

**ДОСЛІДЖЕННЯ ШУМОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ФОТОПРИЙМАЧА ІНФОРМАЦІЙНОЇ
МІКРОЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ**

Галат О.Б., Лашко Е.І.

e-mail: oleksandr.galat@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПШ
м. Харків, Україна

Optical sensors in spectroscopy systems and backbone information transmission systems often operate with extremely low signal levels. To evaluate the performance of such photodetectors, it is important to know the noise characteristics of the sensitive element of the detector. This paper presents a study of the noise characteristics of a semiconductor photoconverter, which serves as the first stage of an information microelectronic system. The main components that affect the noise level of the sensitive element are considered, and the factors on which they depend are analyzed.

Фотоприймачі, призначені для спектроскопії, моніторингу навколишнього середовища, часто працюють з низькими рівнями сигналів. У цьому випадку визначальним є висока чутливість датчика випромінювання на тлі мінімального рівня шумів елементів підсилювального тракту. Порогова чутливість датчика визначається рівнем його шумів (відношення сигнал/шум дорівнює 1).

Шуми прийнято вимірювати у вигляді еквівалентної потужності шумів ($P_{ш}$), напруги шумів ($U_{ш}$), шумового струму ($I_{ш}$), а також еквівалентного шумового заряду (ENC) залежно від виду сигналу і детектуючого ланцюга [1,2,3].

Еквівалентна потужність шумів ($P_{ш}$), напруга шумів ($U_{ш}$), шумовий струм ($I_{ш}$) частіше застосовуються як еквівалент порогової чутливості датчика, якщо вхідний сигнал є гармонійним, сумою гармонік, представлений деяким спектральним розподілом потужності, напруги або струму. При випадковому розподілі вхідного сигналу (за амплітудою і/або за спектром), як правило, застосовують поняття еквівалентного шумового заряду (ENC).

Метою даної роботи є аналіз шумових компонент, що найбільш сильно впливають на сигнал інформаційного мікроелектронного фотоприймача. Предметом дослідження є фотоприймальний модуль інформаційної системи, що працює з гранично малими вхідними сигналами.

Традиційна методика оцінки шумових характеристик включає вимірювання сигналу датчика з постійним зміщенням за допомогою зарядочутливого підсилювача. Сигнал представлений у вигляді розміру заряду на вході підсилювача. У даній ситуації логічно використовувати для оцінки порогової чутливості датчика значення ENC[4, 5].

Розглянемо компоненти шуму, властиві напівпровідниковому фотоприймачу інформаційної мікроелектронної системи.

Шум Джонсона властивий всім резистивним матеріалам, включаючи напівпровідники. Він спостерігається і за відсутності електричного зміщення і проявляється у вигляді флуктуації напруги або струму (в залежності від прийнятої схеми вимірювань).

Співвідношення для характеристики теплового шуму резистивного датчика у одиницях ENC [3]:

$$ENC^2 = \exp(2) \frac{kT\tau}{2R}, \quad (1)$$

де k – постійна Больцмана;

T – абсолютна температура зразка;

R – опір датчика;

τ – час формування сигналу у вхідному тракті.

Генераційно-рекомбінаційний (ГР) шум обумовлений флуктуаціями швидкостей теплової генерації та рекомбінації вільних носіїв заряду в напівпровіднику, тобто флуктуаціями середньої концентрації носіїв струму. Якщо опір зразка флуктує в часі, то при протіканні через нього струму спостерігаються флуктуації напруги на зразку.

Для власного напівпровідника в датчику з постійним зміщенням шумовий електронний заряд ГР компоненти:

$$ENC = Q = I_N \cdot \tau = I_N \sqrt{\tau^2} = I_N \sqrt{\frac{\tau}{\Delta f}} = 2I_s \frac{b+1}{bN+P} \sqrt{\frac{NP}{N+P} \frac{\theta\tau}{1+\omega^2\theta^2}}. \quad (2)$$

Дробовий шум виявляється в датчиках, що мають р-п-перехід, наприклад, у фотодіодах. Еквівалентний шумовий заряд дорівнює:

$$ENC^2 = 2eI_s\tau. \quad (3)$$

Четвертим видом шуму є шум типу $1/f$, амплітуда якого обернено пропорційна частоті. Еквівалентний шумовий заряд дорівнює:

$$ENC_N^2 = \frac{K \cdot I_s^\alpha \cdot \tau}{f^\beta}, \quad (4)$$

де K – коефіцієнт пропорційності,

I_s – струм зміщення,

f – частота.

Шум типу $1/f$ зазвичай проявляється в детекторах випромінювання на низьких частотах (зазвичай менше 1 кГц). На високих частотах амплітуда цього шуму стає меншою, ніж амплітуда одного з білих шумів, у яких відсутня залежність від частоти, таких як шум Джонсона, ГР шум і дробовий шум. Зазвичай цей шум зменшується з удосконаленням технології виготовлення контактів і обробки поверхні зразків [1,2].

Для систем моніторингу швидкодія некритична. Це дає можливість використовувати резистивний фотоприймач. Для резистивного датчика з

постійним зміщенням при розрахунку шумів необхідно, беручи до уваги вищевикладене, врахувати тепловий і генераційно-рекомбінаційний шум.

Для попередніх розрахунків візьмемо датчик на основі високоомного напівпровідника р-типу. Квадрат повного шумового струму отримаємо, підсумовуючи (2), (3) і враховуючи $P \gg n$, $b \gg 1$.

Еквівалентний шумовий заряд:

$$ENC_{\Sigma}^2 = ENC_{\Gamma P}^2 + ENC^2 = \frac{4kT\tau}{R} + 4 \frac{I_s^2 b^2}{P^2} \frac{N\theta\tau}{1 + \omega^2\theta^2}, \quad (5)$$

де N , P – повне число електронів і дірок в обсязі датчика.

Розрахунки ENC за формулою 5 показують, що найважливішою складовою для фотоприймача на основі фоторезистору є генераційно-рекомбінаційний шум, що залежить від постійного струму сенсора. Таким чином необхідний вибір якомога найбільш високоомного матеріалу датчика.

Список використаних джерел:

1. Оптоелектроніка: від макро до нано. Передавання, перетворення та приймання оптичного випромінювання : навч. посіб. У 2-х кн. / В. О. Чадюк. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. – Кн. 1.–376 с.
2. R.J. Keyes; R.J. Keyes; P.W. Kruse; D. Long; A.F. Optical and Infrared Detectors. / Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1980. –328 p.
3. Van_der_Zil_A. Noise. Sources, characterization, measurement. / Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1970. – 228 p.
4. Bertuccio, G. A Method for the Determination of the Noise Parameters in Preamplifier Systems for Semiconductor Detectors / G. Bertuccio, A. Pullia. - Rev. Sci. Instru. – 1993. – Vol. 64. – P.3294 – 3298.
5. Comparative evaluation of the temperature dependence of different noise sources in CdTe detectors [Text] / P.Chirco, M.Zanarini, E.Caroli, A.Donati, W.Dusi, J.B.Stephen, G.DiCocco. – Nucl. Instrum. and Meth.. – 1996. – A380. – P. 127 – 131.