

# Лабораторная работа № 33

## Аппаратная функция фотоумножителя. Шумы фотоумножителя.

Сардор Исламов

6 сентября 2023

**Аннотация.** В ходе работы были проанализированы шумы, вычислено значение дробового шума и аппаратной функции.

### Теоретическое введение

**Дробовой шум.** Флуктуации, которые связаны с дискретной природой света и электрического заряда, носят название дробового эффекта. Средняя квадратичная флуктуация напряжения, обусловленная этим эффектом, равна:

$$u_{\text{др}} = \sqrt{2eI_0k^2(1+B)R^2\Delta f}$$

где  $I_0$  – полный ток с поверхности катода;

$R$  – сопротивление нагрузки;

$\Delta f$  – полоса частот, в которых проводятся измерения;

$k$  – коэффициент усиления;

$B$  – постоянная, учитывающая конструктивные особенности ФЭУ.

Коэффициент усиления равен отношению чувствительностей анода и катода:  $k = S_a/S_k$

**Пороговая чувствительность.** Для определения пороговой величины регистрируемого потока  $\Phi_{\text{пор}}$  рассмотрим величину  $\rho = \frac{u_{\text{ф}}}{u_{\text{др}}}$ , где  $u_{\text{ф}}$  – напряжение, обусловленное измеряемым сигналом. Сигнал можно обнаружить, если  $\rho \geq 1$ . Условно примем, что пороговый сигнал  $\Phi_{\text{пор}}$  соответствует  $\rho = 1$ . Тогда  $u_{\text{ф}} = u_{\text{др}}$  Пороговый поток:

$$\Phi_{\text{пор}} = \frac{1}{\eta} \sqrt{\frac{2(1+B)I_{\text{т}}\Delta f}{e}}$$

где  $I_{\text{т}}$  – ток термоэмиссии. Для уменьшения порогового потока обычно помещают ФЭУ в жидкий азот, тем самым уменьшая ток термоэмиссии.

**Фотоэлектронный умножитель.** Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) – электровакуумный прибор, в котором поток электронов, излучаемый фотокатодом под действием оптического излучения, усиливается в умножительной системе в результате вторичной эмиссии (отношение числа вылетевших электронов к числу упавших на одном диноде). ФЭУ широко используется в оптических измерениях в качестве детектора. Пример устройства ФЭУ показан на рис. 2.

ФЭУ состоит из светочувствительного катода К и ряда вторичных эмиттеров (динодов)  $\Theta_1, \Theta_2, \dots$ , расположенных так, чтобы наибольшее число фотоэлектронов, испущенных

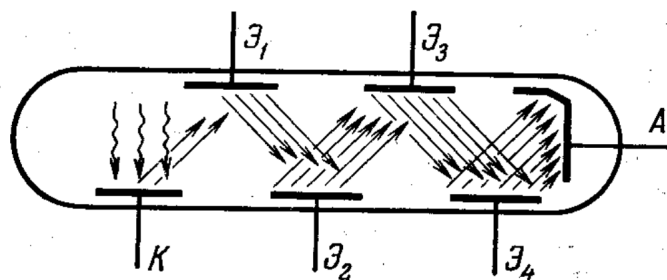


Рис. 1: Схема устройства фотоэлектронного умножителя

эмиттером, достигло следующего эмиттера. Далее полученный поток электронов подается на анод А. 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  $N_e = \eta N_\phi$ , где  $N_\phi$  – число падающих фотонов;  $\eta$  – квантовый выход фотокатода.

**Поляризация света.** Если исходная волна поляризована параллельно плоскости падения, то электрон фото- катода ускоряется не только полем, но и кулоновскими силами. Наблюдается резонанс при некоторой длине волны, поэтому квантовый выход больше. На рис. 1 приведена спектральная чувствительность катода  $S_\lambda$  в зависимости от длины волны для Na-K катода.

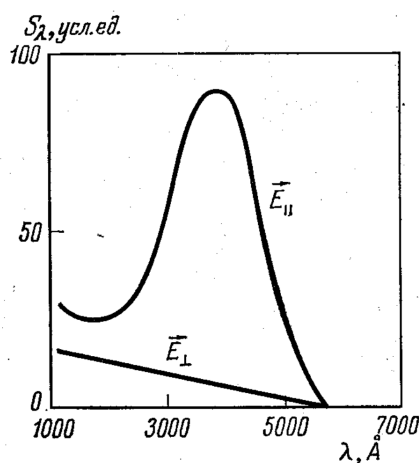


Рис. 2: Спектральные характеристики катода при разной ориентации света

## Результаты измерений и обработка данных

При работе использовался фотоумножитель со следующими характеристиками: Нагрузочное сопротивление  $R = 300$  кОм  
Чувствительность фотокатода  $S_k = 72$  мкА/лм  
Чувствительность анода  $S_a = 100$  А/лм  
Полоса измеряемых частот  $\Delta f = 10^6$  Гц  
Величина  $(1 + B) = 2$ .

В ходе работы были получены распределения шумов по каналам для двух напряжений: 1200 В и 1400 В.

Цену деления по оси абсцисс можно определить следующим образом:

$$\delta U = \frac{750 \text{ мВ (диапазон напряжений)}}{512 \text{ (число каналов)}} = 1.46 \cdot 10^{-3} \text{ В}$$

Из графиков определяется FWHM:

при 1200В: FWHM = 0.003 В

при 1400В: FWHM = 0.007 В.

Коэффициент усиления – отношение чувствительностей катода и анода:  $k = 13.9 \cdot 10^6$ .

Таким образом можем вычислить  $u_{\text{др}}(1200\text{В}) = 0.09\text{В}$  и  $u_{\text{др}}(1400\text{В}) = 0.13\text{В}$ .

Сами распределения шумов про разных напряжениях можно видеть на рис. 3 - 5

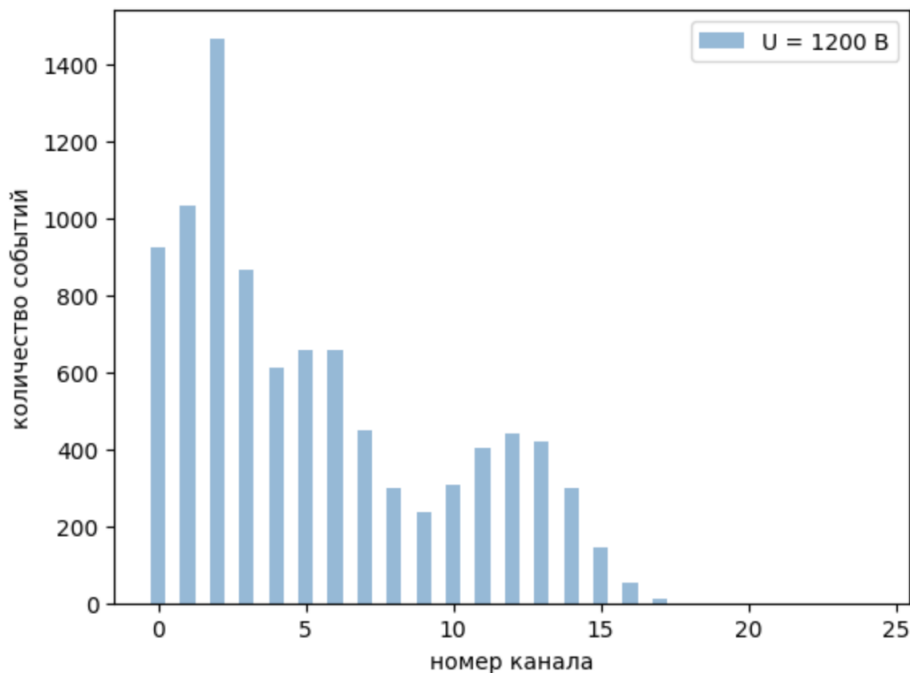


Рис. 3: Спектр шумов ФЭУ при напряжении 1200 В

Далее, включив осциллограф, будем менять время сигнала и наблюдать за откликом, пока его ширина на полувысоте не станет постоянной величиной. Это значение и будет аппаратной функцией.

## Вывод

В ходе работы были изучены принципы работы ФЭУ, определен уровень шумов ФЭУ при двух значениях напряжения  $u_{\text{др}}(1200\text{В}) = 0.09\text{В}$  и  $u_{\text{др}}(1400\text{В}) = 0.13\text{В}$  и определена аппаратная функция  $\tau = 1.2\text{мкс}$ .

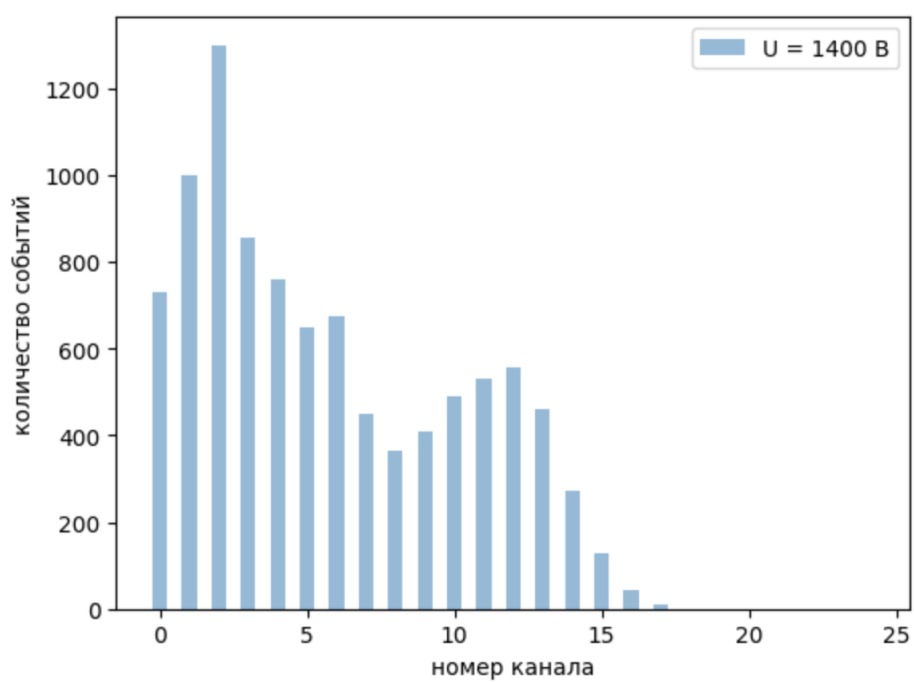


Рис. 4: Спектр шумов ФЭУ при напряжении 1400 В

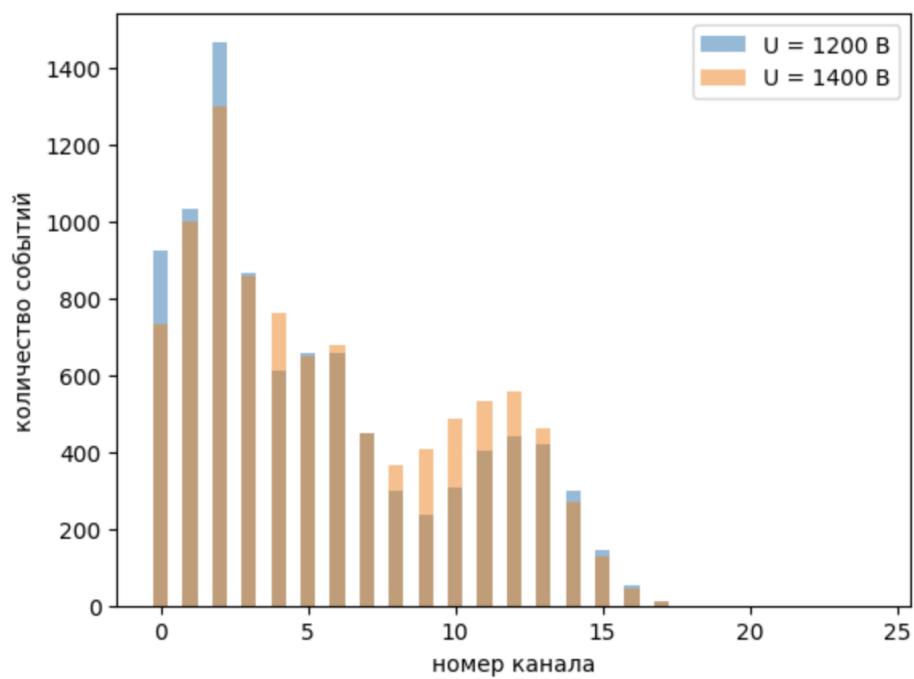


Рис. 5: Спектры шумов ФЭУ при напряжении 1200 В и 1400 В