

НАПІВПРОВІДНИКОВІ ДОЗИМЕТРИ ДЛЯ СЕНСОРНИХ ЦИФРОВИХ МЕРЕЖ

Попазов В. Г.

*здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня
за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення
Міжнародний гуманітарний університет
м. Одеса, Україна*

Горбачов В. Е.

*кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інформаційних технологій
Міжнародний гуманітарний університет
м. Одеса, Україна*

Всі радіаційні об'єкти, такі як: космічні станції, реактори атомних станцій, прискорювачі елементарних частинок, прилади радіаційної медицини та інші об'єкти з підвищеним фоном іонізуючого випромінювання, де присутність людини пов'язана з загрозою її здоров'ю, обладнуються системами дистанційного контролю [1]. Найбільш передовою технологією організації цифрових систем дистанційного контролю є концепція Інтернету речей [2], коли процесор із заздалегідь написаним алгоритмом може приймати рішення про коригування параметрів об'єкта без втручання людини. Основною частиною таких систем по затратам ресурсів займає сенсорна мережа різноманітних датчиків, детекторів та сенсорів [3], які є єдиним джерелом інформації, яка аналізується сервером та на базі якої процесор приймає рішення про коригування параметрів об'єкта, який контролюється.

Радіація діє не тільки на живі клітини організму, але і на напівпровідникові пристрої цифрової мережі, такі як датчики, підсилювачі, передавачі і виконавчі пристрої. Датчики отримуватимуть некоректну інформацію і робота всієї мережі втрачає сенс. Щоб уникнути цього необхідно вносити корективи в покази датчиків в залежності від дози іонізуючого випромінювання, яку отримав об'єкт. Тому такі системи завжди оснащуються пристроями, які вимірюють дозу отриманого іонізуючого випромінювання [2, 3], а їх вдосконалення є актуальною проблемою на сьогоднішній день.

Мета роботи: дослідити при яких умовах дозиметр, який зібраний на базі промислових недорогих транзисторів, може бути використано для роботи в сучасних цифрових сенсорних мережах.

При порівнянні схем сполучення аналогових та частотних чутливих елементів із цифровими комп'ютерними мережами можна побачити, що датчик з частотним виходом має суттєво менше елементів, оскільки не потребує підсилювачів, фільтрів і аналогово-частотних перетворювачів.

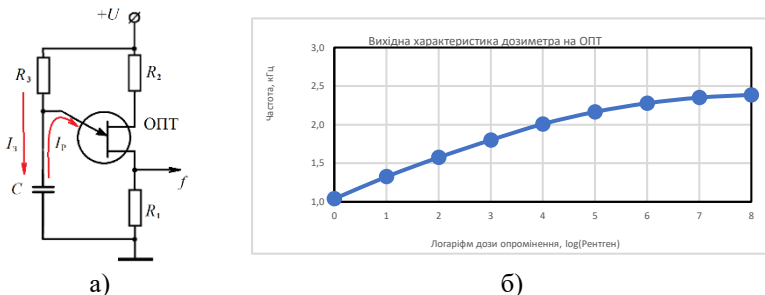


Рис. 1. Схема дозиметра з частотним виходом на одному ОПТ (а) та його вихідна характеристика (б)

Найбільш простою схемою радіаційно-чутливого пристрою з частотним виходом є генератор релаксаційних коливань (рис. 1, а), зібраний на одноперехідному транзисторі (ОПТ). Така можливість існує завдяки тому, що ОПТ має вольт-амперну характеристику S-типу, на якій є ділянка з негативним значенням опору.

В роботі було досліджено теоретичну модель вихідної характеристики дозиметра з частотним виходом на одному ОПТ – залежність частоти генератора f від дози опромінення:

$$f \uparrow = \frac{I_{\text{ЗАР}}}{C(U_{\text{ВКЛ}} - I_{\text{ОСТ}} \cdot r_b \uparrow)}, \quad (1)$$

де $I_{\text{ЗАР}}$ – струм зарядки конденсатора; C – електроємність конденсатора; $I_{\text{ОСТ}}$ – остаточний струм; $U_{\text{ВКЛ}}$ – напруга включення.

З співвідношення (1) видно, що при дії радіації утворюються постійні дефекти в структурі напівпровідника ОПТ, тому опір бази r_b зростає, тому частота коливань генератора $f \uparrow$ буде зростати.

Експериментальні розрахунки вихідної характеристики дозиметра з частотним виходом на одному ОПТ проводилися за допомогою комп'ютерної моделі, написаної на мові C#.

Результати експериментальних розрахунків вихідної характеристики дозиметра з частотним виходом на одному ОПТ представлені на рис. 1, б, де представлено графік залежності частоти коливань генератора при

опроміненні різними дозами Φ . Чутливість такого дозиметра складає 158 Гц/Р при споживаній потужності $P = 10$ мВт, але з графіка видно, що вихідна характеристика дозиметра з частотним виходом на одному ОПТ нелінійна.

Для виправлення цього недоліку було розглянуто комбінований дозиметр на базі двох транзисторів ОПТ та MOSFET. Замість постійного резистора R_3 в колі емітера схеми генератора (рис. 3, а) було підключено MOSFET, струм якого I_H зростає при опроміненні. Схему комбінований дозиметр показано на рис. 2, а.

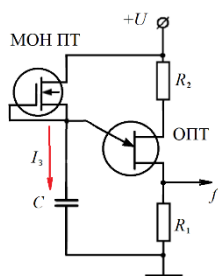
В роботі було досліджено теоретичну модель вихідної характеристики комбінований дозиметра з частотним виходом на базі ОПТ+MOSFET – залежність частоти генератора f від дози опромінення Φ :

$$f \uparrow \uparrow = \frac{I_H \uparrow}{C(U_{\text{ВКЛ}} - I_{\text{ОСТ}} \cdot r_b \uparrow)} \quad (6)$$

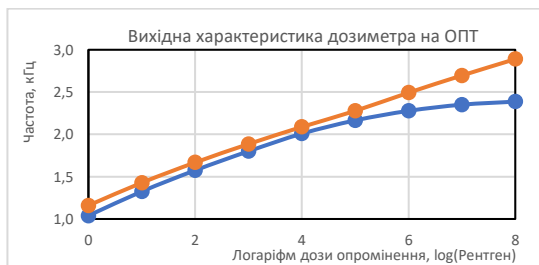
В цієї моделі при дії радіації частота комбінованого дозиметра зростає за рахунок двох факторів:

- зростає опір бази ОПТ згідно зі співвідношенням (5);
- зростає струм зарядки конденсатора, якій тепер визначається струмом насичення скрізь MOSFET (1).

Експериментальні розрахунки вихідної характеристики комбінованого дозиметра проводилися за допомогою комп'ютерної моделі на мові C#.



а)



б)

Рис. 2. Схема комбінованого дозиметра з частотним виходом на базі двох транзисторів ОПТ+MOSFET (а) та його вихідна характеристика (б)

Результати експериментальних розрахунків вихідної характеристики комбінованого дозиметра з частотним виходом на двох транзисторах ОПТ та MOSFET представлені на рис. 4, б, де представлено графік залежності частоти коливань генератора при опроміненні різними

дозами Φ . Чутливість такого дозиметра складає 172 Гц/Р при споживаній потужності $P = 12$ мВт. З графіка видно, що вихідна характеристика комбінованого дозиметра з частотним виходом на двох транзисторах ОПТ та MOSFET є майже лінійною. Це пояснюється тим, що радіаційні ефекти в MOSFET більш сильніші, ніж в ОПТ.

Промислові ОПТ типу КТ117 можна замінити зарубіжними аналогами 2N6027 і 2N6028.

За допомогою комп'ютерної моделі дії радіації на дозиметр з частотним виходом було показано, що дозиметр на базі одного ОПТ має нелінійну вихідну характеристику і недостатню чутливість для його використання в цифрових сенсорних мережах. Також було показано, що комбінований дозиметр на базі двох ОПТ та MSFET має лінійну вихідну характеристику і достатню чутливість для його використання в цифрових сенсорних мережах.

На відміну від сучасних детекторів радіації, які вимагають спеціальних технологій виготовлення і значних витрат, досліджуваний дозиметр зібраний на двох серійних транзисторах, що істотно зменшує матеріальні витрати і споживану енергію.

Література:

1. Torres-Hoyos F., Baena-Navarro R., Vergara-Villadiego J., Pérez Gómez A. Design and assembly of an IoT based device to determine Absorbed dose of gamma and UV radiation in skin. Proceedings of the ISSSD 2019, October 7 to 11th, 2019. Zacatecas, Zac. Mexico.
2. Sharaf, A.; Zorkany, M.; Shiple, M. High efficient low-cost gamma-ray radiation sensor based on IoT platform. J. Radiat. Res. Appl. Sci. 2022, 15, 100463. [Google Scholar] [CrossRef]
3. Tran-Quang, V., Dao-Viet, H. An internet of radiation sensor system (IoRSS) to detect radioactive sources out of regulatory control. Sci Rep 12, 7195 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11264-y>