

Багатоканальна комп'ютерна система імпедансної плетизмографії // Вісник НУ "Львівська політехніка". – 2002. – №463. – С.28–32. 3. *Medical electrical equipment. Part 3: Particular requirements for the performance of signal and multichannel electrocardiographs. IEC 60601-3-. Ed.1.* 4. ГОСТ 19687-89. Приборы для измерения биоэлектрических потенциалов сердца. Общие технические требования и методы испытаний. 5. Вайсман М.В., Прилуцкий Д.А., Селищев С.В. Программируемый имитатор электрокардиосигналов // Мед. техника. – 2000. – №2. – С.34–37. 6. Импедансная реоплетизмография / М.И. Гуревич, А.И. Соловьев, Л.П. Литовченко, Л.Б. Долман. – К, 1982. 7. Осадчий Е.П., Иосифов В.П., Алексеев К.А. Моделирование реографических кривых для стендовой аппаратуры // Мед. техника. – 1997. – №2. – С.28–30. 8. Яцук В.О. Принципи побудови кодированих мір опору // Вимірювальна техніка та метрологія. – 1999. – №55. – С.35–43. 9. Яцук В.О. Імітатори активного опору // Вісник ДУ "Львівська політехніка". – 1999. – № 356. – С.83–88. 10. Достал И. Операционные усилители. – М., 1982. 11. Прецизионные преобразователи // Электронные компоненты и системы. – 2003. – №11. – С.23–25.

УДК 539.1.07

В.Б. Дудикевич¹, В.М. Максимович¹, Р.Т. Смур²

¹Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра автоматики і телемеханіки,

²НВПІ "Спаринг-Віст Центр"

ІМІТАЦІЙНІ МОДЕЛІ ДОЗИМЕТРИЧНОГО ДЕТЕКТОРА З МЕРТВИМ ЧАСОМ НЕПРОДОВЖУЮЧОГО ТИПУ

© Дудикевич В.Б., Максимович В.М., Смур Р.Т., 2005

Розглянуто дві імітаційні моделі відтворення вихідного сигналу дозиметричного детектора, одна з яких орієнтована на програмну, а друга на апаратну реалізацію. Досліджено їх статистичні характеристики.

Two simulation models of dosimeter detector output signal recreation are considered, first of which is oriented on software and second on hardware realization. Their statistic characteristics are investigated.

1. Постановка проблеми

Імітаційні моделі дозиметричних пристроїв загалом і дозиметричних детекторів зокрема можуть використовуватись на етапах їх проектування, пришвидшуючи вибір оптимальних структур приладів і алгоритмів обробки дозиметричної інформації для отримання заданих метрологічних характеристик. У статті розглядаються моделі детекторів з мертвим часом неперодовжуючого типу, до яких, зокрема, належать найпоширеніші тип дозиметричних детекторів – лічильники Гейгера.

Модель детектора доцільно розглядати разом з моделлю джерела іонізаційного випромінювання, повністю імітуючи вихідний сигнал детектора. Своєю чергою, джерело іонізаційного випромінювання може бути відтворене (змодельоване) за допомогою генератора пуассонівської імпульсної послідовності (ГПП), тобто генератора випадкової чи псевдовипадкової імпульсної послідовності з пуассонівським законом розподілу.

Моделі можуть створюватись як програмними, так і апаратними засобами; перші орієнтовані на використання при автоматизованому проектуванні дозиметрів, а другі можуть бути основою для створення спеціалізованих стендів для налагодження і дослідження цифрової частини приладів.

2. Аналіз відомих досліджень

Сьогодні існує достатньо велика кількість наукових праць, у яких розглянуто побудову генераторів випадкових і псевдовипадкових чисел, що є основою ГПП, серед яких необхідно

виділити роботи [1–4]. В роботах [2, 5] розглянуто принципи побудови ГПП і частково досліджені їх характеристики. Однак практично відсутні роботи, в яких ГПП розглядається разом із моделлю дозиметричного детектора, з урахуванням його чутливості, мертвого часу в широкому діапазоні потужностей експозиційної дози.

3. Мета роботи

Метою роботи є розроблення імітаційних моделей відтворення вихідного сигналу дозиметричного детектора з можливістю їх реалізації як програмними, так і апаратними засобами.

4. Імітаційні моделі детектора та їх дослідження

Імітаційна модель відтворення вихідного сигналу детектора з використанням стандартної функції мови Turbo Pascal `random` наведена на рис. 1. Модель призначена для реалізації програмними засобами і містить блок формування випадкових чисел БФВЧ, схеми порівняння СП1 і СП2, лічильник Лч, тригер Тг і логічні елементи І1, І2.

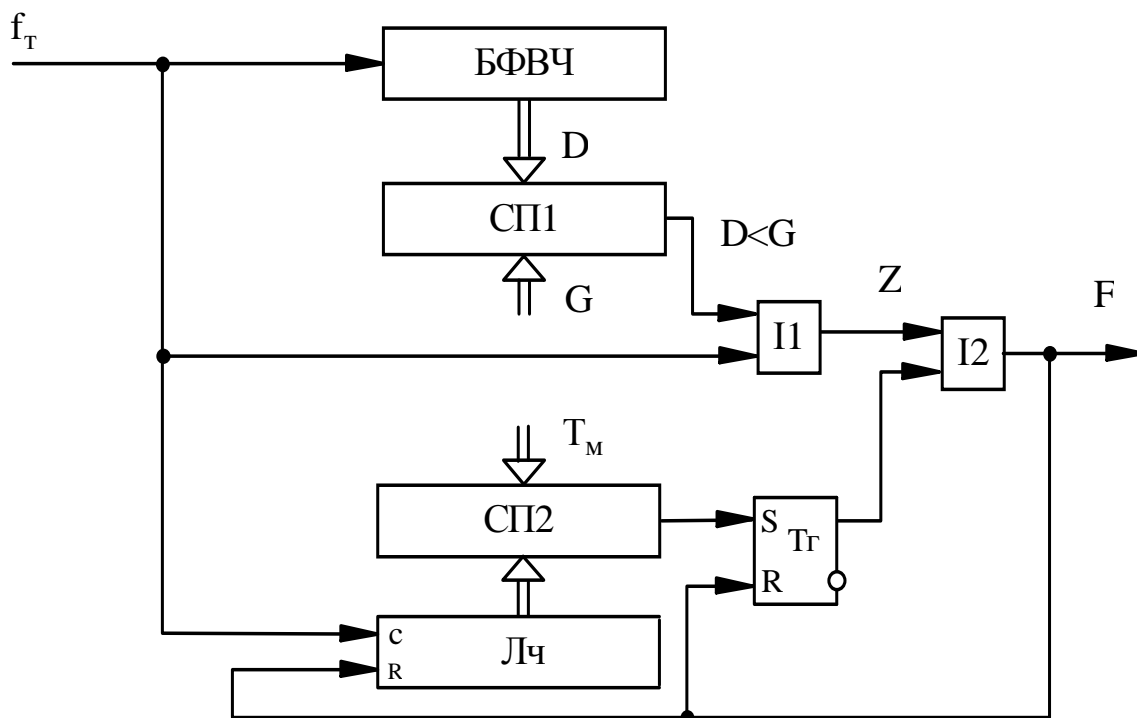


Рис. 1. Імітаційна модель відтворення вихідного сигналу детектора з використанням функції `random`

Частина моделі, що складається з блока БФВЧ, схеми порівняння СП1 і логічного елемента І1 утворює ГПП, вихід якого є виходом І1. З кожним вхідним імпульсом, частота повторення яких дорівнює f_T , на виході БФВЧ завдяки виконанню функції `random` формується чергове випадкове число D , значення якого лежать в межах $0 < D < 1$. Якщо $D < G$, де $0 < G < 1$, на виході СП1 формується сигнал, який дає змогу черговому вхідному імпульсу пройти на вихід генератора.

Середня частота повторення вихідних імпульсів ГПП визначається виразом:

$$Z = G \cdot f_T. \quad (1)$$

Значення Z може бути визначено також із значення потужності експозиційної дози (ПЕД) λ і чутливості детектора γ :

$$Z = \lambda \cdot \gamma. \quad (2)$$

Із рівнянь (1) і (2) знаходимо значення керуючого коду G:

$$G = \frac{\lambda \gamma}{f_T}. \quad (3)$$

Середня кількість імпульсів на виході ГППІ за час T_B дорівнює:

$$k_{1сеп} = T_B \cdot Z. \quad (4)$$

Середню частоту імпульсів на виході детектора з мертвим часом τ_M непродовжуючого типу визначають так [6]:

$$F = \frac{Z}{1 + Z \cdot \tau_M} = \frac{\lambda \cdot \gamma}{1 + \lambda \cdot \gamma \cdot \tau_M}. \quad (5)$$

Вплив мертвого часу на вихідний сигнал детектора імітується за допомогою частини моделі, до складу якої входять лічильник Лч, схема порівняння СП2, тригер Тг і логічний елемент І2. В початковий момент часу тригер Тг перебуває в одиничному стані, а логічний елемент І2 відкритий. Кожний імпульс, що проходить на вихід моделі переводить лічильник Лч і тригер Тг в нульовий стан. Елемент І2 закривається і наступний імпульс з виходу І1 зможе пройти через І2 тільки після того як лічильник Лч відрахує кількість тактових імпульсів T_M , що є пропорційною до значення τ_M , спрацює схема порівняння СП2 і тригер Тг знову перейде в одиничний стан. Імітація мертвого часу власне непродовжуючого типу реалізується за рахунок того, що при закритому елементі І2, вихідні імпульси елемента І1, тобто вихідні імпульси ГППІ, ніяк не впливають на частину моделі, що визначає тривалість мертвого часу.

Значення T_M визначається рівнянням:

$$T_M = \tau_M \cdot f_T. \quad (6)$$

Середня кількість імпульсів на виході імітаційної моделі за час T_B дорівнює:

$$k_{2сеп} = T_B \cdot F. \quad (7)$$

В таблиці наведено значення G, T_M , Z, F, $k_{1сеп}$ і $k_{2сеп}$ для різних значень λ , γ , і τ_M при $f_T = 1$ МГц і $T_B = 1$ с (стовпчик із значеннями керуючого коду N використовується для розгляду роботи наступної моделі, структура якої наведена на рис. 3).

Статичні характеристики імітаційних моделей при $f_T = 1$ МГц і $T_B = 1$ с

λ , мкР/год	γ , Гц мкР/год	τ_M , мкс	G	N	T_M	Z, Гц;	F, Гц;
						$k_{1сеп}$	$k_{2сеп}$
10^4	0,02	10	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4} \cdot C$	10	200	199,60
		100	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4} \cdot C$	100	200	196,07
	0,05	10	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4} \cdot C$	10	500	497,51
		100	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4} \cdot C$	100	500	476,19
10^5	0,02	10	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3} \cdot C$	10	2000	1960,78
		100	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3} \cdot C$	100	2000	1666,66
	0,05	10	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3} \cdot C$	10	5000	4761,90
		100	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3} \cdot C$	100	5000	3333,33
10^6	0,02	10	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2} \cdot C$	10	20000	16666,66
		100	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2} \cdot C$	100	20000	6666,66
	0,05	10	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2} \cdot C$	10	50000	33333,33
		100	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2} \cdot C$	100	50000	8333,33

В роботі були досліджені статистичні характеристики вихідного сигналу ГППІ (вихід логічного елемента І1) і вихідного сигналу моделі загалом (вихід логічного елемента І2), що відповідають вхідному і вихідному сигналам дозиметричного детектора.

Відомо, що для вихідного сигналу ГППІ кількість імпульсів пуассонівського імпульсного потоку k_1 , зафіксована за час T_B , з надійною імовірністю 0,95, повинна лежати у межах [6]:

$$k_{1сер} - 2\sqrt{k_{1сер}} < k_1 < k_{1сер} + 2\sqrt{k_{1сер}}, \quad (8)$$

де $k_{1сер}$ визначається (4).

Якщо $\tau_m \neq 0$, вихідний імпульсний потік моделі, так само, як і вихідний імпульсний потік дозиметричного детектора, не відповідає пуассонівському закону розподілу. Це пояснюється тим, що упродовж мертвого часу моделі чи детектора є неможливим формування вихідних імпульсів. Нами було зроблене і підтвержене, в результаті дослідження, припущення, що кількість вихідних імпульсів моделі k_2 , зафіксованих за час T_B , з надійною імовірністю 0,95 коливається в межах:

$$k_{2сер} - 2 \cdot \kappa_m \cdot \sqrt{k_{2сер}} < k_2 < k_{2сер} + 2 \cdot \kappa_m \cdot \sqrt{k_{2сер}}, \quad (9)$$

де $k_{2сер}$ визначається рівнянням (7), а κ_m рівнянням:

$$\kappa_m = \frac{1}{1 + \lambda \cdot \gamma \cdot \tau_m}. \quad (10)$$

В роботі були досліджені статистичні характеристики для різних можливих комбінацій значень λ , γ , τ_m і T_B . На рис. 2 наведено деякі з отриманих результатів, якщо $\lambda = 10^6$ мкР/год і $T_B = 1$ с. Тут використовують такі позначення: n – порядковий номер чергового інтервалу T_B ; середні пунктирні лінії відповідають значенням $k_{1сер}$ і $k_{2сер}$, а верхні і нижні – межах нерівностей (8) і (9).

Необхідно зауважити, що при побудові ГППІ з використанням функції `random` корисною є можливість використання процедури `randomize`, яка дає змогу отримувати кожний раз нові статистичні розподіли значень k_1 і k_2 .

Імітаційну модель відтворення вихідного сигналу детектора на базі накопичувального суматора наведено на рис. 3. Модель призначено для реалізації як апаратними, так і програмними засобами. У цій моделі ГППІ реалізовано на комбінаційних суматорах КС1 і КС2, регістрах Rг1 і Rг2, схемі множення СМ, схемі порівняння СП1 і логічному елементі П1. Частина моделі, що імітує вплив мертвого часу детектора на вихідну імпульсну послідовність, є ідентичною до відповідної частини моделі на рис. 1.

Робота ГППІ ґрунтується на реалізації лінійного конгруентного методу формування псевдовипадкових чисел з рівномірним законом розподілу згідно з рівнянням:

$$X_{n+1} = (A \cdot X_n + B) \bmod C, \quad (11)$$

де $C = 2^s$; A , B і s – цілі додатні числа.

Кожний вхідний імпульс генератора викликає формування на виході СМ серії з A імпульсів. Завдяки цьому на виході накопичувального суматора, побудованого на комбінаційному суматорі КС1 і регістрі Rг1, формується добуток $A \cdot X_n$. Число $A \cdot X_n + B$ формується на виходах КС2, а поточні значення X_n зберігаються в s молодших розрядах регістра Rг2. Поновлення чисел в Rг2 і обнулення вмісту Rг1 здійснюється вхідними імпульсами пристрою. Якщо $X_n < H$, на виході СП формується логічний рівень, який пропускає вхідний імпульс через логічний елемент П1 на вихід генератора. Число H вибирають залежно від значення ПЕД λ і чутливості детектора γ за таблицею.

Так, наприклад, для $\lambda = 10^6 \frac{\text{мкР}}{\text{год}}$ і $\gamma = 0,02 \frac{\text{Гц}}{\text{мкР/год}}$ – $H = 2 \cdot 10^{-2} \cdot C$.

Статичні характеристики ГППІ визначаються виразом

$$Z = \frac{H \cdot f_T}{C}, \quad (12)$$

рівняннями (2), (4)–(7) і відповідають даним табл. 1 при $f_T = 1$ МГц і $T_B = 1$ с.

Статистичні характеристики генератора істотно залежать від значень A , B і C . Під час дослідження було встановлено, що задовільні характеристики досягаються, зокрема, для таких значень: $C = 2^{30}$, $A = 109$ і $B = 12345679$. На рис. 4 наведено окремі з отриманих результатів при $\lambda = 10^6$ мкР/год і $T_B = 1$ с.

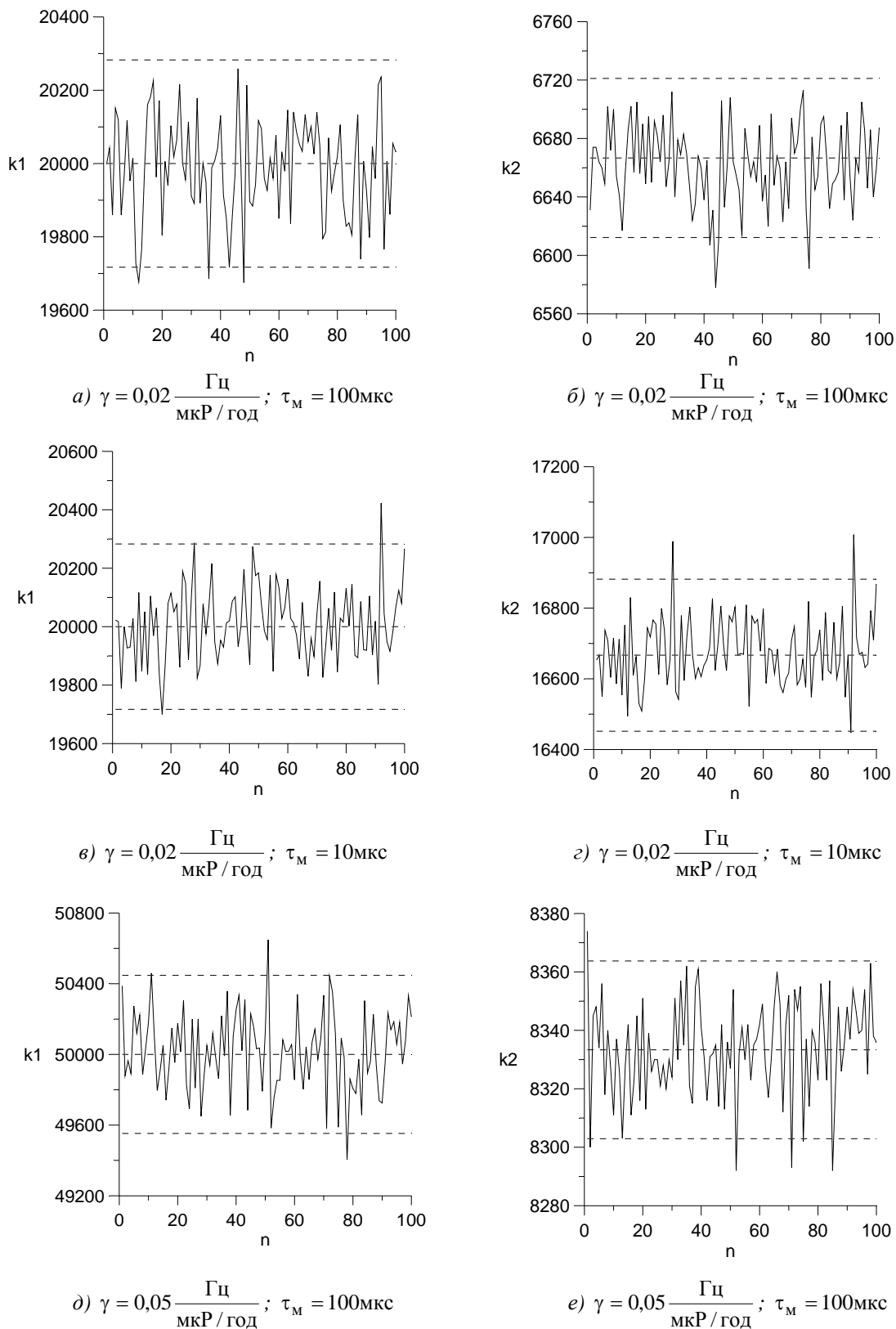


Рис. 2. Статистичні характеристики імітаційної моделі відтворення вихідного сигналу детектора з використанням функції *random*

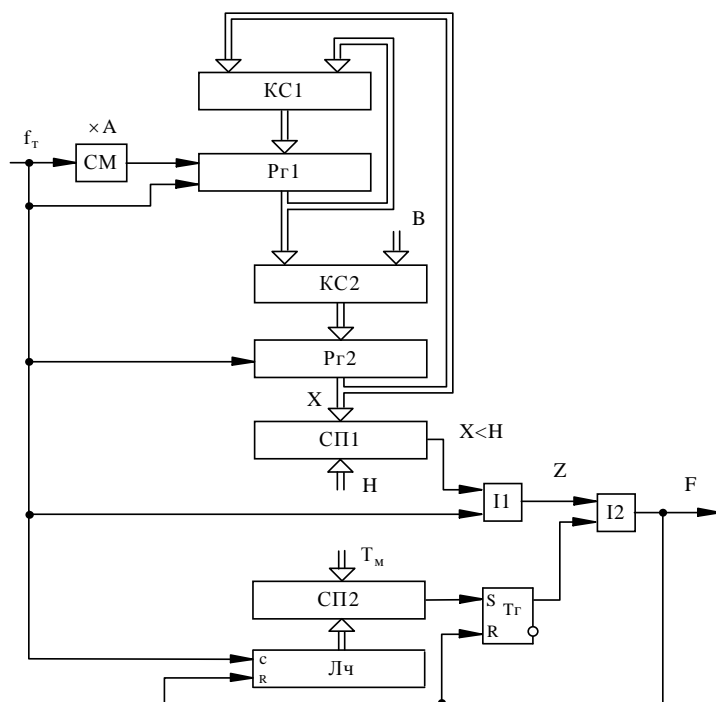
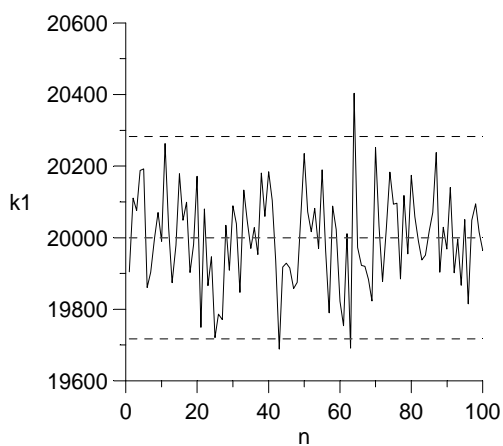
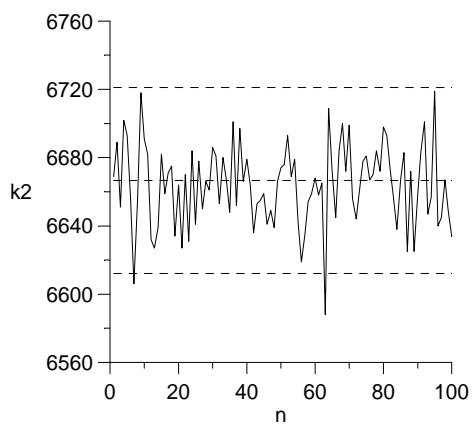


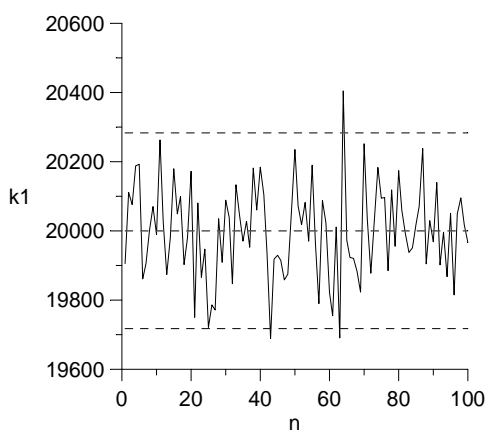
Рис.3. Імітаційна модель відтворення вихідного сигналу детектора на базі накопичувального суматора



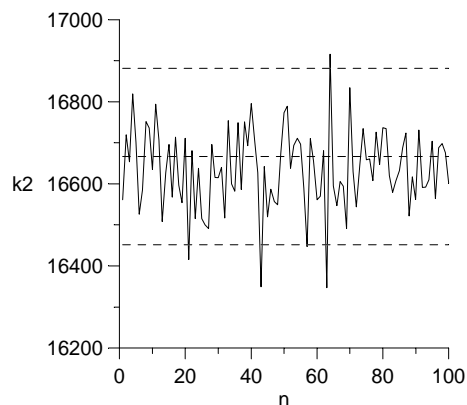
а) $\gamma = 0,02 \frac{\Gamma_{\text{Ц}}}{\text{МКР}/\text{ГОД}}$; $\tau_{\text{М}} = 100\text{мкс}$



б) $\gamma = 0,02 \frac{\Gamma_{\text{Ц}}}{\text{МКР}/\text{ГОД}}$; $\tau_{\text{М}} = 100\text{мкс}$



в) $\gamma = 0,02 \frac{\Gamma_{\text{Ц}}}{\text{МКР}/\text{ГОД}}$; $\tau_{\text{М}} = 10\text{мкс}$



г) $\gamma = 0,02 \frac{\Gamma_{\text{Ц}}}{\text{МКР}/\text{ГОД}}$; $\tau_{\text{М}} = 10\text{мкс}$

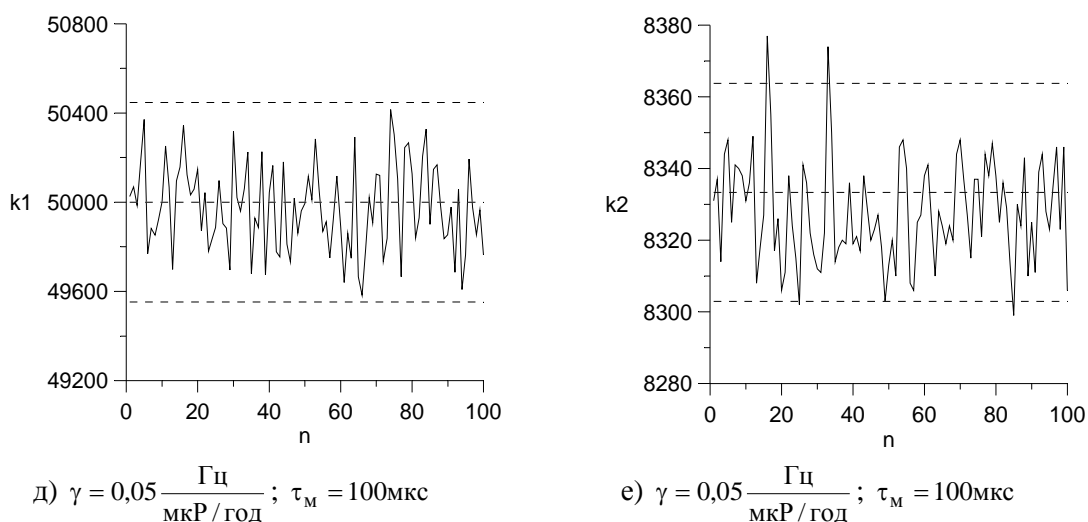


Рис. 4. Статистичні характеристики імітаційної моделі відтворення вихідного сигналу детектора на базі накопичувального суматора

5. Висновки

Запропоновані моделі відтворення вихідного сигналу дозиметричного детектора є достатньо гнучкими, оскільки дають змогу враховувати його чутливість і мертвий час в широкому діапазоні потужностей експозиційної дози. Їх статистичні характеристики відповідають устанавленим критеріям.

1. Гундарь К.Ю., Гундарь А.Ю., Янишевский Д.А., *Защита информации в компьютерных системах* – К., 2000. 2. Кнут Д. *Искусство программирования для ЭВМ: В 3-х т. Получисленные алгоритмы.* – М., 1977. – Т.2. 3. Романец Ю.В., Тимофеев П.А., Шаньгин В.Ф. *Защита информации в компьютерных системах и сетях / Под ред. В.Ф. Шаньгина.* – 2-е изд., перераб. и доп. – М., 2001. 4. Иванов М.А., Чугунков И.В. *Теория, применение и оценка качества генераторов псевдослучайных последовательностей.* – М., 2003. 5. Гарасимчук О.І., Максимович В.М. *Алгоритм формування пуассонівського імпульсного потоку // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". №475, 2003. – С. 21–25.* 6. Орнатский П.П. *Теоретические основы информационно-измерительной техники.* – К., 1983.