

Після певних перетворень формула (24) набуде вигляду:

$$C = P_{\max} \log_a \left(\frac{n^n}{(n+1)^{n+1}} \right) + P_{\min} \log_a \left(\frac{k^k}{(k+1)^{k+1}} \right). \quad (25)$$

Одержана формула дозволяє оцінити пропускну спроможність двійкового симетричного каналу без пам'яті з двома градаціями вірності як з використанням прийому з сигналом стирання, так і без нього. При прийомі з сигналом стирання ймовірність появи символу стирання враховується неявно через значення ймовірностей правильного та помилкового прийому символу.

1. W. Stallings. Networking Standards : a guide to OSI, ISDN, LAN and MAN Standards, 1994.
2. Лангр М., Обелевская К.М. Пропускная способность двоичного симметричного канала с двумя градациями верности / Львов. политехн. ин-т. Львов, 1990. Рукопись деп. в УкрНИИТИ N 605-Укр90.

УДК 539.1.08

ПРИСТРОЇ ДЛЯ КОМПЕНСАЦІЇ "МЕРТВОГО" ЧАСУ ДЕТЕКТОРІВ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

О. О. Лопчак, В. Максимович, Ю. Сторонський

Національний університет "Львівська політехніка"; НВКП "Спаринг-Віст"

Розглянуто принцип роботи пристроїв для компенсації "мертвого" часу детекторів іонізуючого випромінювання. Пристрої належать до класу число-імпульсних функціональних перетворювачів і побудовані на базі нагромаджуючого суматора з додатним зворотним зв'язком. У результаті математичного моделювання визначені методичні похибки пристроїв.

The work principle of device for compensation the dead time of ionizing radiation detectors is considered. Devices are belong to number-pulse functional converters and are based on counter-type adder with positive feedback. The methodical errors of devices are determined in the result of mathematical modeling.

Проблема компенсації "мертвого" часу детекторів іонізуючого випромінювання, як правило, виникає при побудові дозиметричних пристроїв з широким динамічним діапазоном. Більшість сучасних детекторів характеризуються "мертвим" часом непродовжуючого типу, середня частота вихідних імпульсів яких визначається за [1]:

$$f = \frac{\lambda\gamma}{1 + \lambda\gamma\tau_m}, \quad (1)$$

де λ – інтенсивність дози, γ – чутливість детектора, τ_m – мертвий час. Наведена формула справедлива в тому випадку, коли інтенсивність дози відповідає інтенсивності потоку іонізуючих частинок. Це забезпечується при умові, що детектор має відповідну енергетичну характеристику або ця характеристика реалізується електронними засобами в блоці детектування [2].

Компенсація "мертвого" часу детекторів може здійснюватись за допомогою обчислень, що виконуються мікропроцесором, або апаратними засобами. Конкурентноспроможність останніх зумовлена тим, що вони можуть бути реалізовані на програмованих логічних інтегральних схемах із забезпеченням високих технічних характеристик. Серед апаратних засобів слід виділити пристрої для відновлення пуассонівського імпульсного потоку, в основі яких є багаторозрядний регістр зсуву [3]. Однак існує також можливість компенсації "мертвого" часу детекторів з використанням число-імпульсних функціональних перетворювачів (ЧІФП).

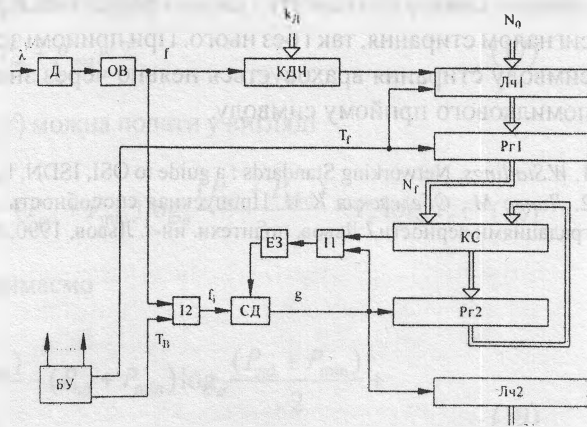
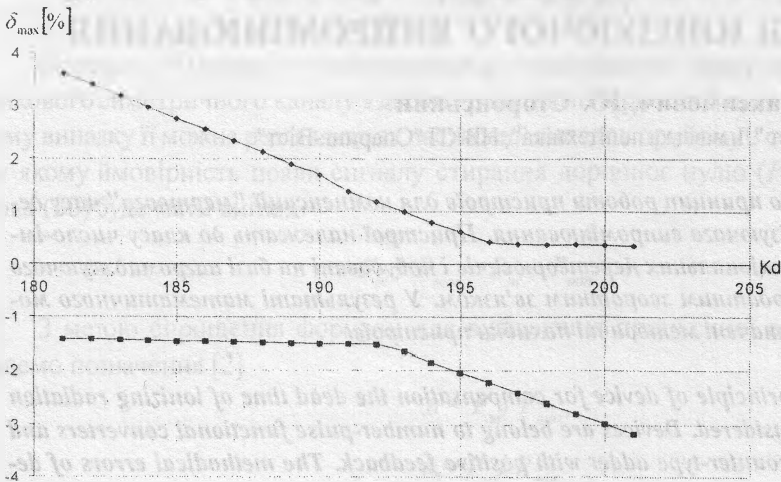


Рис.1. Структурна схема пристрою "А"

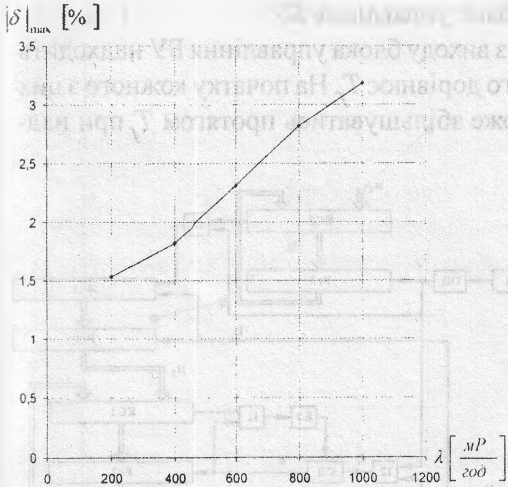


$$\lambda = 1 - 200 \frac{\text{МР}}{\text{год}}; \gamma = 0,02 \frac{\text{Гц}}{\text{МКР/год}}; \tau_m = 100 \text{ мкс}; m = 8; N_0 = 205;$$

$$K_f = 0,1 \frac{\text{МКР/год}}{\text{МН}}; T_B = 100 \text{ с}; T_f = 1 \text{ с};$$

Рис.2а

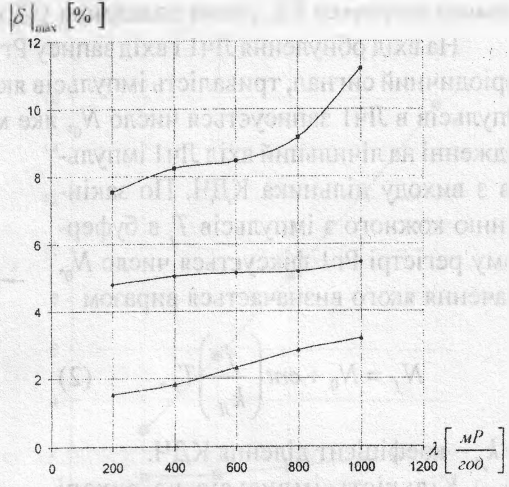
В даній роботі розглянуто принцип роботи двох пристроїв для вимірювання інтенсивності дози на основі ЧІФП і досліджені їхні методичні похибки. Інші складові загальної похибки вимірювання, зокрема похибки квантування, похибка від нестабільності задаючого генератора і похибка від нерівномірності потоку іонізуючих части-



$$\gamma = 0,02 \frac{\Gamma_{\text{ц}}}{\text{МКР}/\text{год}}; \tau_{\text{м}} = 100 \text{ мкс}; m = 8; N_0 = 205;$$

$$K_i = 0,1 \frac{\text{МКР}/\text{год}}{\text{имп}}; T_{\text{в}} = 100 \text{ с}; T_f = 1 \text{ с};$$

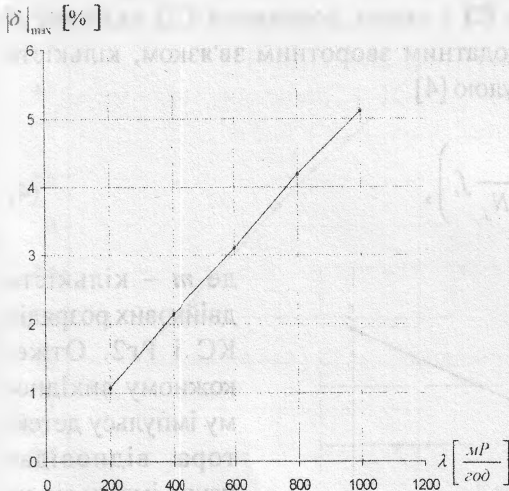
Рис.26



$$\gamma = 0,02 \frac{\Gamma_{\text{ц}}}{\text{МКР}/\text{год}}; \tau_{\text{м}} = 100 \text{ мкс}; N_0 = 205;$$

$$K_i = 0,1 \frac{\text{МКР}/\text{год}}{\text{имп}}; T_{\text{в}} = 100 \text{ с}; T_f = 1 \text{ с};$$

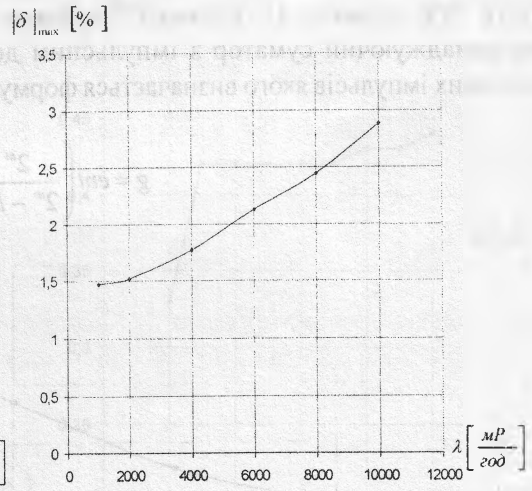
Рис.2в



$$\gamma = 0,05 \frac{\Gamma_{\text{ц}}}{\text{МКР}/\text{год}}; \tau_{\text{м}} = 100 \text{ мкс}; m = 8; N_0 = 129;$$

$$K_i = 0,1 \frac{\text{МКР}/\text{год}}{\text{имп}}; T_{\text{в}} = 100 \text{ с}; T_f = 1 \text{ с};$$

Рис.2г



$$\gamma = 0,02 \frac{\Gamma_{\text{ц}}}{\text{МКР}/\text{год}}; \tau_{\text{м}} = 10 \text{ мкс}; m = 8; N_0 = 205;$$

$$K_i = 0,1 \frac{\text{МКР}/\text{год}}{\text{имп}}; T_{\text{в}} = 100 \text{ с}; T_f = 1 \text{ с};$$

Рис.2д

нок не розглядалися, оскільки методика їх визначення є загальновідомою.

Структурна схема пристрою "А" наведена на рис. 1. До його складу входять детектор Д, одновібратор ОВ, керований дільник частоти КДЧ, лічильники Лч1 і Лч2, регістри Рг1 і Рг2, комбінаційний суматор КС, елементи логічного множення П1 і П2,

елемент затримки ЕЗ, схема додавання СД і блок управління БУ.

На вхід обнулення Лч1 і вхід запису Рг1 з виходу блока управління БУ надходить періодичний сигнал, тривалість імпульсів якого дорівнює T_f . На початку кожного з цих імпульсів в Лч1 записується число N_0 , яке може збільшуватись протягом T_f при надходженні на лічильний вхід Лч1 імпульсів з виходу дільника КДЧ. По закінченню кожного з імпульсів T_f в буферному регістрі Рг1 фіксується число N_0 , значення якого визначається виразом

$$N_f = N_0 + \text{ent} \left(\frac{f}{k_{\text{д}}} \right) T_f, \quad (2)$$

де $k_{\text{д}}$ – коефіцієнт ділення КДЧ.

Кількість імпульсів на виході елемента І2 дорівнює

$$f_i = \text{ent} (f T_B), \quad (3)$$

де T_B – час вимірювання, що формується блоком управління БУ.

Комбінаційний суматор КС, регістр Рг2, елемент І1, елемент затримки ЕЗ і схема додавання СД складають нагромаджуючий суматор з імпульсним додатним зворотним зв'язком, кількість вихідних імпульсів якого визначається формулою [4]

$$g = \text{ent} \left(\frac{2^m}{2^m - N_f} f_i \right), \quad (4)$$

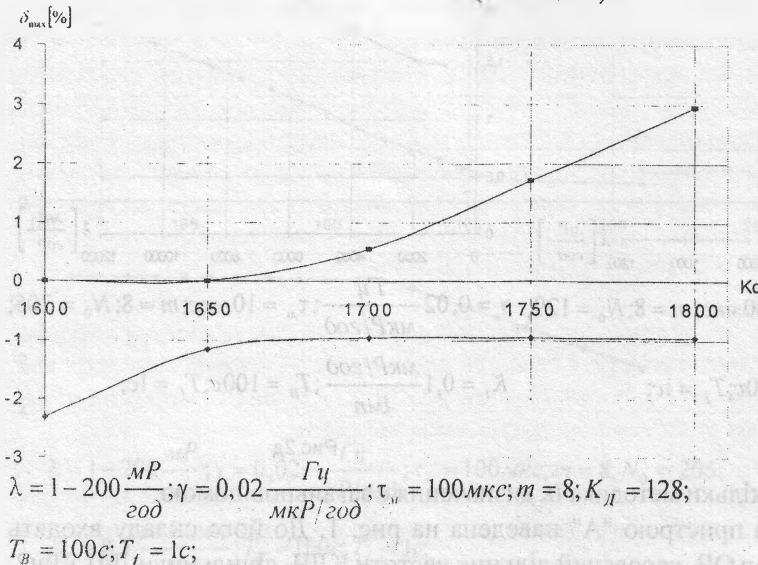


Рис.4а

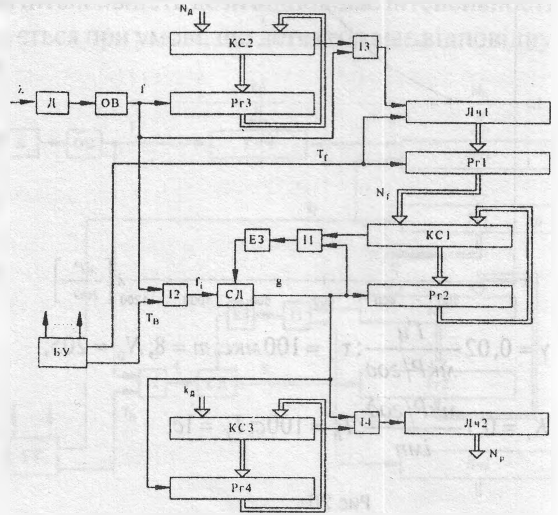
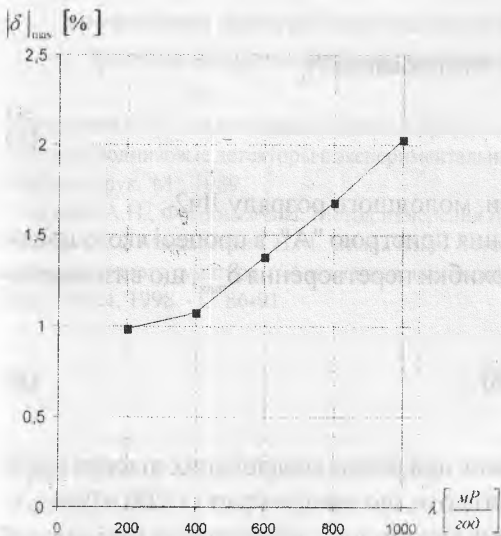


Рис.3. Структурна схема пристрою "В"

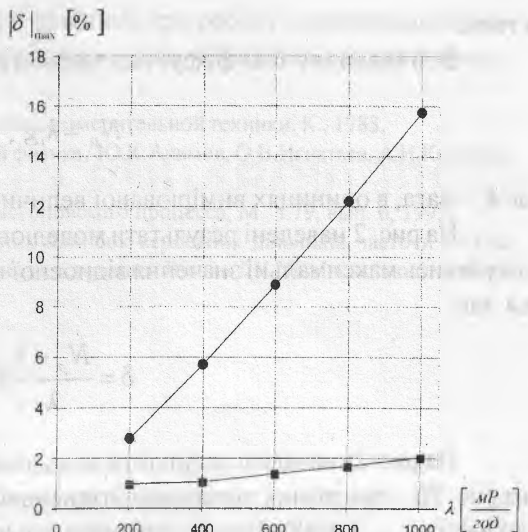
де m – кількість двійкових розрядів КС і Рг2. Отже, кожному вихідному імпульсу детектора відповідає пачка імпульсів на виході СД, кількість імпульсів в якій визначається значенням N_f , що дозволяє компенсувати "пропадання" імпульсів в блоці детектування, зумовлене "мерт-



$$\gamma = 0,02 \frac{\Gamma_{\text{ц}}}{\text{МКР}/\text{год}}; \tau_{\text{м}} = 100 \text{ мкс}; m = 8;$$

$$K_{\text{д}} = 128; T_{\text{в}} = 100 \text{ с}; T_{\text{f}} = 1 \text{ с};$$

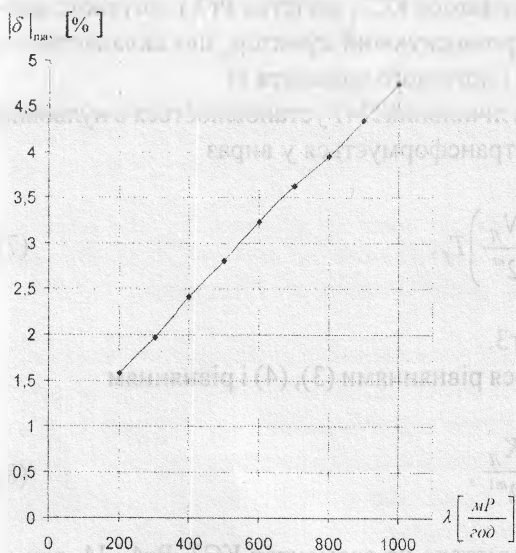
Рис.4б



$$\gamma = 0,02 \frac{\Gamma_{\text{ц}}}{\text{МКР}/\text{год}}; \tau_{\text{м}} = 100 \text{ мкс}; m = 8;$$

$$K_{\text{д}} = 128; T_{\text{в}} = 100 \text{ с}; T_{\text{f}} = 1 \text{ с};$$

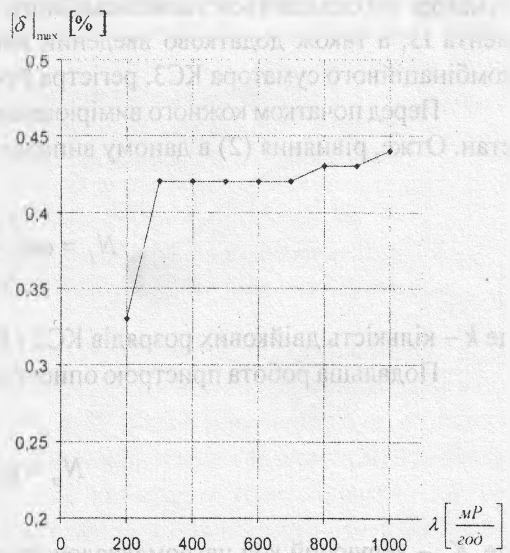
Рис.4в



$$\gamma = 0,05 \frac{\Gamma_{\text{ц}}}{\text{МКР}/\text{год}}; \tau_{\text{м}} = 100 \text{ мкс}; m = 8;$$

$$K_{\text{д}} = 128; T_{\text{в}} = 100 \text{ с}; T_{\text{f}} = 1 \text{ с};$$

Рис.4г



$$\gamma = 0,02 \frac{\Gamma_{\text{ц}}}{\text{МКР}/\text{год}}; \tau_{\text{м}} = 10 \text{ мкс}; m = 8;$$

$$K_{\text{д}} = 128; T_{\text{в}} = 100 \text{ с}; T_{\text{f}} = 1 \text{ с};$$

Рис.4д

вим" часом. Одновібратор ОВ формує короткі імпульси, що відповідають початку імпульсів на виході детектора. За рахунок цього імпульсна пачка на виході СД формується "в тілі" вихідного імпульсу детектора і, отже, "мертвий" час детектора не збільшу-

ється.

В лічильнику Лч2 фіксується результат вимірювання N_p

$$N_p = k, g, \quad (5)$$

де k – вага, в одиницях вимірюваної величини, молодшого розряду Лч2

На рис. 2 наведені результати моделювання пристрою "А", в процесі якого досліджувались максимальні значення відносної похибки перетворення δ_{\max} , що визначається так

$$\delta = \frac{N_p - \lambda}{\lambda} 100. \quad (6)$$

На рис. 2а наведені результати моделювання при різних коефіцієнтах ділення КДЧ; на рис. 2б – при різних діапазонах інтенсивності дози, що вимірюється (1-200 мР/год, 1-400 мР/год, ..., 1-1000 мР/год) і при оптимальному з точки зору забезпечення мінімальної похибки k_d ; на рис. 2в при різних кількостях розрядів m і при оптимальних k_d і N_0 ; на рис. 2г – при зміні чутливості детектора γ ; на рис. 2д – при зміні "мертвого" часу детектора τ_d .

Структурна схема пристрою "Б" наведена на рис. 3. До його складу, порівняно з пристроєм "А" замість керованого дільника частоти КДЧ введений нагромаджуючий суматор, що складається з комбінаційного суматора КС2, регістра Рг3 і логічного елемента І3, а також додатково введений нагромаджуючий суматор, що складається з комбінаційного суматора КС3, регістра Рг4 і логічного елемента І4.

Перед початком кожного вимірювання лічильник Лч1 устанавлюється в нульовий стан. Отже, рівняння (2) в даному випадку трансформується у вираз

$$N_f = \text{ent} \left(\frac{N_d}{2^m} \right) T_f, \quad (7)$$

де k – кількість двійкових розрядів КС2 і Рг3.

Подальша робота пристрою описується рівняннями (3), (4) і рівнянням

$$N_p = g \frac{K_d}{2^{m_1}}, \quad (8)$$

де K_d – керуючий код нагромаджуючого суматора на елементах КС3, Рг4 і І4, а m_1 – кількість двійкових розрядів КС3 і Рг4.

На рис. 4 наведені результати моделювання пристрою "Б", в процесі якого досліджувались максимальні значення відносної похибки перетворення δ_{\max} , що визначається за формулою (6).

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

- відносні методичні похибки розроблених пристроїв не перевищують декількох відсотків, що дозволяє використовувати їх в дозиметричних приладах різного призначення;

- розроблені пристрої можуть використовуватись при роботі з детекторами іонізуючого випромінювання, що мають різні значення чутливості і мертвого часу.

1. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. К., 1983.
2. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике / Ю.К.Акимов, О.В.Игнатъев, А.И.Калинин, В.Ф.Кушнirik. М., 1989.
3. Галушка А.Н., Фоминых В.И. Метод измерения пуассоновского процесса, М., т.79, вып. 6, 1995.
4. Вітер О.С., Максимович В.М. Визначення поточних похибок керування дільників частоти на базі нагромаджуючого суматора. // Автоматика. вимірювання та керування. Вісник ДУ "Львівська політехніка". - Львів: N324, 1998. - С. 86-91.