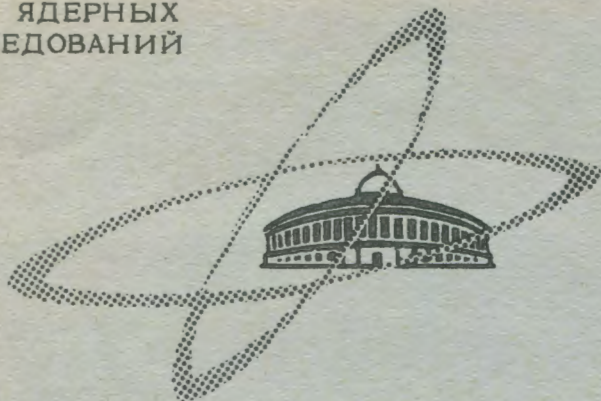


Ж-911

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



13 - 3292

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

Б.Е. Журавлев

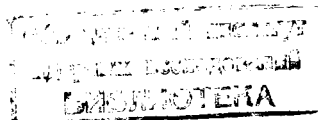
ПОГРЕШНОСТИ СЧЕТА ВО ВРЕМЕННЫХ
МНОГОКАНАЛЬНЫХ АНАЛИЗАТОРАХ

1967.

13 - 3292

Б. Е. Журавлев

ПОГРЕШНОСТИ СЧЕТА ВО ВРЕМЕННЫХ
МНОГОКАНАЛЬНЫХ АНАЛИЗАТОРАХ



5032/3 мр.

При измерении временного распределения событий с помощью многоканальных анализаторов полученный результат всегда отличается от истинного распределения из-за конечного мертвого времени. После регистрации очередного события вход анализатора закрывается на время t_p , необходимое для записи его в общем запоминающем устройстве. Возникающие при этом просчёты по-разному проявляются в каждом канале. Введение поправок на просчёты затрудняется тем, что полученный результат, по сравнению с истинным, отличается дискретностью временной шкалы. Он характеризует среднюю скорость регистрации в конечных, примыкающих друг к другу интервалах времени, равных ширине канала.

Элементами временного анализатора, вносящими свой вклад в потери счёта, являются схема фазирования (СФ) и регистратор. Если период фазирования t_ϕ , то за это время не может быть зарегистрировано более одного импульса, поэтому скорость счёта без учёта мертвого времени регистратора определяется следующим выражением:

$$m = \frac{1}{t_\phi} (1 - e^{-n t_\phi}),$$

где n — скорость поступления импульсов на вход.

При совместной работе СФ и регистратора с временем регистрации t_p необходимо учитывать их суммарное влияние на скорость счёта в отдельных каналах. На практике встречаются две разновидности блокировки входа на время регистрации: блокируется вход СФ или ее выход. Попытаемся оценить возможность определения истинного числа импульсов, поступивших на вход за время, равное

ширине канала t_k , по числу зарегистрированных. Не задаваясь целью получить универсальную формулу для введения поправок на просчёты, рассмотрим только некоторые частные случаи. Ограничимся случаем, когда ширина канала меньше, чем время регистрации, и примем, что $t_p = \ell t_k$ (где ℓ — целое число).

1-ый случай: $t_\phi \ll t_k$ и вероятность поступления больше одного импульса за время t_ϕ пренебрежимо мала, т.е. потерями схемы фазирования можно пренебречь. Просчёты в этом случае определяются только величиной t_p , естественно, не зависят от метода блокирования входа анализатора.

Если за K циклов в i -канале было зарегистрировано M_i импульсов, то, чтобы определять истинное число их, нужно учесть количество циклов K_M , когда данный канал полностью или частично закрыт после регистрации импульсов в пределах t_p до него. Поскольку начало и конец регистрации могут быть определены с точностью до ширины канала, обычно считают, что внутри канала отсчёты распределены равномерно, и начало отсчёта относят к его середине. Величина K_M определяется тогда как сумма отсчётов в интервале времени t_p , который оканчивается в середине i -го канала:

$$K_M = \frac{M_j - \ell}{2} + \frac{M_j}{2} + \sum_{j=1-\ell+1}^{i-1} M_j$$

Истинное число импульсов в i -том канале будет при этом равно:

$$N_i = \frac{M_i \cdot K}{K - K_M} \quad (1)$$

Усреднение, принятое выше, при определении начала отсчёта, снижает точность выражения (1), причём точность введения поправок на просчёты тем ниже, чем больше ширина канала.

2-ой случай: $t_\phi = t_k$ и на время регистрации t_p блокируется вход СФ.

Вероятность регистрации импульса в i -том канале при этих условиях может быть определена, с одной стороны, как среднее число импульсов, зарегистрированных за один цикл M_i / K (при большом числе циклов), с другой сто-

роны, равна произведению вероятности попадания хотя бы одного импульса на вход за время t_k на вероятность того, что вход будет открыт

$$\frac{M_i}{K} = (1 - e^{-n t_k}) \left(1 - \frac{1}{K} \sum_{j=1-\ell}^{i-1} M_j\right), \quad (2)$$

где $n = f(t)$ — интенсивность потока импульсов, поступающих на вход, причём $n t_k = N_i / K$.

Решая (2) относительно N_i , получим:

$$N_i = K \ell n \frac{K - \sum_{j=1-\ell}^{i-1} M_j}{K - \sum_{j=1-\ell}^{i-1} M_j} \quad (3)$$

Фиксированное положение начала регистрации по отношению к границам канала позволяет более точно вводить поправки на просчёты в случае, если $t_\phi = t_k$ (выражение 3), однако блокирование на время регистрации входа СФ равносильно некоторому увеличению эффективного мертвого времени всей системы, что, естественно, увеличивает и величину потерь.

3-ий случай: $t_\phi = t_k$ и на время регистрации блокируется выход СФ.

От рассмотренного выше 2-го случая этот отличается тем, что импульс, поступивший на вход в последний из ℓ каналов, перекрытых временем регистрации, будет запомнен в СФ и зарегистрирован сразу же после окончания t_p , что равносильно уменьшению эффективного мертвого времени. Поэтому для определения N_i можно воспользоваться выражением (3), уменьшив диапазон суммирования на единицу

$$V_i = K \ell_n \frac{K - \sum_{j=i-\ell+1}^{i-1} M_j}{K - \sum_{j=i-\ell+1}^i M_j} \quad (4)$$

Выражения (1), (3), и (4) описывают поведение различных схем при регистрации нестационарного импульсного потока и позволяют вводить поправки на просчеты в зависимости от формы регистрируемого спектра. При конструировании анализаторов чаще рассматривается менее сложный случай: определение относительной величины потерь при регистрации случайного стационарного потока импульсов, описываемого распределением Пуассона. Если обозначить μ - интенсивность входящего потока, m - скорость регистрации, $r = \frac{\mu - m}{\mu}$ - относительную величину потерь, то путем несложных преобразований выражений (1), (3), (4) получим соответственно:

$$\text{1-ый случай: } r = \frac{\mu r_p}{1 + \mu r_p} \quad (5)$$

$$\text{2-ой случай: } r = 1 - \frac{1 - e^{-nt\phi}}{\mu r_p (1 - e^{-nt\phi}) + nt\phi} \quad (6)$$

$$\text{3-ий случай: } r = 1 - \frac{1 - e^{-nt\phi}}{\mu r_p (1 - e^{-nt\phi}) + nt\phi e^{-nt\phi}} \quad (7)$$

На рис. 1 функция $r = f(t)$ представлена графически. Кривая 1 соответствует выражению (5), кривая 2 - выражению (6) (в качестве параметра взято отношение $r_p / t\phi = \ell$) кривая 3 - выражению (7) с тем же параметром.

При выборе схемы анализатора следует отдать предпочтение блокированию на время регистрации выхода С Ф, т.к. просчеты в этом случае уменьшаются. Учитывая, что поправки на просчеты могут быть определены более точно, если $t_\phi = t_k$ (пока $t_k \leq r_p$), выбор периода фазирующей серии может

быть сделан следующим образом:

$$t_\phi = r_p \quad \text{при} \quad t_k > r_p$$

$$t_\phi = t_k \quad \text{при} \quad t_k < r_p$$

Методы уменьшения искажений формы спектра, связанных с просчётами

Будем считать, что искажения имеют место только в тех случаях, когда относительная величина просчетов непостоянна и меняется от канала к каналу. Такая постановка вопроса оправдана, так как постоянная относительная величина просчетов ведет к пропорциональному уменьшению счета во всех каналах и не меняет формы спектра.

Наиболее эффективный метод уменьшения просчетов - уменьшение мертвого времени (r_m) регистратора. Время регистрации импульса в ферритовых запоминающих устройствах, применяемых в настоящее время в многоканальных анализаторах, составляет 10-20 мксек, и сделать мертвое время меньше этой величины довольно трудно.

К настоящему времени разработан целый ряд методов, позволяющих резко снизить просчеты без уменьшения мертвого времени основного регистратора. Большинство из них основано на изменении распределения импульсов во времени с целью приближения его к равномерному.

В 1954 году было предложено^{/1/} для этой цели применение промежуточной памяти, которая используется или для промежуточного хранения измеряемого параметра в аналоговой форме, или, после преобразования аналоговой величины в цифровую, в цифровой форме.

Теория устройств промежуточной памяти (УПП) достаточно полно рассмотрена в литературе как в виде решения отдельных частных задач^{/2,3,4/}, так и в более общей форме^{/5/}.

Во временных анализаторах чаще применяются цифровые УПП, позволяющие снизить просчеты более чем на порядок. Однако в ряде задач временного анализа ширина канала t_k может быть больше, чем время регистрации. В этом случае возможно более простое и более эффективное решение, сводящееся к под-

счёту числа импульсов, поступивших на вход за время t с последующей регистрацией всех за одно обращение к регистратору $t/6/k$. Эту функцию предварительного накопления можно совместить с фазированием.

Если $t_{\phi} = \tau_p$, $t_k \geq \tau_p$ и СФ может запоминать до двух импульсов, то относительная величина потерь будет определяться в этом случае следующим образом

Если за τ_p на вход поступает один импульс, вероятность чего $n\tau_p e^{-n\tau_p}$, то он будет зарегистрирован.

Если поступает два или больше импульсов (вероятность $1 - e^{-n\tau_p} - n\tau_p e^{-n\tau_p}$), то будет зарегистрировано только два, остальные - потеряны.

Скорость счёта при этом будет:

$$m = \frac{1}{\tau_p} [n\tau_p e^{-n\tau_p} + 2(1 - e^{-n\tau_p} - n\tau_p e^{-n\tau_p})].$$

Отсюда путем несложных вычислений получим выражение для величины относительных потерь:

$$r = 1 - \frac{2(1 - e^{-n\tau_p})}{n\tau_p} + e^{-n\tau_p} \quad (8)$$

На рис. 2 показана зависимость $r = f(n\tau_p)$ для рассмотренного случая (кривая 1). Там же для сравнения приведены кривые (2 и 3) для подсчетов в случае применения устройств промежуточной памяти с циклическим одросом и емкостью $s = 2$ и $s = 4^{1/2}$.

Таким образом, существуют достаточно эффективные методы борьбы с искажениями формы спектра при спектрометрии по времени пролета. Положение резко меняется при многомерном, особенно амплитудно - временном анализе. Применение цифровых устройств промежуточной памяти во многих случаях исключается, так как время преобразования амплитуды в цифровой код часто превышает мертвое время регистратора и составляет десятки и даже сотни микросе-

кунд ^{4,7/}. Введение поправок на просчёты также затруднено переменным временем преобразования, зависящим от амплитуды импульсов. Поэтому при амплитудно-временном анализе, с целью уменьшения искажений спектра, вынуждены прибегать к уменьшению интенсивности потока импульсов на входе. Обычно это делается путем уменьшения площади детектора. Подобный метод мало эффективен, так как просчёты почти линейно зависят от интенсивности. В связи с этим целесообразно поставить вопрос: нельзя ли вместе с изменением интенсивности входящего потока изменить распределение импульсов во времени с тем, чтобы несколько приблизить его к равномерному. Конечно, при этом необходимо сохранить положение регистрируемых импульсов на временной шкале.

Этим требованиям удовлетворяет поток Эрланга, который может быть легко получен из потока Пуассона отбором каждого 2,3...k -го импульса. Включив на входе анализатора схему с коэффициентом пересчёта 2, мы можем уменьшить интенсивность входящего потока в 2 раза. Скорость регистрации для постоянного мертвого времени τ_p определяется при этом ^{8/} следующим выражением:

$$m = n \frac{1}{1 + (L_2 + L_4 + L_6 + \dots)}$$

$$L_i = e^{-2n\tau_p} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(2n\tau_p)^k}{k!}$$

Кривая, соответствующая $r = (n - m) / n$, изображена на рис. 1 (кривая 4). Сравнивая эту кривую с первой, видим, что в широком диапазоне $n\tau_p$ просчёты для потока Эрланга с коэффициентом - 2 в несколько раз ниже, чем для потока Пуассона.

Л и т е р а т у р а

1. И.В.Штрапих. Диссертация, М., ФИАН, 1954.

2. Т.К. Alexander, H.G. Reddering and I.M. Kennedy.
CREL - 779, Chalk River, Ontario,
November, 1959.
3. R.E. Bell. Canad. J. Phys., 34, 563 (1956).
4. Л.А.Маталия, С.И.Чубаров, А.А.Иванов. Многоканальные анализаторы ядерной физики. Атомиздат, М., 1964.
5. Б.Е.Журавлев, Т.Шетет, В.Д.Шибяев. Препринт ОИЯИ, 10 -3120, Дубна, 1967.
6. Ш.И.Барилко. Диссертация, ОИЯИ, Дубна, 1965.
7. В.И.Приходько, В.Г.Тишин. Препринт ОИЯИ, 2482, Дубна, 1965.
8. В.И.Гольданский, А.В.Купенко, М.И.Подгорецкий. Статистика отсчетов при регистрации ядерных частиц. М., Физматгиз, 1968.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 апреля 1967 года.

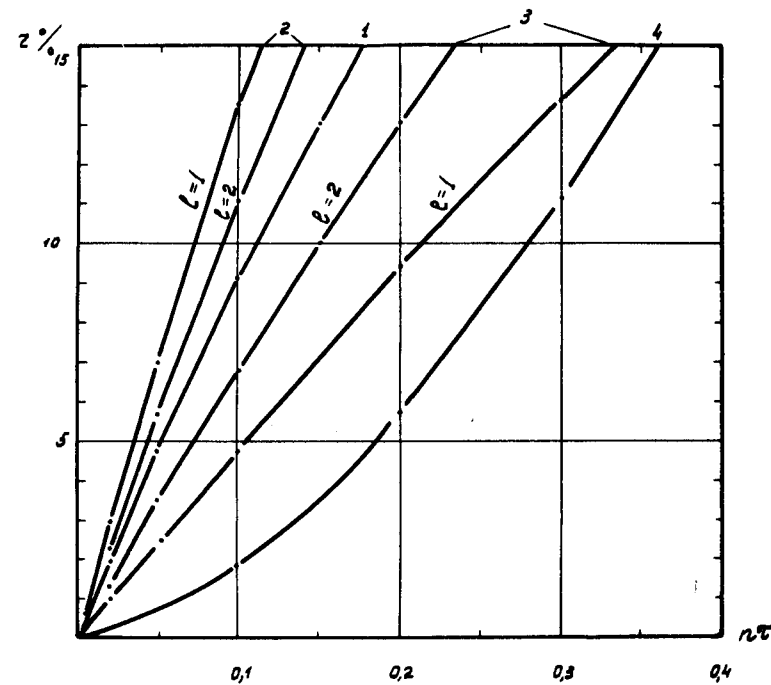


Рис. 1

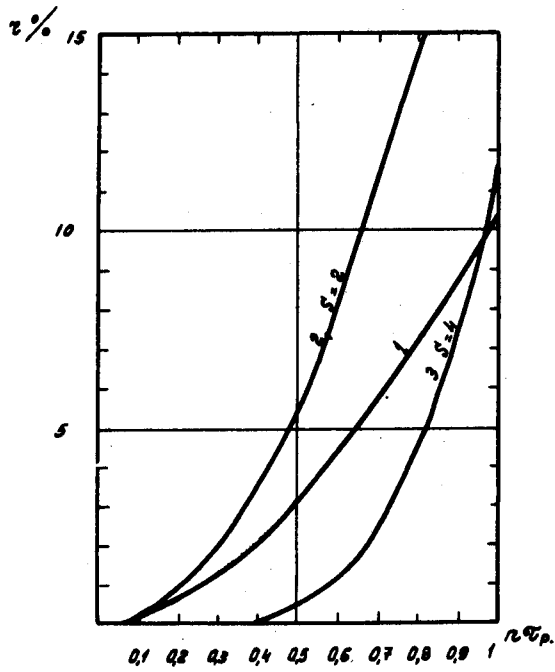


Рис. 2