В. Е. Солобоеву за помощь при проведении экспериментальных исследований АЦП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крашенинников И. С., Курочкин С. С., Матвеев А. В., Рехин Е. И. Современная ядерная электроника. Т. 1. Измерительные системы и устройства. М., Атомиздат, 1974.
2. Гриднев Г. Ф., Челноков Л. П. Некоторые методы исследования характеристик амплитудных кодировщиков.— В кн.: Труды VI Международного симпозиума по ядерной электронике, 23—30 сентября, 1971, Варшава, ОИЯИ. Дубна, изд. ОИЯИ, 1972, Д13 — 6210.
3. Gatti E.— "IEEE Trans.", 1969, vol. NS-16, N 5, p. 10.
4. Codeur d'amplitude с. 97. France, Intertechnique, 1969.
5. Данилевич В. В., Чернявский А. Ф., Чудовский В. А. Двухступенчатый аналого-цифровой преобразователь со статистической линеаризацией шкалы.— «Вестн. Белорус. ун-та. Сер. I. Мат., физ., мех.», Минск, 1976. (№ 2912 — 76 Деп.)
6. Глушковский М. Е. Анализ дифференциальной нелинейности прецизионных амплитудных преобразователей.— ПТЭ, 1970, № 3, с. 142.
7. Мелешко Е. А. Интегральные схемы в наносекундной ядерной электронике. М., Атомиздат, 1977.
8. Гитис Э. И. Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств. М., «Энергия», 1975.
9. Дунин-Барковский И. В., Смирнов Н. В. Теория вероятностей и математическая статистика в технике. М., Госиздат техн.-теор. лит., 1955, с. 463.
10. Маталин Л. А., Чубаров С. И., Тимохин Л. А., Смирнов В. И., Нестеренко В. С. Электронные методы ядерной физики. М., Атомиздат, 1973.

Поступила в редакцию 13 февраля 1978 г.

УДК 621.317.311

**Ю. И. ГОЛУБЕНКО, Э. А. КУПЕР, А. В. ЛЕДЕНЕВ,
В. И. НИФОНТОВ**
(Новосибирск)

ШИРОКОДИАПАЗОННЫЙ АЦП В СТАНДАРТЕ САМАС

Аналого-цифровой преобразователь в стандарте САМАС разработан для многоканальных измерительных систем автоматизации ускорительно-накопительных установок в Институте ядерной физики СО АН СССР. Специфические условия работы таких систем накладывают особые требования на метрологические характеристики, помехозащищенность и функциональное строение измерительных приборов [1]. АЦП должен обеспечивать многоканальное измерение аналоговых параметров с погрешностью не хуже $\pm 0,01\%$ при высоком уровне синфазных помех и электромагнитных наводок. Разработанный в стандарте САМАС АЦП отличается от описанного в статье [2] тем, что в приборе применены новые интегральные компоненты; это позволило уменьшить габариты измерительного узла, упростить логическую часть прибора, улучшить некоторые его метрологические параметры. АЦП снабжен