

Метод определения напряжения пробоя микropиксельных лавинных фотодиодов

**Х. И. Абдуллаев¹, Р. М. Мухтаров¹, З. Я. Садыгов², А. В. Сиделев³,
А. И. Титов³**

¹ – Национальная Академия Авиации, Баку, Азербайджан

² – ОИЯИ, Московская обл., Дубна, Россия

³ – Всероссийский НИИ автоматики, Москва, Россия

Обоснование методики

Микропиксельные лавинные фотодиоды (МЛФД), также известные как кремниевые фотоэлектронные умножители или микропиксельные счетчики фотонов (по-английски, Micro Pixel Photon Counters – MPPC) широко обсуждаются в научной литературе.

Необходимость разработки новых методов определения характеристик МЛФД вызвано тем, что их конструкция и принцип работы значительно отличаются от традиционных лавинных фотодиодов (ЛФД).

В данной работе приведена простая инженерная методика для определения параметров МЛФД. Предложенная методика основывается на использовании известной эмпирической формулы Миллера, связывающей коэффициент умножения фотоприемника с величиной приложенного напряжения

Основа методики

Для лучшего совпадения расчетной зависимости коэффициента лавинного умножения M от приложенного к фотодиоду напряжения U_d с экспериментальными данными нами предлагается использовать следующую модификацию формулы Миллера, учитывающую падение напряжения на последовательном сопротивлении электрической цепи прибора

$$M = \frac{1}{1 - \left(\frac{U_{pn}}{U_{br}}\right)^k}$$

где $U_{pn} = U_d - J_t \times R_0$

К сожалению, непосредственное использование этой формулы практически неудобно для определения напряжения пробоя. Поэтому далее мы получим на ее основе упрощенное инженерное соотношение, позволяющее определить указанные параметры МЛФД.

Вывод рабочих формул

Полный ток J_t лавинного фотодиода в рабочем режиме можно выразить как

$$J_t = M \cdot (I_d + I_{ph}) \quad M = \frac{1}{1 - \left(\frac{U_{pn}}{U_{br}}\right)^k}$$
$$U_{pn} = U_d - J_t \times R_0$$

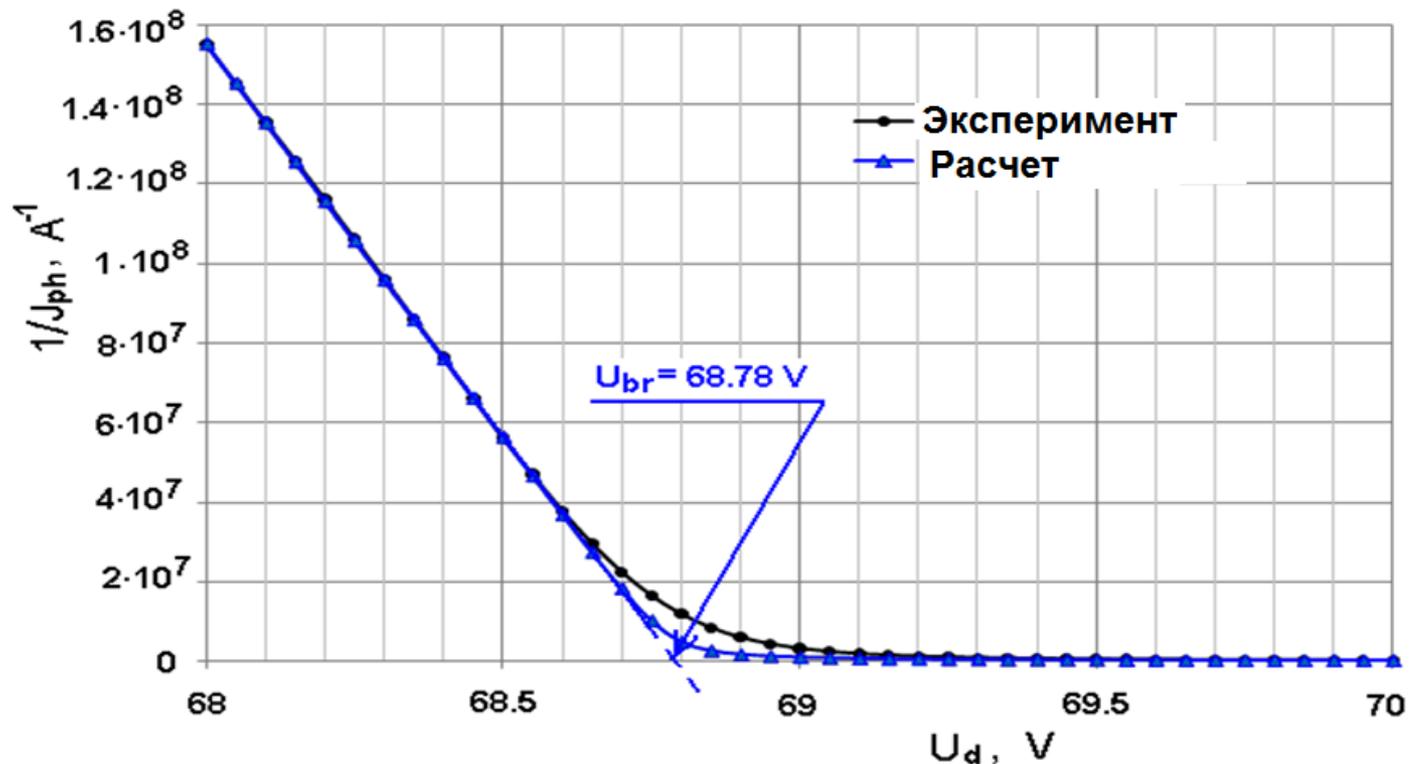
При $M \gg 1$, $I_{ph} \gg I_d$ и $[(U_{br} - U_{pn}) / U_{pn}] \ll 1$ можно получить следующие рабочие формулы:

$$\frac{1}{J_{ph}} = \frac{k}{I_{ph} U_{br}} \cdot (U_{br} - U_d) \quad \text{при } U_d < U_{br}$$

$$J_{ph} = \frac{(U_d - U_{br})}{R_0} \quad \text{при } U_d > U_{br}$$

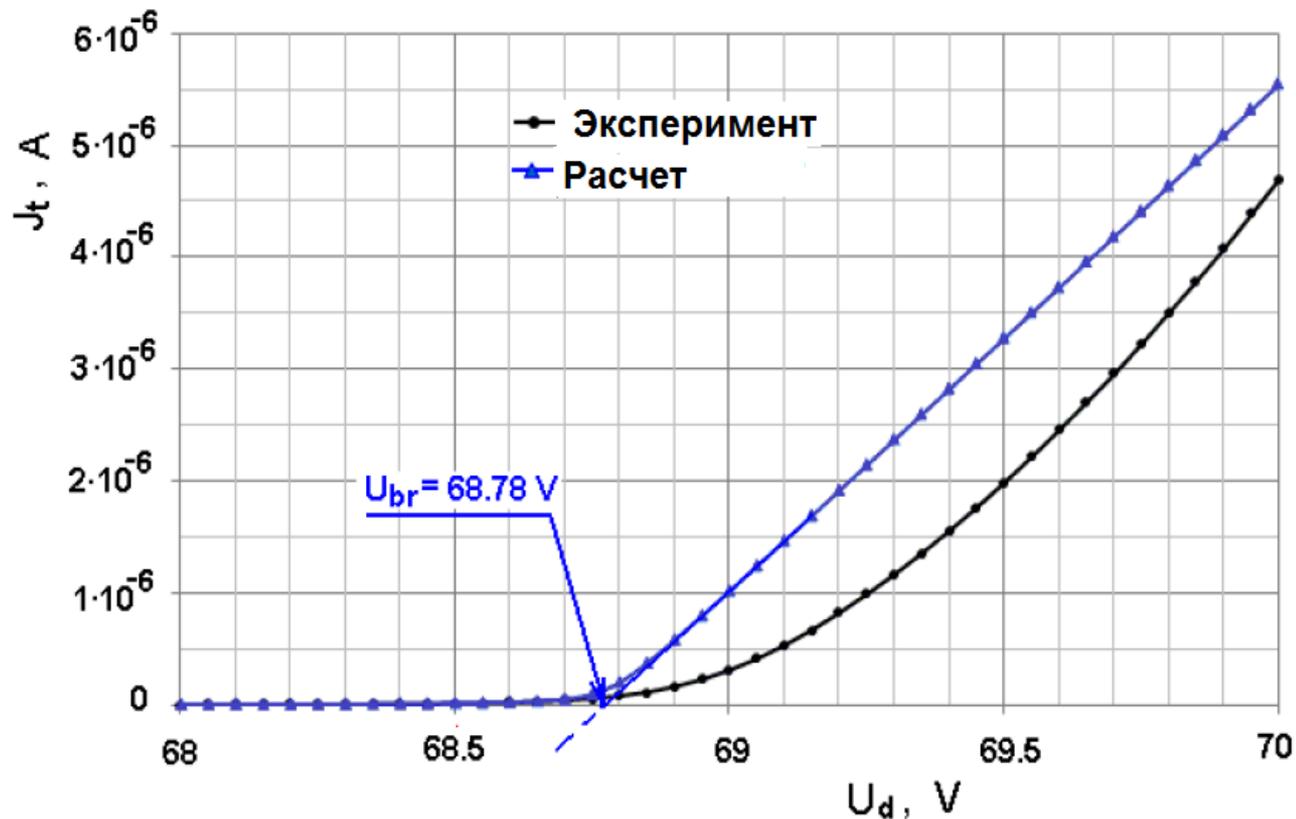
Сравнение с экспериментальными данными

В качестве экспериментального образца для проверки выше указанной методики был выбран микропиксельный лавинный фотодиод *S10362-11-025U* от фирмы Hamamatsu. Прибор имел рабочую площадь $1\text{mm}\times 1\text{mm}$, на которой располагались 1600 пикселей с размерами $25\text{ мкм}\times 25\text{ мкм}$.



Сравнение с экспериментальными данными

MPPC – “S10362-11-025U “ from Hamamatsu



Сравнение с экспериментальными данными MPPC – “S10362-11-025U “ from Hamamatsu

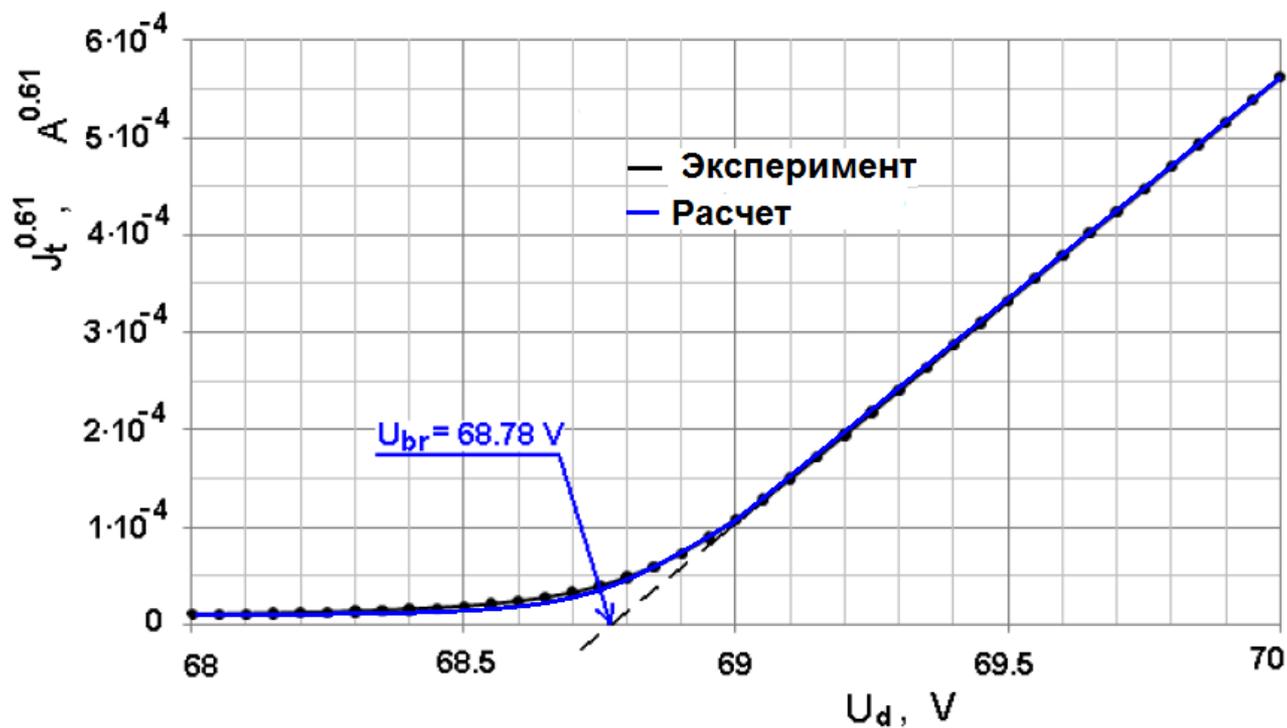
В области напряжений $U_d > U_{br}$ расчетные и экспериментальные кривые существенно отличаются. Здесь формула Миллера дает линейную зависимость фототока от величины U_d , а экспериментальная кривая имеет форму, близкую к параболической зависимости.

Это связано тем, что при фиксированной мощности света число сработавших пикселей увеличивается пропорционально величине $U_d - U_{br}$, и поэтому эффективная проводимость $\sigma = (I/R_0)$ в цепи прибора увеличивается с ростом величины $U_d - U_{br}$. Если зависимость величины σ от приложенного напряжения представить (разложить) в виде степенного ряда $A + B \cdot (U_d - U_{br})$, то можно получить выражение

$$J_{ph} = \frac{(U_d - U_{br})}{R_0} \sim (U_d - U_{br})^\delta$$

где $2 > \delta > 1$, A и B – коэффициенты разложения.

Это означает, что если экспериментальные данные, приведенные на предыдущем рисунке перестроить в виде функции $\delta\sqrt{J_{ph}} \sim U_d$ то должна быть область линейной зависимости, экстраполяция которой пересекает ось X в точке U_{br} .



Таким образом, предложен и экспериментально проверен простой метод определения напряжения пробоя МЛФД.

Спасибо за внимание!