

Лабораторная работа № 33

Аппаратная функция фотоумножителя. Шумы фотоумножителя

Составитель и ведущий преподаватель:
Бурдонский Игорь Николаевич

В оптических измерениях в качестве детектора широкое распространение получили фотоэлектрические приемники излучения. Одним из наиболее широко применяемых приборов такого типа является фотоумножитель (ФЭУ). Обычно фотоумножитель представляет собой вакуумный прибор, включающий в себя светочувствительный катод и ряд вторичных эмиттеров (динодов), на которых происходит размножение электронов. Конструктивно они располагаются так, чтобы наибольшее число фотоэлектронов, испущенных эмиттером, достигало следующего эмиттера. Формы и положение динодов задаются принятым способом фокусировки и ускорения электронов. И то, и другое обычно осуществляется с помощью электростатического поля, а именно, в результате приложения к каждому эмиттеру последовательно возрастающего потенциала.

Важной характеристикой ФЭУ является чувствительность фотокатода. Величина фототока при достаточном напряжении строго пропорциональна световому потоку, падающему на фотокатод, при этом число фотоэлектронов, выбиваемых из катода в единицу времени, будет

$$N_e = \eta \cdot N_\phi, \quad (1)$$

где N_ϕ — число падающих фотонов. Коэффициент пропорциональности η носит название квантового выхода фотокатода. Квантовый выход фотокатода в широких пределах не зависит от освещенности фотокатода, однако меняется при разной поляризации света. Фотокатоды обладают большой селективностью и высоким квантовым выходом, обычно используется до 1/3 падающих фотонов. Фотокатоды изготавливаются из различных чистых металлов (Pt, Ag, Ni, Na) и разнообразных окислов и интерметаллических соединений (Sb–Cs, Ag–O–Cs). Эти сложные фотокатоды обладают более высоким квантовым выходом по сравнению с чисто металлическими. Обычно они и применяются

в фотоэлектрических приемниках излучения. Необходимо отметить, что по мере старения светочувствительного слоя фотокатода его квантовый выход падает.

В ФЭУ происходит усиление фототока. Усиление осуществляется за счет вторичной электронной эмиссии от фотоэлектронов, ускоренных полем. Отношение числа выбитых электронов к числу падающих носит название коэффициента вторичной эмиссии σ . Величина σ сильно зависит от материала эмиттеров и от энергии падающих электронов E_λ и может превышать 10 для некоторых типов ФЭУ.

Коэффициент усиления (одного каскада) фотоумножителя k определяется коэффициентом вторичной электронной эмиссии σ и тем, какая часть α эмитированных электронов достигнет следующего каскада. Если число динодов n , а k для каждого каскада одинаков, то

$$k = (\sigma \cdot \alpha)^n. \quad (2)$$

Так как σ есть функция от приложенного напряжения, то, регулируя его, можно менять коэффициент усиления ФЭУ. Значения k обычно составляют $10^7 \div 10^8$.

Чувствительность S_ϕ ФЭУ определяется как отношение выходного тока к световому потоку, падающему на фотокатод, и прямо пропорциональна коэффициенту усиления фотоумножителя (иногда ее называют анодной чувствительностью).

Другой важной характеристикой ФЭУ является пороговая чувствительность. Она определяется как наименьший световой поток, который может зарегистрировать ФЭУ. Пороговая чувствительность зависит от величины флуктуации измеряемого фототока и изменяется от образца к образцу. Задача экспериментаторов поэтому часто заключается в том, чтобы установить условия, при которых полезный сигнал был бы, по крайней мере, сравним по величине с шумами. Если фотоумножитель не освещен, но к динодам приложено напряжение, то в цепи ФЭУ будет наблюдаться темновой ток, являющийся результатом термоэмиссии с фотокатода, а также утечек из-за несовершенства изоляции. При слабом освещении фотокатода в цепи ФЭУ появится полезный сигнал, величина которого также подвержена статистическим флуктуациям. (Флуктуации связаны с дискретным характером фотоэффекта.)

$$\delta N_e = \sqrt{N_e}, \quad (3)$$

так определяется среднеквадратичная флуктуация фотоэлектронов.

Относительная погрешность измерения величины N_e в отсутствие шума определяется как

$$\frac{\delta N_e}{N_e} = \frac{1}{\sqrt{N_e}}, \quad (4)$$

или, учитывая (1)
$$\frac{\delta N_\phi}{N_\phi} = \frac{1}{\sqrt{\eta \cdot N_\phi}}. \quad (5)$$

Однако порог, определяемый статистикой фотоэлектронов, не может быть достигнут, т.к. на собственные флуктуации числа электронов накладываются флуктуации других источников. (Термоэмиссия катода и в основном первого эмиттера.) В связи с этим для уменьшения термоэмиссии ФЭУ иногда охлаждают жидким азотом. При этом термоэмиссия снижается до 10^4 раз, а пороговая чувствительность ФЭУ в $\sqrt{10^4}$ раз возрастает. Таким образом, квантовый выход фотокатода и величина темнового тока – основные параметры, определяющие пороговую чувствительность ФЭУ.

Для измерения слабых световых потоков в режиме счета фотонов фотоумножитель применяется достаточно часто. Если уровень собственных шумов ФЭУ достаточно мал, то каждый фотон после размножения в диодной системе дает импульс тока, величина которого подвержена некому статистическому разбросу. Эти импульсы можно зарегистрировать обычным дискриминирующим устройством с пересчетным прибором. Устанавливая уровень дискриминации, можно за некоторое время посчитать количество импульсов с разной амплитудой и построить функцию распределения шумовой компоненты ФЭУ при заданном уровне освещенности.

Целью настоящей работы является построение функции распределения шумов ФЭУ при разной освещенности.

Порядок выполнения работы

1. Включить источник питания ФЭУ стойку радиоэлектронной аппаратуры и прогреть их в течение 5–10 мин.
2. Затемнить фотокатод ФЭУ. Подать на фотоумножитель напряжение и, подобрав необходимые коэффициенты усиления, убедиться в устойчивой работе счетчика при разных уровнях дискриминации.
3. Изменяя уровень дискриминации, снять функцию распределения шумов фотоумножителя и построить ее.
4. Включить импульсный генератор, питающий светодиод. Последний расположить перед входным окном ФЭУ.
5. Подобрать необходимое усиление. Изменяя уровень дискриминации, снять функции распределения усиленных сигналов при разных уровнях освещенности фотокатода и построить их.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зейдель А.Н., Островская Г.В., Островский Ю.И.* Техника и практика спектроскопии.— М.: Наука, 1976.