

УДК 623.004.67

О.В. Водолажко

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

АНАЛІЗ БІНАРНИХ ЧАСОІМПУЛЬСНО-МОДУЛЬОВАНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ З НОРМОВАНИМ СПЕКТРОМ

В статті на основі аналізу бінарних часоімпульсно-модульованих сигналів визначено аналітичний вираз, що зв'язує спектр амплітуд бінарного часоімпульсно-модульованого сигналу з фазовими координатами його точок переключення, за допомогою якого можливо оптимізувати бінарні часоімпульсно-модульовані сигнали з нормованим спектром.

Ключові слова: нормований спектр, лінійні динамічні системи, бінарних часоімпульсно-модульований сигнал.

Вступ

Постановка задачі. Отримання оптимального вимірювального сигналу в чистому вигляді є неможливим. Для цього слід обрати змінні оптимізації, регулюванням значень яких можна було б знаходити оптимальний вимірювальний сигналів з нормованим спектром з бажаним спектром. Як такі змінні доцільно обрати точки переключення часоімпульсно-модульованого вимірювального сигналу, оскільки амплітуди гармонічних складових розраховуються через часові параметри сигналів з нормованим спектром, зокрема фазові координати точки переключення. Отже питання аналізу бінарних часоімпульсно-модульованих сигналів з нормованим спектром є важливою науково-технічною задачею, актуальність якої підтверджується необхідністю визначення аналітичного виразу, щодо їхньої оптимізації.

Аналіз літератури. У відомих джерелах [1 – 5] розглядаються питання оптимальності бінарних вимірювальних сигналів з нормованим спектром. В [1] викладається аналіз сучасного стану вимірювальної техніки аналізу сигналів в реальному часі.

В [2, 3] розглядаються питання метрологічного забезпечення аналізаторів спектру.

В [4] розглянуто питання оптимізації вимірювального сигналу стосовно експлуатаційного контролю систем передачі інформації й зв'язку.

В [5] обґрунтовано вибір критеріїв оптимальності бінарних вимірювальних сигналів з нормованим спектром з метою отримання високого показника відношення сигнал/шум.

Нажаль, в цих роботах не здійснюється аналіз бінарних часоімпульсно-модульованих сигналів з нормованим спектром для визначення аналітичного виразу, щодо оптимізації бінарних часоімпульсно-модульованих сигналів з нормованим спектром.

Метою статті є аналіз бінарних часоімпульсно-модульованих сигналів з нормованим спектром для визначення аналітичного виразу, для оптимізації

бінарних часоімпульсно-модульованих сигналів з нормованим спектром.

Основний матеріал

Для визначення аналітичного виразу, щодо оптимізації бінарних часоімпульсно-модульованих вимірювальних сигналів з нормованим спектром спочатку отримаємо аналітичний вираз, що зв'язує спектр амплітуд бінарного ЧІМ сигналу з фазовими координатами його точок переключення. Для цього розглянемо бінарний часоімпульсно-модульований сигнал в сигнал $F(\alpha)$, що має M точок переключення $\{\alpha_i\}$, на інтервалі одного періоду $T = 2\pi$, причому $i = \overline{1, M}$, $\alpha_{i-1} < \alpha_i < \alpha_{i+1}$, $\alpha_1 = 0$, $\alpha_M = 2\pi$.

Мінімальне значення кількості точок переключення $M = 3$, що справедливо для послідовності прямокутних імпульсів або меандру.

Одержимо залежність амплітудного спектра даного вимірювального сигналу від фазових координат його точок переключення $\{\alpha_i\}$ для двох різних випадків: при парному й непарному значенні M .

Запишемо аналітичний вираз для визначення сигналу $F(\alpha)$, коли M – будь-яке непарне число:

$$F_1(\alpha) = \begin{cases} F_0, & \text{якщо } \alpha_1 \leq \alpha < \alpha_2, \dots, \alpha_{M-2} \leq \alpha < \alpha_{M-1}; \\ -F_0, & \text{якщо } \alpha_2 \leq \alpha < \alpha_3, \dots, \alpha_{M-1} \leq \alpha < \alpha_M. \end{cases} \quad (1)$$

Форма сигналу (1) представлена на рис. 1.

Аналогічно аналітичний запис бінарного ЧІМ сигналу, у якого M – парне число, буде мати вигляд:

$$F_2(\alpha) = \begin{cases} F_0, & \text{якщо } \alpha_1 \leq \alpha < \alpha_2, \dots, \alpha_{M-1} \leq \alpha < \alpha_M; \\ -F_0, & \text{якщо } \alpha_2 \leq \alpha < \alpha_3, \dots, \alpha_{M-2} \leq \alpha < \alpha_{M-1}, \end{cases} \quad (2)$$

а його форма показана на рис. 2.

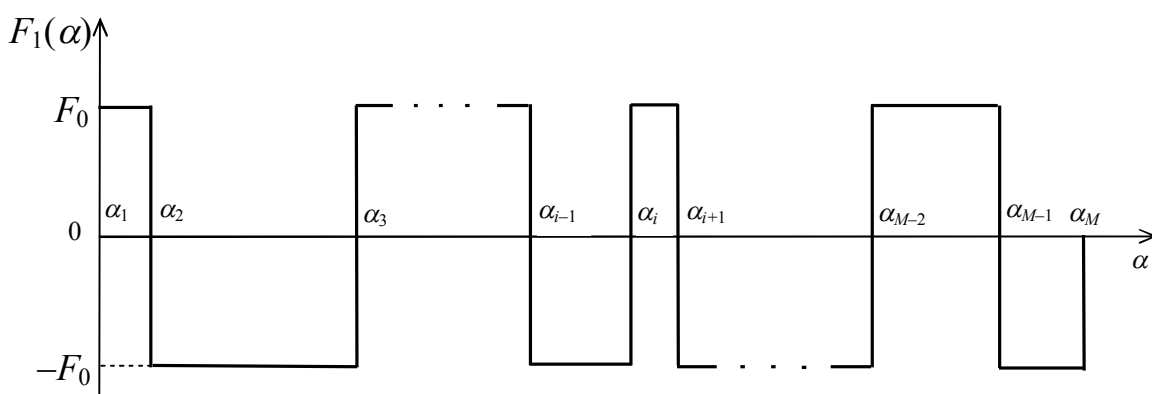


Рис. 1. Бінарний сигнал з непарною кількістю точок переключення

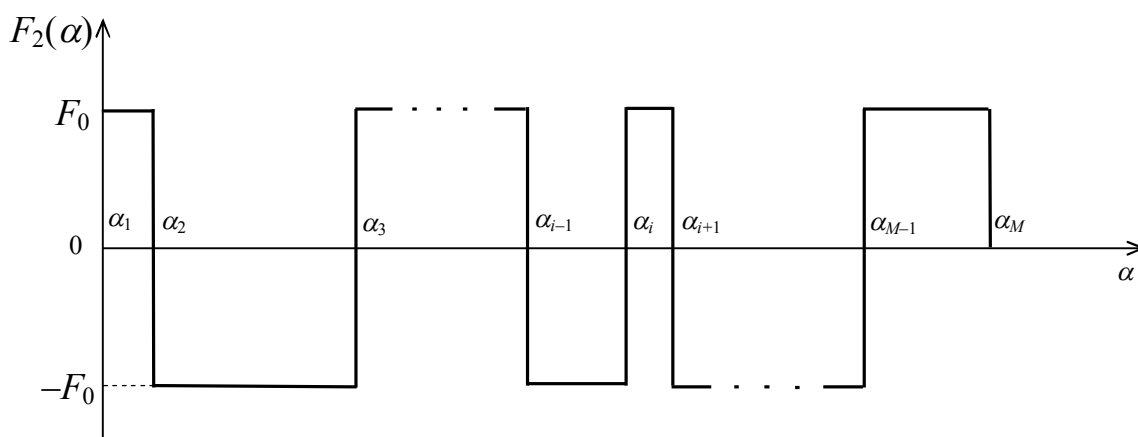


Рис. 2. Бінарний сигнал з парною кількістю точок переключення

Комплексні коефіцієнти Фур'є сигналів (1) та (2) обчислюються за допомогою комплексного коефіцієнта Фур'є бінарного часоімпульсно-модульованих сигналів сигналу $F(\alpha)$:

$$D_n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} F(\alpha) e^{-jn\alpha} d\alpha = \frac{1}{2} C_n e^{j\phi_n}, \text{ при } n \neq 0, \quad (3)$$

де C_n і ϕ_n – відповідно амплітуда й початкова фаза n -ї гармоніки сигналу $F(\alpha)$; $C_n = D_0$ – постійна складова сигналу $F(\alpha)$, а постійна складова сигналу C_0 дорівнює:

$$C_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} F(\alpha) d\alpha \quad (4)$$

Квадратурні формули (3) і (4) визначають амплітудний спектр бінарного часоімпульсно-модульованого сигналу з довільним законом модуляції тривалостей його імпульсів, однак при відомому векторі точок переключення сигналу $\{\alpha_i\}$ безпосереднє використання даних співвідношень неможливо. Тому доцільно перейти від інтегралів до записів з використанням кінцевих сум. Для цього, підставляючи у формулу (3) вирази (1) і (2), одержуємо відповідно амплітудний спектр сигналу $F_1(\alpha)$:

$$C_{1n} = 2F_0 / (\pi n) \times \left| e^{-jn\alpha_1} - e^{-jn\alpha_2} + e^{-jn\alpha_3} - \dots - e^{-jn\alpha_{M-1}} \right| = \quad (5)$$

$$= \frac{2F_0}{\pi n} \left| \sum_{i=1}^{M-1} (-1)^{i+1} e^{-jn\alpha_i} \right|$$

і амплітудний спектр сигналу $F_2(\alpha)$

$$C_{2n} = \frac{2F_0}{\pi n} \left| -e^{-jn\alpha_2} + e^{-jn\alpha_3} - \dots - e^{-jn\alpha_{M-1}} \right| = \quad (6)$$

$$= \frac{2F_0}{\pi n} \left| \sum_{i=2}^{M-1} (-1)^{i+1} e^{-jn\alpha_i} \right|.$$

Розбіжність між формулами (5) та (6) є лише в нижніх границях індексу підсумовування. Для непарної кількості точок переключення величина i приймає значення від 1 до $M-1$, а для парної кількості – від 2 до $M-1$. З метою узагальнення даних рівностей приведемо універсальну формулу для розрахунку нижньої границі індексу підсумовування, позначивши його M_0 , що дозволить для будь-яких значень кількості точок переключення M (парних або непарних) одержувати відповідні значення нижніх границь сум:

$$M_0 = \frac{|(-1)^{M+1} - 1|}{2} + 1. \quad (7)$$

Елемент $(-1)^{i+1}$ у співвідношеннях (5) та (6), що визначає знакозмінний ряд, запишемо у вигляді $(-1)^i$, оскільки збереження показника степеня, рівного $(i+1)$, необхідно тільки при обчисленні фаз гармонічних складових ϕ_n .

Здійснивши розклад за формулою Ейлера та з урахуванням виразу (7) комплексних експонент формул (5) і (6), виведемо аналітичне співвідношення, що зв'яже спектр амплітуд бінарного часоімпульсно-модульованого сигналу з фазовими координатами точок переключення його рівнів $\{\alpha_i\}$:

$$C_n = 2F_0 / (\pi n) \times \sqrt{\left[\sum_{i=M_0}^{M-1} (-1)^i \cdot \cos(n\alpha_i) \right]^2 + \left[\sum_{i=M_0}^{M-1} (-1)^i \cdot \sin(n\alpha_i) \right]^2} \quad (8)$$

Відзначимо, що формула (8) справедлива також у випадку, коли

$$F_1(\alpha) = -F_1(\alpha), \quad F_2(\alpha) = -F_2(\alpha).$$

У той самий час перетворення формули (4) для обчислення постійної складової сигналу вимагає урахування значення, а точніше знаку $F(\alpha)$ на першому інтервалі аналізу ($\alpha_1 \leq \alpha < \alpha_2$). Приведемо кінцевий вираз для розрахунку величини C_0 :

$$C_0 = (F_0 / (2\pi)) \times \sum_{i=1}^{M-1} (-1)^{i+1} \cdot (\alpha_{i+1} - \alpha_i) \cdot \text{sign}(F(\alpha)) \Big|_{\alpha_1 \leq \alpha < \alpha_2}, \quad (9)$$

де $\text{sign}(F(\alpha))$ – функція знаку.

Отже, виразивши за допомогою формул (7) – (9) амплітуду будь-якої гармоніки в спектрі бінарного часоімпульсно-модульованого сигналу через фазові координати точок переключення, визначено аналітичний вираз (9), за допомогою якого можливо оптимізувати бінарні часоімпульсно-модульовані сигнали із нормованим спектром.

Висновки

1. Здійснюючи аналіз бінарних часоімпульсно-модульованих сигналів розглянуто аналітичний вираз, що зв'яже спектр амплітуд бінарного часоімпульсно-модульованого сигналу з фазовими координатами його точок переключення в сигнал $F(\alpha)$, що має M точок переключення $\{\alpha_i\}$, на інтервалі одного періоду $T = 2\pi$.

2. На основі цього бінарного часоімпульсно-модульованого сигналу за допомогою формул (7) – (9) амплітуду будь-якої гармоніки в спектрі бінарного часоімпульсно-модульованого сигналу через фазові координати точок переключення, визначено аналітичний вираз (9), за допомогою якого можливо оптимізувати бінарні часоімпульсно-модульовані сигнали з нормованим спектром.

Список літератури

1. Чупраков Б.А. Современное состояние измерительной техники анализа сигналов в реальном времени / Б.А. Чупраков, И.П. Краснощеков // Измерительная техника. – 1990. – № 8. – С. 50-52.
2. Павленко Ю.Ф. Вопросы метрологического обеспечения анализаторов спектра / Ю.Ф. Павленко, С.И. Славинский // Український метрологічний журнал. – 1999. – № 3. – С. 35-42, № 4. – С. 23-26.
3. Mpanda M.B.A. Detection of induction machines anomalies using stand-still tests / M.B.A. Mpanda, D. Cristian, G.-A. Capolino, H.T. Henao // Proc. Industry Applications Conference. 38th IAS Annual Meeting. – Vol. 3. – Salt Lake City (USA). – 2003. – P. 1855-1860.
4. Минц М.Я. Оптимизация измерительного сигнала для эксплуатационного контроля систем передачи информации и связи / М.Я. Минц, В.Н. Чинков // Измерительная техника. – 1994. – № 5. – С. 52-55.
5. Водолажко О.В. Обґрунтування вибору критерію оптимальності бінарних вимірювальних сигналів з нормованим спектром / О.В. Водолажко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2015. – № 2(19). – С. 128 – 131.

Надійшла до редколегії 25.06.2015

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

АНАЛИЗ БИНАРНЫХ ВРЕМЯ-ИМПУЛЬСНО-МОДУЛИРОВАННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ С НОРМИРОВАННЫМ СПЕКТРОМ

О.В. Водолажко

В статье на основе анализа бинарных время-импульсно-модулированных сигналов определено аналитическое выражение, которое связывает спектр амплитуд бинарного время-импульсно-модулированного сигнала с фазовыми координатами его точек переключения при помощи которого можно оптимизировать бинарные время-импульсно-модулированные сигналы с нормированным спектром.

Ключевые слова: нормированный спектр, линейные динамические системы, бинарный время-импульсно-модулированный сигнал.

AN ANALYSIS OF THE BINARY PULSE-TIME-MODULATED MEASUREMENTS SIGNALS IS WITH THE RATIONED SPECTRUM

O.V. Vodolazhko

In the article on the basis of analysis of binary pulse-time-modulated signals analytical expression which links the spectrum of amplitudes of binary time is certain – pulse-time-modulated signal with the phase co-ordinates of his switch points through which it is possible to optimize binary pulse-time-modulated signals with the rationed spectrum.

Keywords: rationed spectrum, linear dynamic systems, binary pulse-time-modulated is the modulated signal.