

ОБ "АБСОЛЮТНОЙ" КАЛИБРОВКЕ ШКАЛЫ ВЫХОДНЫХ АМПЛИТУД ФОТОУМНОЖИТЕЛЕЙ

Ю.А. Трубкин

Указаны некоторые возможности быстрой калибровки шкалы выходных амплитуд фотоумножителей в единицах фотоэлектронов непосредственно на дисплее применяемого многоканального анализатора.

В работах /1, 2/ приведен расчет амплитудного распределения выходных импульсов (АРИ) фотоумножителей при засветке фотокатода слабыми световыми вспышками и предложен метод "абсолютной" калибровки шкалы выходных амплитуд непосредственно в единицах фотоэлектронов. Суть метода состоит в определении K_0 (интенсивность засветки фотокатода, выражается в среднем числе фотоэлектронов на вспышку) по величине $P(0)$ — вероятности просчета вспышек, и последующем нахождении значений амплитуд, соответствующих вылету с фотокатода одного, двух и т.д. электронов, путем наложения подходящей расчетной кривой на экспериментально полученное АРИ.

Однако применение этого метода требует вывода полученной информации из анализатора для ее обработки и, кроме того, наличия подходящей расчетной кривой. Вся процедура наложения, довольно длительная по времени, необходима для того, чтобы убедиться, что полученное на анализаторе АРИ в достаточной мере соответствует расчетному, т.е. заметным образом не искажено неадекватными условиями эксперимента, такими, например, как неточно установленные "ворота" на входе анализатора или "забитость" АРИ собственными шумами фотоумножителя. Искажение формы АРИ приводит к неправильной калибровке.

Из сказанного видна потребность в быстрых методах анализа АРИ и калибровки шкалы амплитуд непосредственно на дисплее анализатора. Для этой цели предлагается использовать полную ширину распределения на его полувысоте $\Delta_{1/2}$ (рис. 1а).

Положим, что размножение электронной лавины внутри фотоумножителя происходит на ряде из n последовательных динодов, на каждом из которых процесс размножения имеет вероятностный характер и описывается распре-

делением Пуассона, а на входе системы производится монохроматическое "впрыскивание" одного электрона (подобная ситуация осуществляется, например, при засветке фотокатода очень слабыми световыми вспышками с $k_0 \rightarrow 0$, когда за время одной вспышки вероятность вылета одновременно двух фотоэлектронов $P(2)$ в $k_0/2$ раз меньше вероятности вылета одного — $P(1)$). Тогда для $\Delta_{1/2}$ можно записать:

$$\Delta_{1/2} = 2,36\sigma = 2,36a \left\{ m_1 \left[1 + \sum_{i=2}^n (\prod m_j)^{-1} \right] \right\}^{0,5}, \quad (1)$$

где σ — среднеквадратичная (стандартная) погрешность; m_1 — средний коэффициент размножения на первом диноде; m_j — средние коэффициенты размножения на каждом из последующих динодов.

Если считать, как это и предусматривается в большинстве фотоумножителей, что, начиная со второго каскада, усиление лавины происходит равномерно, то в выражении (1) все $m_j = m$, а само выражение принимает вид:

$$\Delta_{1/2} = 2,36a \left[m_1 \left(1 + \sum_{i=2}^n \frac{i}{m^{i-1}} \right) \right]^{0,5} = 2,36a \left(\frac{m_1 m}{m-1} \right)^{0,5}, \quad (2)$$

где масштабный коэффициент a , по определению равный $a = X_1/m_1$, находится по положению X_{\max} максимума АРИ в соответствии с выражением:

$$a \approx X_{\max} \left(m_1 - \frac{0,5m}{m-1} \right)^{-1}. \quad (3)$$

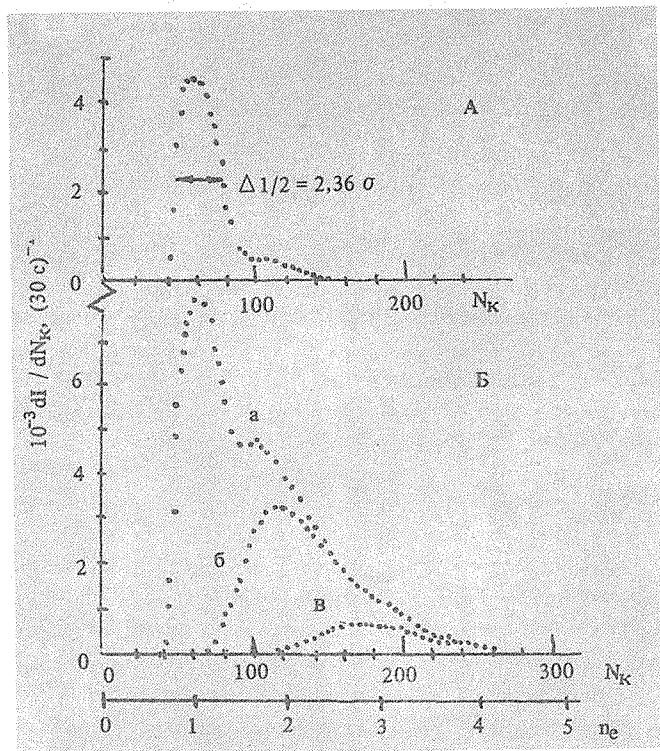
Амплитуда сигнала X_1 , соответствующая вылету одного электрона, определяемая по положению максимума АРИ, находится из соотношения:

$$a_{\max} | k_0 \rightarrow 0 = \frac{X_1}{X_{\max}} = \left(1 - \frac{0,5m}{m_1(m-1)} \right)^{-1}. \quad (4)$$

Необходимо отметить следующее:

1. Хотя в выражении (4) приведено максимальное значение параметра a_{\max} , реализующееся только при весьма малых подсветках, на практике значения a не сильно отличаются от a_{\max} и при больших величинах k_0 , вплоть до $k_0 \approx 0,2$.

2. В работах /1, 2/ в целях экономии машинного времени расчетные кривые получены с учетом влияния только первых двух динодов, и при этом отмечено хорошее согласие расчета с экспериментом. Последнее объяснимо, поскольку, как следует из выражения (2), возникающая при этом погрешность не превышает величины $(0,5/m^2) \Delta_{1/2}$.



Р и с. 1. Амплитудные распределения импульсов на выходе ФЭУ-130 № 4451 (ХП-1982) с $m_1 = 27$ и $m = 2,73$; N_k – номер канала амплитудного анализатора, n_e – число фотоэлектронов. А – интенсивность засветки фотокатода $k_0 = 0,2$ фотоэлектронов за вспышку, вероятность регистрации событий $P(\geq 1e) = 0,177$; Б – $k_0 = 0,99$, вероятности регистрации: $P(\geq 1e) = 0,627$ (а), $P(\geq 2e) = 0,276$ (б), $P(\geq 3e) = 0,058$ (в).

3. В работе [2] декларирована слабая зависимость положения X_1 относительно X_{\max} от принятых в расчете значений коэффициентов вторичной эмиссии, например, от m_1 . Действительно, используя выражение (4) для 12-каскадного фотоумножителя с известным общим усилением и с $m_1 = m = 3,2$, имеем:

$$\Delta X_1 / X_1 \approx 0,96 (2m_1 (m - 1) / (m - 1))^{-1} \Delta m_1 / m_1 \approx 0,28 \Delta m_1 / m_1,$$

откуда видно, что при $\Delta m_1 / m_1 \approx 25\%$ погрешность в определении положения X_1 составит $\sim 7\%$.

Имеется возможность провести калибровку с помощью импульсной под-

светки фотокатода вспышками сравнительно большой интенсивности $k_0 \gg 5$. В этом случае соотношения, аналогичные (2) и (3), имеют вид:

$$\Delta_{1/2} = 2,36a_1 [k_0 (1 + \frac{m}{m_1(m-1)})]^{0,5}, \quad (5)$$

$$a_1 = X_{\max} [k_0 - 0,5 (1 + \frac{m}{m_1(m-1)})]^{-1}, \quad (6)$$

где величина масштабного коэффициента a_1 определяет положение амплитуды X_1 .

В отличие от соотношений (2) и (3), любое из которых может быть использовано независимо от другого, соотношения (5) и (6) представляют систему, минимально необходимую для градуировки.

Наконец, можно воспользоваться калибровкой с помощью специально выбранного, эталонного, фотоумножителя. Необходимость в этом возникает при работе с современными фотоумножителями с жалюзийной системой динодов. В качестве эталонного удобно использовать фотоумножитель с большим значением m_1 типа рассматриваемого здесь ФЭУ-130. Для него вероятностью просчета вспышек за счет статистических процессов на динодах можно пренебречь (вклад первого динода в формирование $P(0)$ пропорционален e^{-m_1}), и величину засветки можно определить из соотношения $k_0 \approx -\ln P(0)$. Кроме того, для такого фотоумножителя, помимо получения одноэлектронного АРИ (рис. 1а), сравнительно легко удается провести разделение событий, относящихся к разной степени интенсивности. На рис. 1б показаны двух- и трехэлектронные события (кривые "б" и "в"), которые были выделены из общего АРИ (кривая "а") простым выбором положения ворот. Соответствие полученных распределений теоретическим, несмотря на небольшое искажение их формы, легко установить по таблицам Пуассона для указанной величины k_0 .

В работе использовался анализатор "Nokia LP-4840" с величиной ворот 10^{-6} с и предусилитель с временем формирования фронта импульса $0,7 \times 10^{-6}$ с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трубкин Ю.А., Федоров В.М. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 10, 20 (1974).
2. Пустоватов В.П. и др. Препринт ФИАН № 21, М., 1975.

Поступила в редакцию 11 июня 1985 г.
После переработки 23 сентября 1985 г.