

УДК 519.87:316.458.6

Ю.І. Кушнерук, С.А. Назаренко, А.Д. Полянська

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ОЦІНКА ПОХИБКИ НАРОСТАННЯ ТА СПАДУ ІМПУЛЬСІВ

В статті розглядається фізичну сутність оцінки похибки наростання та спаду імпульсів за допомогою кінцевих значень часу обслугою виїзної метрологічної ремонтно-відновлювальної групи в зоні проведення антитерористичної операції.

Ключові слова: метрологічне забезпечення, похибка, бінарний частотно-імпульсний сигнал.

Вступ

Постановка задачі. При практичному застосуванні методів синтезу полігармонічних вимірювальних сигналів з нормованим спектром типу парний та непарний мультисинус, а також бінарних частотно-імпульсних сигналів виїзної метрологічної ремонтно-відновлювальної групою в зоні проведення антитерористичної операції при оцінці інструментальних та методичних складових похибки відтворення нормованого спектра калібратором бінарних частотно-імпульсних сигналів виникає необхідність визначити похибки за допомогою кінцевих значень часу наростання та спаду імпульсів. Причому обслугою виїзної метрологічної ремонтно-відновлювальної групи повинна розуміти фізичну сутність визначення похибки за допомогою кінцевих значень часу наростання та спаду імпульсів, чому й присвячена наступна стаття.

Аналіз літератури. Принципи й організаційні основи метрологічного забезпечення, а також роль й місце метрологічного забезпечення Збройних Сил України, з урахуванням досвіду проведення антитерористичної операції, викладено в статті [1] та в наказах [4–6]. Математичні моделі визначення кількості замовлень на гарантоване метрологічне обслуговування зразків озброєння та військової техніки з урахуванням їх важливості викладено в статті [2].

Критерії синтезу та класифікація вимірювальних сигналів з нормованим спектром надано в статті [3]. Методичний апарат обґрунтування та коригування програм та планів розвитку Збройних Сил України викладено в статті [7]. Аналіз радіолокаційних систем виявлення малорозмірних повітряних об'єктів викладено в статті [8]. Нажаль в розглянутих статтях та нормативних документах [1–8] питання, пов'язані з визначенням фізичної сутності визначення похибки за допомогою кінцевих значень часу наростання та спаду імпульсів обслугою виїзної метрологічної ремонтно-відновлювальної групи в зоні проведення антитерористичної операції не розглядалися.

Метою статті є визначення фізичної сутності визначення похибки за допомогою кінцевих значень часу наростання та спаду імпульсів обслугою виїзної метрологічної ремонтно-відновлювальної групи в зоні проведення антитерористичної операції.

Виклад основного матеріалу

Запропонуємо схему реалізації калібратора бінарних частотно-імпульсних сигналів максимально допустима частота гармоніки сигналів з нормованим спектром при значенні складової похибки її відтворення $\delta_1 \approx 1\%$ складатиме приблизно 400 кГц (рис. 1.)

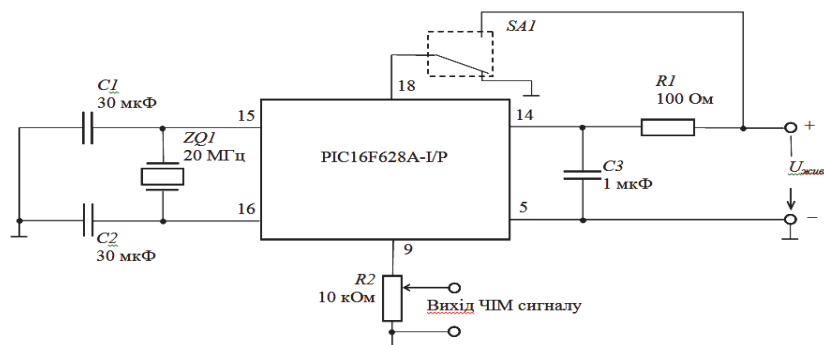


Рис. 1. Калібратор частотно-імпульсного сигналу на базі мікроконтролера PIC16F628A-IP

Складова сумарної похибки калібратора бінарних сигналів з нормованим спектром обумовлена

тим, що перехід імпульсу з низького у високий рівень і навпаки здійснюється не миттєво, а за певні

інтервали часу: відповідно наростання та спаду імпульсу. Причому, найбільше значення цієї похибки має місце в тому випадку, коли фронт та зріз імпульсів змінюються за лінійним законом. Графічне уявлення корисного (ідеального) сигналу прямокут-

ної форми та реального сигналів з нормованим спектром з лінійними фронтами (зрізами) імпульсів подано на рис. 2, а.

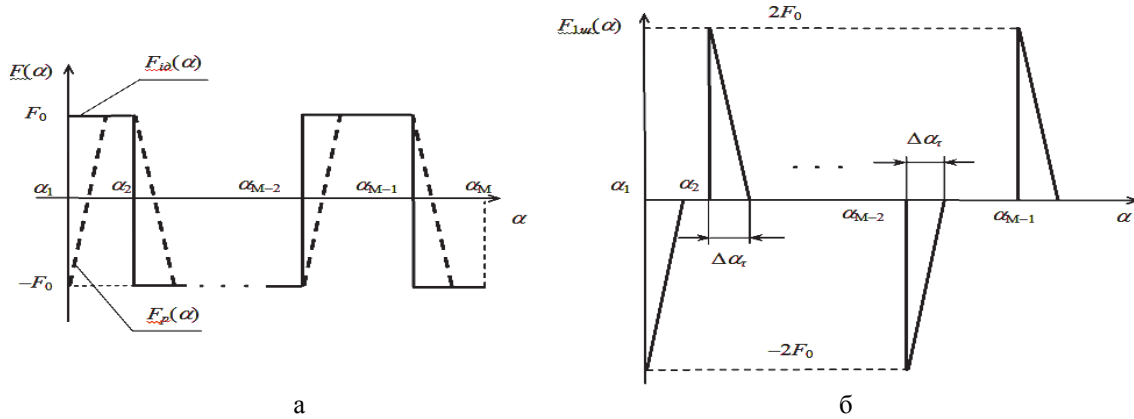


Рис. 2. Реальний бінарний сигнал, що має кінцеве значення часу наростання та спаду – а; сигнал завади, що спотворює фронт (зріз) корисного сигналу – б

Тут і надалі аналізу будемо піддавати частотно-імпульсний сигнал з непарною кількістю точок переключення, що не є принциповим, до того ж, будемо вважати, що час наростання τ_n дорівнює часу спаду τ_c імпульсу, тобто $\tau_n = \tau_c$.

З урахуванням виразу

$$F_{ш}(\alpha) = F_p(\alpha) - F_{id}(\alpha)$$

та позначивши дану складову шуму як $F_{ш}(\alpha)$, запишемо аналітичне співвідношення для i -го імпульсу завади, обумовленої кінцевим часом наростання (спаду) імпульсів частотно-імпульсного сигналу:

$$F_{ш,i}(\alpha) = \begin{cases} 2F_0(-1)^{i+1} \left[\frac{1}{\Delta\alpha_\tau}(\alpha - \alpha_i) - 1 \right], & \alpha_i \leq \alpha < \alpha_i + \Delta\alpha_\tau; \\ 0, & \alpha_i > \alpha \geq \alpha_i + \Delta\alpha_\tau, \end{cases} \quad (1)$$

де $i \in \overline{1, M-1}$, M – кількість термперетворювача бінарного сигналу з нормованим спектром на інтервалі одного періоду;

$\Delta\alpha_\tau$ – змінна, яка залежить від значень часу наростання (спаду) імпульсів, а також від періоду T (основної частоти f_0) сигналу:

$$\Delta\alpha_\tau = 2\pi\tau/T = 2\pi f_0\tau, \quad (2)$$

де τ – інтервал часу, що відповідає фазовому інтервалу $\Delta\alpha_\tau$.

Отже, сигнал завади уявляє собою періодичну послідовність трикутних імпульсів з періодом, що дорівнює періоду корисного сигналів з нормованим спектром (рис. 2,б). Тому похибка, обумовлена

впливом завади $F_{ш}(\alpha)$, матиме виключно систематичний характер.

Провівши перетворення Фур'є сигналу (1) отримуємо його амплітудний спектр:

$$C_n^{ш} = \left| \frac{e^{-jn\Delta\alpha_\tau} - 1}{n\Delta\alpha_\tau} - \frac{1}{n\Delta\alpha_\tau} + j \right| \cdot \left| \frac{2F_0}{\pi n} \sum_{i=1}^{M-1} (-1)^{i+1} e^{-jn\alpha_i} \right|, \quad (3)$$

при $n \neq 0$.

У даному виразі другий множник правої частини є амплітудним спектром ідеального частотно-імпульсного сигналу.

Тому після підстановки виразу (3) у формулу відносної похибки відтворення нормованого спектра

$$\delta_{n \max} \leq \max \left\{ \frac{C_n^{ш}}{C_n} \right\} \cdot 100 \% . \quad (4)$$

Для відносної складової похибки відтворення нормованого спектра, обумовленої кінцевим часом наростання та спаду імпульсів, отримуємо:

$$\delta_1 \leq \max \left\{ \left| \frac{e^{-jn\Delta\alpha_\tau} - 1}{n\Delta\alpha_\tau} - \frac{1}{n\Delta\alpha_\tau} + j \right| \right\} \cdot 100 \% . \quad (5)$$

Зробивши відповідні перетворення, модуль комплексної величини даного співвідношення представимо як

$$\begin{aligned} & \left| \frac{e^{-jn\Delta\alpha_\tau} - 1}{n\Delta\alpha_\tau} - \frac{1}{n\Delta\alpha_\tau} + j \right| = \\ & = \sqrt{\frac{2}{(n\Delta\alpha_\tau)^2} [1 - \cos(n\Delta\alpha_\tau)] - 2 \frac{\sin(n\Delta\alpha_\tau)}{n\Delta\alpha_\tau} + 1} . \end{aligned} \quad (6)$$

Тригонометричні функції, що входять до останнього виразу розкладемо в ряд Тейлора з точністю до двох членів відповідно та

$$\cos(n\Delta\alpha_\tau) = 1 - (n\Delta\alpha_\tau)^2 / 2 ; \quad (7)$$

$$\sin(n\Delta\alpha_\tau) = n\Delta\alpha_\tau - (n\Delta\alpha_\tau)^3 / 6 ,$$

в результаті чого формула (5) з урахуванням співвідношення (2) прийме вигляд

$$\delta_1 \leq \frac{2\pi}{\sqrt{3}} f_0 N \tau \cdot 100 \% , \quad (8)$$

де N – номер найвищої гармоніки, що входить до корисного діапазону частот.

Отже, значення складової похибки відтворення нормованого спектра, обумовленої кінцевим часом наростання та спаду імпульсів частотно-імпульсного сигналу, не залежить від кількості та значень фазових координат термоперетворювача, а визначається виключно максимальною корисною частотою гармоніки $f_0 N$ та значенням часу наростання (спаду) імпульсів. Тобто за формулою (8) максимальну похибку відтворення буде мати та гармоніка, яка є найвищою в спектрі бінарного сигналу. Проведемо числове моделювання за формулою (8). З цією метою отримаємо значення величини τ з урахуванням особливостей схеми на рис. 1. Згідно даних фірмового керівництва на обраний МК PIC16F628A-I/P типовий час наростання та спаду дорівнює $\tau_n = \tau_c = 10$ нс за умови, що напруга живлення складає $V_{DD} = 5$ В. Низький рівень відповідає напрузі 0,6 В, а високий рівень сигналу має значення $(V_{DD} - 0,7)$ В. Так, для частотно-імпульсного сигналу з розмахом 2 В отримуємо $\tau = [2 / (0,8 \cdot 3,7)] \tau_n = 6,8$ нс. Враховуючи дане співвідношення, формулу (8) запишемо в наступному вигляді:

$$\delta_1 \leq 2,45 f_0 N \tau_n \cdot 100 \% . \quad (9)$$

Отже, складова інструментальної похибки калібратора бінарного сигналу з нормованим спектром, обумовленої кінцевим часом наростання (спаду) імпульсів, лінійно залежить від максимальної частоти $f_0 N$ корисної гармоніки в спектрі сигналу та від типового часу наростання (спаду) τ_n . Наочне підтвердження даного факту можна отримати, якщо значення похибки розрахувати за виразом відносної похибки відтворення нормованого спектра

$$\delta_n \leq \frac{C_n^m}{C_n} \cdot 100 \% \quad (10)$$

для частотно-імпульсного сигналу, тобто коли всі корисні гармонічні складові мають однакові амплітуди (рис. 3).

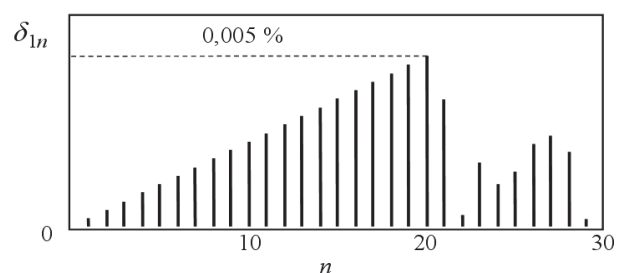


Рис. 3. Відносна похибка відтворення нормованого рівномірного спектра ($f_0 = 100$ Гц)

Наприклад, для сигналу з нормованим спектром з періодом 0,01 с, який синтезується з використанням МК PIC16F628A-I/P, відносна похибка відтворення 20-ї корисної гармонічної складової складатиме 0,005 %.

Користуючись нерівністю (9), можна також отримати максимальну частоту гармоніки в спектрі бінарного сигналу, похибка відтворення якої не перевищить заданого значення для конкретної апаратурної реалізації калібратора (табл. 1).

Таблиця 1

Гранична частота гармоніки частотно-імпульсного сигналу в кГц, яка задовольняє заданим значенням відносної похибки δ_1 та часу наростання (спаду) імпульсів τ_n

τ_n , нс	δ_1 , %						
	0,001	0,005	0,01	0,05	0,1	0,5	1
10	0,408	2,041	4,082	20,408	40,816	204,082	408,163
8	0,510	2,551	5,102	25,510	51,020	255,102	510,204
6	0,680	3,401	6,803	34,014	68,027	340,136	680,272
4	1,020	5,102	10,204	51,020	102,041	510,204	1020,408
2	2,041	10,204	20,408	102,041	204,082	1020,408	2040,816
1	4,082	20,408	40,816	204,082	408,163	2040,816	4081,633
0,5	8,163	40,816	81,633	408,163	816,327	4081,633	8163,265
0,1	40,816	204,082	408,163	2040,816	4081,633	20408,163	40816,327
0,05	81,633	408,163	816,327	4081,633	8163,265	40816,327	81632,653
0,01	408,163	2040,816	4081,633	20408,163	40816,327	204081,633	408163,265

З табл. 1 видно, що для запропонованої на рис. 1 схемної реалізації калібратора бінарних сигналів максимально допустима частота гармоніки сигналів з нормованим спектром при значенні складової похибки її відтворення $\delta_1 \approx 1\%$ складатиме приблизно 400 кГц. Для практичних застосувань, де потрібні більш високі частоти, необхідна інша апаратура, зокрема інший тип модульованих коливань, величина τ_n якого задовольнятиме встановленим вимогам (9).

Висновки

1. В статті визначено фізичну сутність оцінки похибки за допомогою кінцевих значень часу наростання та спаду імпульсів обслугою виїзної метрологічної ремонтно-відновлювальної групи в зоні проведення антитерористичної операції.

2. Користуючись нерівністю (9), можна отримати максимальну частоту гармоніки в спектрі бінарного сигналу, похибка відтворення якої не перевищить заданого значення для конкретної апаратурної реалізації калібратора.

3. Визначено, що для запропонованої на рис. 1 схемної реалізації калібратора бінарних сигналів максимально допустима частота гармоніки СНС при значенні складової похибки її відтворення $\delta_1 \approx 1\%$ складатиме приблизно 400 кГц.

Список літератури

1. Кононов В.Б. Метрологічне забезпечення у сфері оборони в умовах проведення антитерористичної операції / В.Б. Кононов, С.А. Копашинський, О.В. Коваль // Зб. наук. пр. Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2017. – № 4 (53). – С. 144-147.

2. Кононов В.Б. Математичні моделі визначення кількості замовлень на гарантоване метрологічне обслуговування зразків озброєння та військової техніки з урахуванням їх важливості / В.Б. Кононов, В.В. Бурцева // Системи обробки інформації. – Х.: ХНУПС, 2017. – №1 (147). – С. 88-92.

3. Крихтін Ю.О. Критерії синтезу та класифікація вимірювальних сигналів з нормованим спектром / Ю.О. Крихтін // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 2 (14). – С. 146-149.

4. Наказ заступника Міністра оборони з озброєння – начальника Озброєння Збройних Сил України від 01.06.2001р. №79 «Про затвердження Керівництва з організації та порядку експлуатації вимірювальної техніки у Збройних Силах України».

5. Наказ Міністра оборони України від 15.12.2006 № 731 «Про затвердження нормативних документів з метрології та метрологічної діяльності».

6. Наказ начальника Центрального управління метрології і стандартизації «Про затвердження Керівництва з організації виробничої діяльності військових метрологічних лабораторій в Міністерстві оборони України та Збройних Силах України» від 14.05.2007 р. № 2.

7. Методичний апарат обґрунтування та коригування програм та планів розвитку Збройних Сил України / О.М. Семененко, Ю.Б. Добровольський, Р.В. Бойко, Л.М. Семененко, М.В. Науменко // Наука і техніка Повітряних сил Збройних Сил України. ХНУПС – 2016. – № 4(25). – С. 11-18.

8. Аналіз радіолокаційних систем виявлення малорозмірних повітряних об'єктів / В.А. Чепурний, В.Й. Альберт, О.В. Сердюк, Г.В. Худов // Системи обробки інформації. – Х.: ХНУПС, 2016. – № 1 (138). – С. 53-57.

Надійшла до редколегії 7.08.2017

Рецензент: д-р техн. наук проф. В.Б. Кононов, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ НАРАСТАНИЯ И СПАДА ИМПУЛЬСОВ

Ю.И. Кушнерук, С.А. Назаренко, А.Д. Полянская

В статье рассматривается физическая сущность оценки погрешности нарастания и спада импульсов при помощи конечных значений времени расчётом выездной метрологической ремонтно-восстановительной группы в зоне проведения антитеррористичной операции.

Ключевые слова: метрологическое обеспечение погрешность, бинарный частотно-импульсный сигнал.

ERROR ESTIMATION OF RISE FALL OF PULSES

Y. Kushneruk, S. Nazarenko, A. Polianska

In article it is considered the physical nature of the error estimation of rise and fall of pulses with the help of finite time values calculating by visiting metrological repair-reduction group in the zone of the antiterroristic operation.

Keywords: metrological support error, binary pulse frequency signal.