

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ АМПЛИТУД НА ВЫХОДЕ  
ФОТОУМНОЖИТЕЛЯ В ОБЛАСТИ МАЛЫХ СВЕТОВЫХ СИГНАЛОВ

Ю. А. Трубкин, В. М. Федоров

УДК 621.383.2

Получено общее выражение, описывающее распределение амплитуд на выходе фотоумножителя при подсветке фотокатода источником света произвольной интенсивности и позволяющее производить калибровку шкалы амплитуд непосредственно в числе электронов с фотокатода.

В практике физического эксперимента часто возникает задача об измерении с помощью фотоумножителей и сравнении друг с другом малых световых потоков, выбивающих с фотокатода в среднем порядка одного электрона или меньше. При этом особенно важным становится вопрос о числе собственных шумовых импульсов ФЭУ, обусловленных термоэмиссией электронов с катода, для определения которых необходима точная калибровка шкалы амплитуд на выходе ФЭУ. Процедура такой калибровки существенно упрощается, если на шумовой характеристике имеется явно выраженный пик, соответствующий одноэлектронной термоэмиссии с катода, что достигается специальными технологическими приемами при изготовлении ФЭУ. Если пик выражен не четко, он может быть имитирован фотопиком с помощью метода совпадений /1/, например, при очень малых подсветках импульсным источником света, когда в среднем на вспышку выбивается  $K_0 \approx 0,005$  фотоэлектрона. Тогда вероятность выбивания двух электронов с фотокатода будет в  $2/K_0 \approx 400$  раз меньше соответствующей вероятности выхода одного электрона, и пик можно считать чисто одноэлектронным. Для такого частного случая необходимое выражение, описывающее распределение амплитуд на аноде ФЭУ, получено в работе /2/ на основе применимости распределения Пуассона для описания процессов вторичной эмиссии на динодах /1,3,4/. Это выражение позволяет калибровать шкалу соответствующего анализатора непосредственно в абсолютном числе электронов с катода.

Однако, для большинства серийных фотоумножителей спектр собственных шумов имеет резко падающий экспоненциальный вид в области амплитуд, соответствующих шумам с динодов, и получить чисто одноэлектронный фотопик не удастся. Получающиеся же фотопики при засветках  $K_0 \sim 0,1 + 1$  фотоэлектрон на вспышку имеют значительные примеси 2-х, 3-х и т.д. электронов, и вышеупомянутое выражение неприменимо для описания распределения выходных амплитуд ФЭУ.

Введя в рассмотрение процессы, происходящие на фотокатоде и принимая, что они, так же как и на динодах, описываются распределением Пуассона, можно получить общее выражение, описывающее распределение амплитуд на выходе фотоумножителя при любых, произвольных степенях подсветки. Для случая малых подсветок ( $K_0 < 1$ ), согласно /2/, достаточно учесть влияние первых двух динодов. Тогда вероятность, что со второго динода будет испущено отличное от нуля число электронов вторичной эмиссии,  $P(N)$ , примет вид:

$$P(N) = \frac{\exp(-K_0)m^N}{N!} \sum_{l=1}^{\infty} \frac{(m_1 e^{-m})^l}{l!} {}_1N \sum_{K=1}^{\infty} \frac{[K_0 \exp(-m_1)]^K}{K!} K^l.$$

При этом вероятность просчетов, т.е. вероятность того, что при этой подсветке после второго динода (а следовательно, и на выходе ФЭУ) не окажется ни одного электрона, равна:

$$P(0) = \exp(-K_0) \times$$

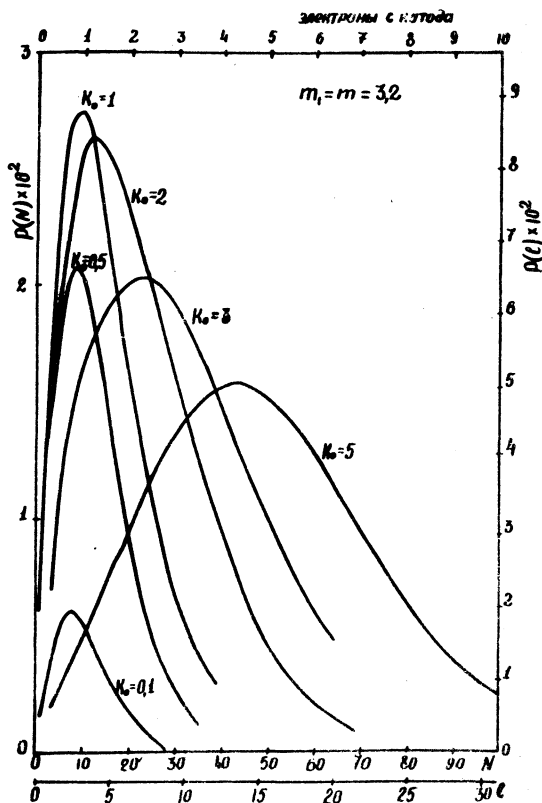
$$\times \left[ 1 + \sum_{K=1}^{\infty} \frac{[K_0 \exp(-m_1)]^K}{K!} + \sum_{l=1}^{\infty} \frac{(m_1 e^{-m})^l}{l!} \sum_{K=1}^{\infty} \frac{[K_0 \exp(-m_1)]^K}{K!} K^l \right].$$

Здесь  $K_0$  - среднее число электронов с фотокатода на вспышку,  $K$  - текущее число электронов с катода,  $m_1$  - средний коэффициент вторичной эмиссии на первом диноде,  $m$  - средний коэффициент вторичной эмиссии на втором и последующих динодах,  $l$  - текущее число электронов после первого динода.

При больших подсветках ( $K_0 \sim 2 \div 10$ ) достаточная точность достигается уже при учете влияния только первого динода, и соответствующие выражения запишутся:

$$P(1) = \frac{\exp(-K_0) m_1^1}{1!} \sum_{K=1}^{\infty} \frac{[K_0 \exp(-m_1)]^K}{K!} K^1,$$

$$P(0) = \exp(-K_0) \left[ 1 + \sum_{K=1}^{\infty} \frac{[K_0 \exp(-m_1)]^K}{K!} \right].$$



Р и с. I. Распределение амплитуд на выходе ФЭУ при различных интенсивностях подсветки  $K_0$

Естественно, что при еще больших подсветках ( $K_0 \geq 10$ ) достаточно простого распределения Пуассона на фотокатоде.

Заметим, что первые выражения являются общими, применимыми во всех случаях, однако возможности современной вычислительной техники (например, ограниченность памяти) накладывают ограничения на их применение или (при  $K_0 \geq 2$ ) вообще могут снизить точность получаемых результатов.

На рисунке I представлены рассчитанные по приведенным формулам распределения амплитуд на выходе фотоумножителя для различных значений  $K_0$  ( $K_0$  - степень подсветки фотокатода). При расчете принималось, что средний коэффициент размножения на каскад  $\mu_1 = \mu = 3,2$  - величина, близкая к подобным величинам для большинства серийных ФЭУ при рекомендованных режимах работы. Полученные вероятности просчетов  $P(0)$  сведены в таблицу. Точность приведенных величин  $\sim 1\%$ .

Таблица I

Зависимость  $P(0)$  от  $K_0$  при  $\mu_1 = \mu = 3,2$

$K_0$	0,01	0,05	0,1	0,5	0,75	1	2	3	5
$P(0)$	0,990	0,952	0,905	0,608	0,475	0,372	0,146	0,0563	0,00829

Включая в рассмотрение процессы, происходящие на фотокатоде, можно сравнивать получающиеся распределения не только по ширине или местоположению кривой, но также и по абсолютным значениям вероятностей, получаемых при различных  $K_0$ .

Поступила в редакцию  
20 июня 1974 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. А. Н. Перцев, А. Н. Писаревский, Л. Д. Сохин. ПТЭ, №3, 132 (1964).
2. Д. Г. Флешман, ПТЭ № 5, 98 (1962).
3. Л. Яноши. ЖЭТФ, 28, 599 (1955).
4. Н. С. Хлебников, А. Е. Меламид, Т. А. Ковалев. Радиотехника и электроника № 3, 518 (1962).