

Р. М. Модла¹, В. М. Ванько¹, В. М. Бритковський², О. М. Сорочинський³

¹Національний університет "Львівська політехніка,"

кафедра комп'ютеризованих систем автоматики,

²кафедра експлуатації та ремонту автомобільної техніки

³Українська академія друкарства,

кафедра автоматизації та комп'ютерних технологій

АНАЛІЗ ПОХИБОК ЧАСТОТНИХ МОДУЛЯТОРІВ, ЗУМОВЛЕНИХ ЧАСОВИМИ ЗАТРИМКАМИ КОМПАРАТОРІВ ТА ЕЛЕКТРОННИХ КЛЮЧІВ

© Модла Р. М., Ванько В. М., Бритковський В. М., Сорочинський О. М., 2018

Отримано функцію перетворення частотно-модульованого генератора з урахуванням часових затримок компаратора, електронних ключів та формувача стабільних сигналів. На її основі визначено похибки нелінійності та асиметрії функції перетворення за вхідних різнополярних сигналів. Запропоновано методику компенсації вказаних похибок за рахунок відповідного вибору сталих часу багатовхідного інтегратора.

Ключові слова: частотний модулятор, аналіз, похибки, компаратор, ключі.

In the article received a conversion function of the frequency-modulated generator considering the time delays of the comparator, electronic swithes and stable signals shaper. On its basis, the errors of nonlinearity and the asymmetry of the transformation function at incoming bipolar signals are determined. The method of compensation of the specified errors is offered due to the choice of the corresponding time constant of the multi-input integrator.

Key words: modulator of frequency, analysis, errors, comparator, keys.

Вступ

Під час створення методів та бортової апаратури для оброблення випадкових швидкозмінних сигналів виникає потреба їх передавання у режимі реального часу з мінімальними спотвореннями. Вирішення вказаних завдань з використанням систем з часовим розділенням каналів приводить до використання великої кількості каналів, що істотно знижує ефективність їх роботи. Використання систем з частотним розділенням каналів забезпечує паралельне передавання сигналів, але їх невисокі метрологічні характеристики стримують їх використання для ефективного вирішення вказаних завдань [1, 2].

Потенційні можливості таких систем визначаються метрологічними характеристиками частотно-модульованих генераторів (ЧМГ). Детальне дослідження метрологічних характеристик здійснено в [3, 4] за асиметрії сталих часу багатовхідного інтегратора та запропонована ефективна методика їх компенсації.

Формулювання цілі статті

Проектуючи бортову апаратуру, ставлять жорсткі вимоги до споживаної потужності, що спонукає розробників до використання операційних підсилювачів, компараторів та електронних

ключів з мінімальною споживаною потужністю. Такі елементи характеризуються невисокою швидкістю, що призводить до збільшення затримки компараторів та електронних ключів. Отже, є актуальним аналіз впливу цих параметрів на метрологічні характеристики ЧМГ.

Функція перетворення частотно-модульованого генератора

Верхня межа робочих частот частотно-модульованого генератора обмежується похибками, зумовленими затримками порівнювальних і перемикальних пристроїв. Зменшення цих часових параметрів призводить до підвищення потужності споживання ЧМГ, що знижує його економічність, яка має важливе значення під час побудови бортових систем. У зв'язку з цим розглянемо зазначені похибки і методи їх зменшення

Використовуючи структурну схему ЧМГ [5], та часову діаграму роботи на рис. 1, частоту вихідних коливань подамо у вигляді

$$f = \left[t_k + t_3 + t_p + (t_4 - t_3) + (t_8 - t_7) \right]^{-1}, \quad (1)$$

де $t_k = t_{1k} + t_{2k}$ – сумарна затримка спрацьовування компаратора; t_3 і t_p – затримки замикання і розмикання електронних ключів K_1 і K_2 .

Вихідну напругу багатовходового інтегратора на інтервалі часу $t_2 - t_0 = t_{1k} + t_{1\phi}$ подамо у вигляді

$$U_0 = (E_1 + U_{\text{вх}}) \frac{t_{1k} + t_{1\phi}}{2t_i} + U_{\text{оп}} \quad (2)$$

на інтервалі часу $t_3 - t_2 = t_p + t_{1\phi}$

$$U_1 = (U_{\text{вх}} + E_1) \frac{t_p + t_{1\phi}}{2t_i} + U_0 \quad (3)$$

де t_{1k} і $t_{1\phi}$ – затримки компаратора і формувача стабільних сигналів (ФСС) у разі встановлення на виходах від'ємних рівнів, t_i – стала часу багатовхідного інтегратора.

Інтервал часу $t_4 - t_3$ знайдемо з виразу

$$t_4 - t_3 = \frac{U_{\text{оп}} + U_1}{E_1 + U_{\text{вх}}} 2t_i. \quad (4)$$

Аналогічно і в другому напівперіоді вихідну напругу інтегратора в інтервалі $t_6 - t_4 = t_{2k} + t_{2\phi}$ подамо у вигляді

$$U_2 = -(E_1 + U_{\text{вх}}) \frac{t_{2k} + t_{2\phi}}{2t_i} - U_{\text{оп}} \quad (5)$$

упродовж інтервалу часу $t_7 - t_6 = t_3 - t_{2\phi}$

$$U_3 = (E_1 - U_{\text{вх}}) \frac{t_3 - t_{2\phi}}{2t_i} + U_2 \quad (6)$$

де t_{2k} і $t_{2\phi}$ – затримки компаратора і ФСС у разі встановлення на виходах додатних рівнів.

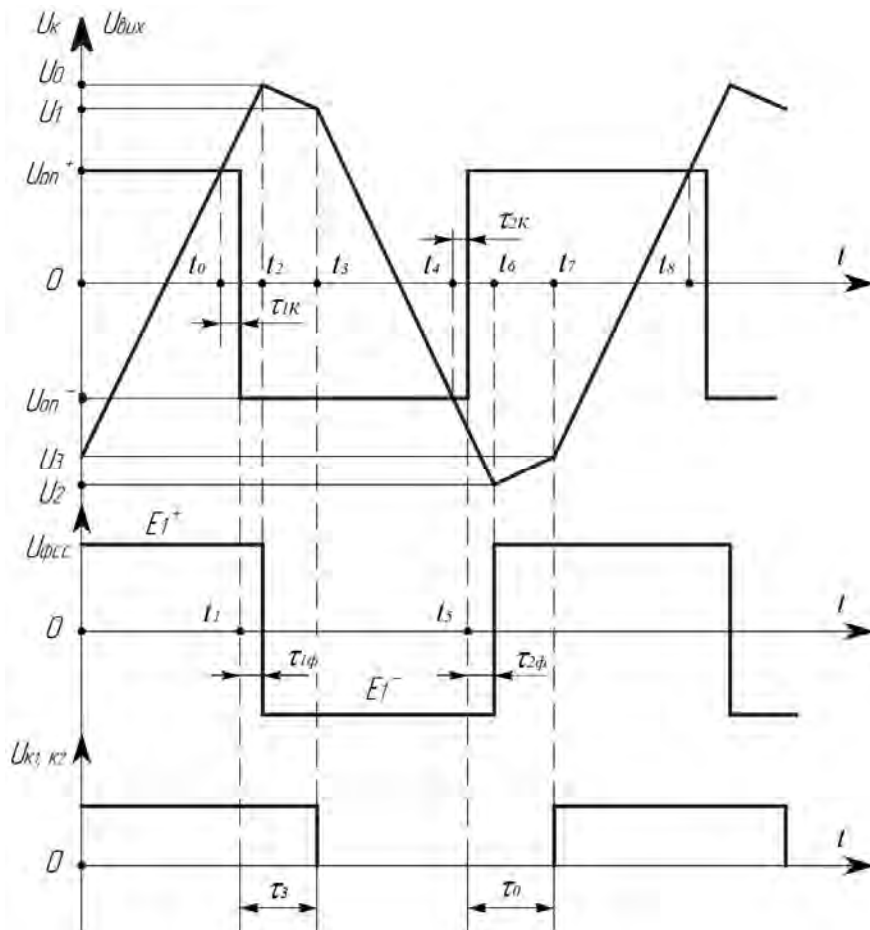


Рис. 1. Часова діаграма роботи ЧМГ

Інтервал часу $t_8 - t_7$ знайдемо з виразу

$$t_8 - t_7 = \frac{U_{\text{оп}} - U_3}{E_1 + U_{\text{вх}}} 2t_i. \quad (7)$$

Підставляючи (1), (2), (3), (4), (5) і (6) у вираз (1), отримуємо

$$f = \frac{E_1 + U_{\text{вх}}}{8U_{\text{оп}}t_i + 2E_1(t_{\phi} + t_{\kappa}) + 2U_{\text{вх}}(t_{\text{кл}} + t_{\kappa})}, \quad (8)$$

де $t_{\phi} = t_{1\phi} + t_{2\phi}$ та $t_{\text{кл}} = t_3 + t_p$ – сумарні затримки відповідно ФСС і електронних ключів K_1 і K_2 .

З (8) випливає, що затримки спрацьовування компаратора і електронних ключів призводять до порушення лінійності функції перетворення ЧМГ. Затримки ФСС і компаратора зменшують крутизну перетворення і нульову частоту, яку на підставі (8) запишемо у вигляді

$$f_0 = \frac{E_1}{8U_{\text{оп}}t_i + 2E_1(t_{\phi} + t_{\kappa})}. \quad (9)$$

На рис. 2 показано залежності похибки нелінійності від наведеного вхідного сигналу для різних значень затримок компаратора і ключів, які отримані на підставі (7). За малих і однакових значень таких затримок t_{κ} і $t_{\text{кл}}$ похибки нелінійності практично збігаються. З характеру поданих на рис. 2 залежностей $d_L(U_{\text{вх}}, t_{\kappa}, t_{\text{кл}})_{g=1}$, $d_L(U_{\text{вх}}, g)_{t_{\kappa}=0, t_{\text{кл}}=0}$ випливає можливість

взаємної компенсації часткових похибок $d_L(U_{ВХ}, t_K, t_{KL})_{g=1} \approx d_L(U_{ВХ}, g)_{t_K=0, t_{KL}=0}$ підбором значень t_K , t_{KL} і g .

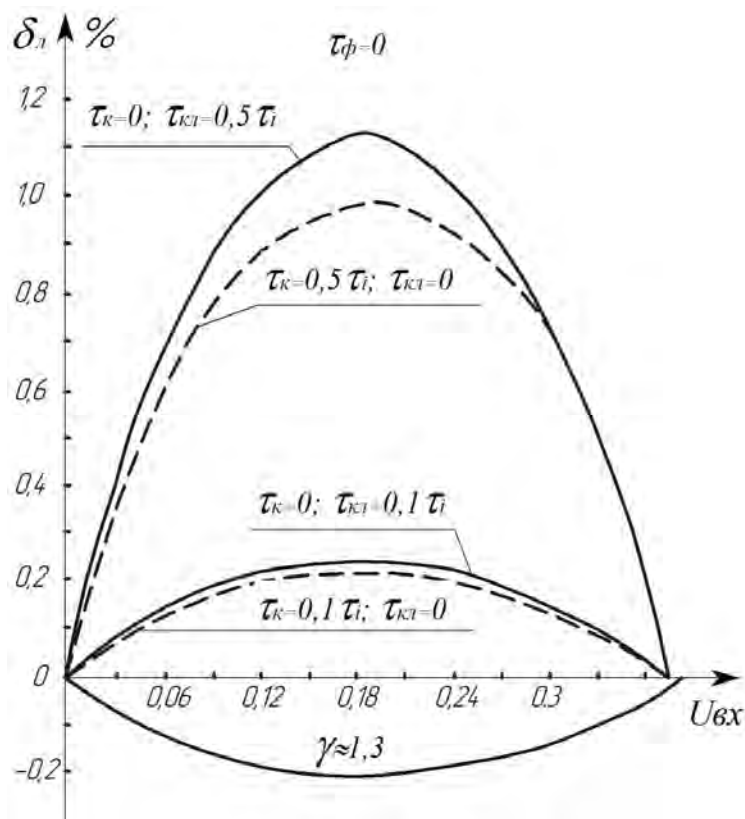


Рис. 2. Залежність похибки нелінійності

У разі перетворення ЧМГ різнополярних вхідних сигналів затримки компаратора і ключів призводять до похибки асиметрії функції перетворення, яку на підставі (7) та методики [5] запишемо у вигляді

$$d_R = \frac{2U_{ВХ_max}(t_{KL} + t_K)}{U_{ВХ_max}(t_{KL} + t_K) - 4U_{оп}t_i - E_1(t_\phi + t_K)}, \quad (10)$$

де $U_{ВХ_max}$ – максимальне значення вхідного сигналу.

Характер залежності похибки $d_R(t_{KL}, t_K)_{U_{ВХ_max}} = const$ збігається із залежностями, наведеними в [5], за певних коефіцієнтів асиметрії сталих часу багатовхідного інтегратора за прямим та інвертуючим входами операційного підсилювача. Відповідним вибором вказаних параметрів також можливо компенсувати похибки асиметрії функції перетворення.

Висновки

Отримана функція перетворення частотно-модульованого генератора з урахуванням часових затримок компаратора, електронних ключів та формувача стабільних сигналів. На її основі визначено похибки нелінійності та асиметрії функції перетворення у разі перетворення

різнополярних сигналів. Запропонована методика компенсації досліджених похибок за рахунок відповідного вибору сталих часу багатовхідного інтегратора.

1. Модла Р. Н., Погрибной В. А. Пути улучшения метрологических характеристик бортовых телеметрических систем с частотным разделением каналов // Тезисы. в сб. "Распараллеливание обработки информации". — Львов. 1983. — Ч. 11. С. 113. 2. Blazhkevich V. I., Modla R. N., Pogribnoy V. A., Kushnerevsky I. V. Increasing the Shipborne Telemetric Systems Capacity with the Channel Frequency Division // Abstracts of papers XXXIV Congress of the International Federation. — Budapest. 1983. — P. 82. 3. Модла Р. М., Соболта В. І. Методика формування частотно-модульованих коливань // Збірник наукових праць "Комп'ютерні технології друкарства". — 2002. — № 8. — С. 133–138. 4. Модла Р. Н. К анализу частотных модуляторов с многоходовым интегратором // М., 1983. — С. 56–60. — Деп. В ВИНИТИ № 1289. 5. Blazhkevich V. I., Modla R. N., Pogribnoy V. A., Kushnerevsky I. V. Increasing the Shipborne Telemetric Systems Capacity with the Channel Frequency Division // Acta Astronautica. — 1986. — Vol. 13. № 5. — P. 251–256.