

УДК 621.373

ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛОГАРИФМІЧНИХ ФІЛЬТРІВ

В. Григоренко, Я. Шмигельський

Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Ген. Тарнавського, 107, 79017, Львів, Україна
shmygelsky@electronics.wups.lviv.ua

Розглянуто принцип *log-domain* фільтрації. Досліджено вплив паразитних RC-ланок на роботу логарифмічного фільтра 1-го порядку.

Ключові слова: транслінійний принцип, логарифмічні фільтри, чисельні методи.

Транслінійний принцип, запропонований 1975 р. [3], сьогодні вважають на Заході одним з найважливіших внесків у теорію електричних кіл в електронну еру. Він полягав у використанні біполярних транзисторів, що працюють у нелінійному режимі, в елементах, які містять декілька транзисторів, з'єднаних так, що зовнішні характеристики самих елементів є лінійними. Оскільки транзистори мають електронно-керовані характеристики, то це дає змогу створити зворотні зв'язки для підтримки стабільного режиму роботи за умови зміни температури, враховуючи допустимі похибки елементів. Пізніше цей принцип був поширений і на кола з МОН-транзисторами, що працюють у підпороговій області [4].

Системи, побудовані на транслінійному принципі ще називають “зовнішньо лінійними – внутрішньо нелінійними” (ЗЛВН) системами [5].

Одні з перших ЗЛВН-систем, які набули широкого застосування в електроніці, запропоновані Р. Адамсом (див., наприклад, [1]). Він спроектував електричне коло, що являло собою фільтрувальну ланку, розміщену між логарифмічним і антилогарифмічним перетворювачами й мало лінійну характеристику «вхід-вихід» (рис. 1). Кола такого типу дістали назву *log-domain* фільтри.



Рис. 1. Блок-схема *log-domain* фільтра.

Значний інтерес до *log-domain* фільтрів пояснюють тим, що логарифмування й експоненціювання легко реалізувати за допомогою біполярних транзисторів або МОН-транзисторів, що працюють у підпороговій області. Крім того, в *log-domain* фільтрах експоненціальний закон використовують для стиску вхідного сигналу з

подальшим його розширенням на виході, що, відповідно, приводить до збільшення динамічного діапазону на одиницю споживаної потужності [2].

Принцип log-domain фільтрації. На рис. 2 показаний принцип побудови *log-domain* фільтра на основі транслінійних елементів [1].

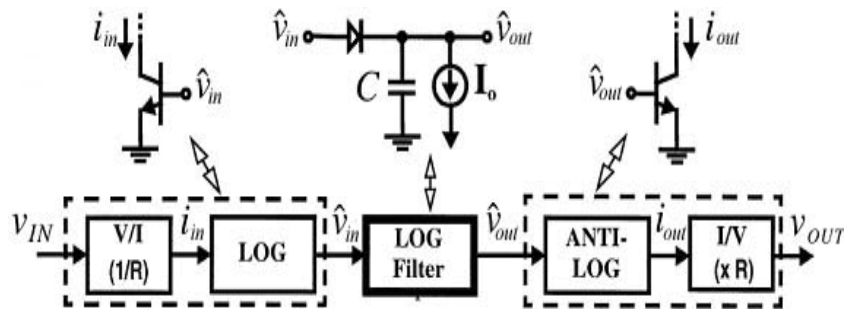


Рис. 2. Принцип побудови логарифмічного фільтра.

Припускають, що всі транзистори ідентичні, і вольт-амперні характеристики *p-n* переходів мають вигляд:

$$i = I_s e^{\frac{v}{V_T}}, \tag{1}$$

де I_s та V_T – зворотний струм насичення і температурний потенціал, відповідно.

Уважаємо для спрощення, що зв'язок між вхідною напругою V_{in} та вхідним струмом i_{in} заданий співвідношенням

$$v_{in} = R \cdot i_{in}. \tag{2}$$

Тоді для вхідного транзистора маємо

$$v_{in} = V_T \ln \frac{\hat{v}_{in}}{R \cdot I_s}, \tag{3}$$

де \hat{v}_{in} – напруга на базі вхідного транзистора.

Для фільтрувальної ланки

$$I_s e^{\frac{v_d}{V_T}} = C \frac{dv_{out}}{dt} + I_0. \tag{4}$$

де v_d – напруга на діоді.

Оскільки

$$\hat{v}_{in} = v_d + v_{out}, \tag{5}$$

то

$$I_s e^{\frac{\hat{v}_{in}}{V_T}} e^{-\frac{\hat{v}_{out}}{V_T}} = C \frac{d}{dt} v_{out} + I_0, \quad (6)$$

або

$$e^{\frac{\hat{v}_{in}}{V_T}} = \frac{V_T}{I_s} C \frac{d}{dt} (e^{\frac{\hat{v}_{out}}{V_T}}) + \frac{I_0}{I_s} e^{\frac{\hat{v}_{out}}{V_T}} \quad (7)$$

Вважаємо, що для вихідної ланки зв'язок між вихідною напругою v_{out} та вихідним струмом i_{out} заданий співвідношенням

$$v_{out} = R \cdot i_{out}. \quad (8)$$

Тоді для вихідного транзистора

$$v_{out} = R \cdot I_s e^{\frac{\hat{v}_{out}}{V_T}}. \quad (9)$$

З (2), (7) і (9) одержуємо

$$v_{in} = \frac{V_T}{I_s} \cdot C \frac{d}{dt} v_{out} + \frac{I_0}{I_s} v_{out}. \quad (10)$$

Ми отримали лінійне диференціальне рівняння відносно v_{out} . Тобто наш *log-domain* фільтр повністю еквівалентний лінійному фільтру першого порядку з передатною функцією

$$H(p) = \frac{a}{1 + \tau p}, \quad (11)$$

де $\tau = \frac{V_T}{I_0} \cdot C$, $a = \frac{I_s}{I_0}$

На рис. 3 зображено одне з можливих схемних рішень *log-domain* фільтра першого порядку, а на рис. 4 – його амплітудно-частотна характеристика, розрахована в середовищі Workbench.

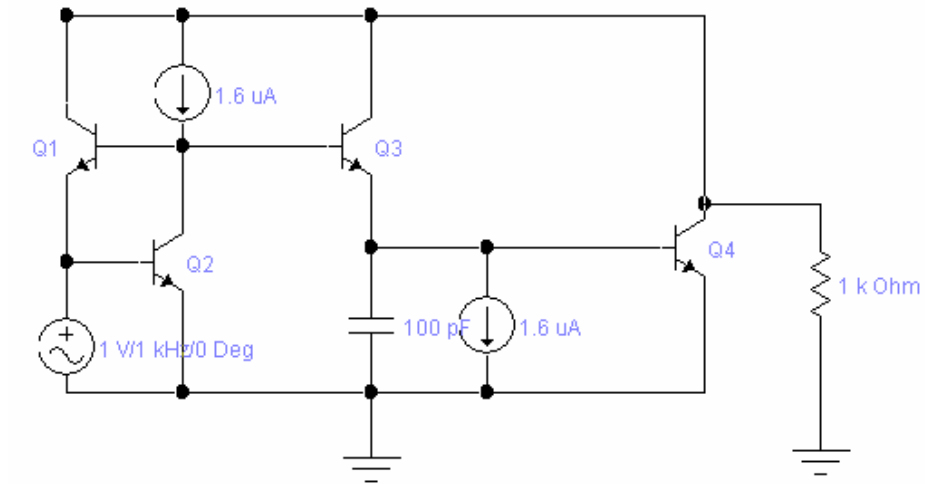


Рис. 3. *Log-domain* фільтр першого порядку

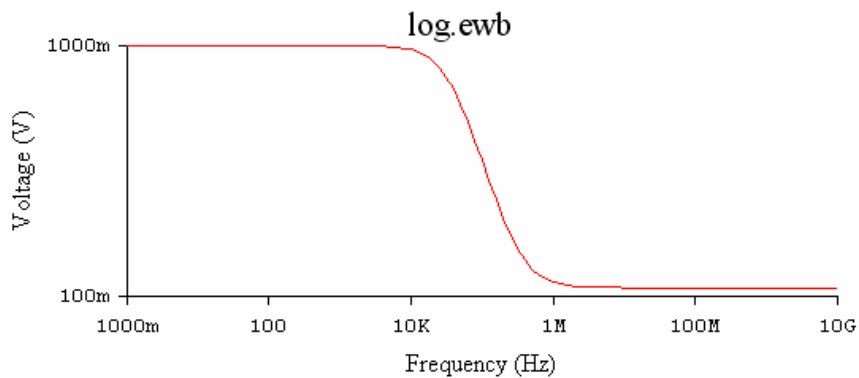


Рис. 4. АЧХ *log-domain* фільтра першого порядку.

Чисельні експерименти. Мета цього дослідження – порівняння схеми *log-domain* фільтра (рис. 1) із ЗЛВН-системою, в якій логарифмічний інтегратор (див. рис. 2) замінено простою інтегрувальною ланкою (див. рис. 4). Таке порівняння має сенс оскільки завжди існують певні паразитні опори і ємності, які можуть спотворити сигнал і порушити лінійність ідеальної системи.

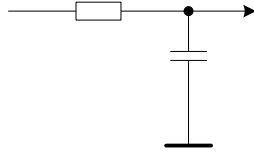


Рис. 5. Аперіодична RC-ланка.

Для спрощення розрахунків вхідний і вихідний перетворювачі модельовано формулами

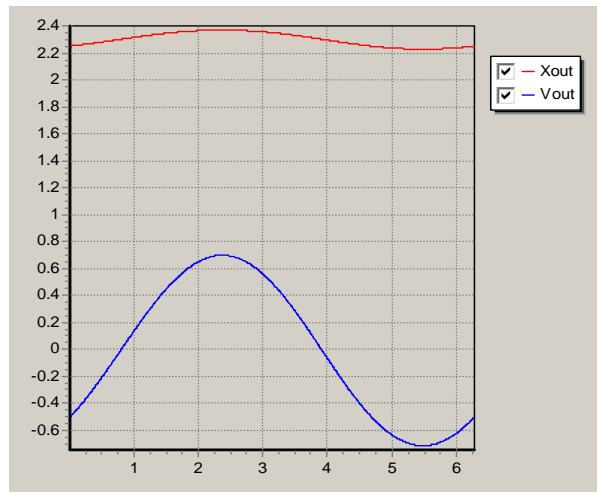
$$\begin{aligned} X_{in} &= \ln(V_{in} + 10), \\ V_{out} &= \exp(X_{out}) - 10. \end{aligned} \quad (12)$$

Схему досліджували з гармонічним вхідним сигналом

$$V_{in} = A \cdot \sin t; \quad A < 10. \quad (13)$$

Сталу часу RC-ланки приймали рівною одиниці.

На рис. 6, 7 показано форми сигналів $X_{in}(t)$ і $V_{out}(t)$ для різних значень амплітуди вхідного сигналу. При $A = 9,9$ помітні спотворення форми вихідного сигналу.

Рис. 6. Форми сигналів при $A=1$.

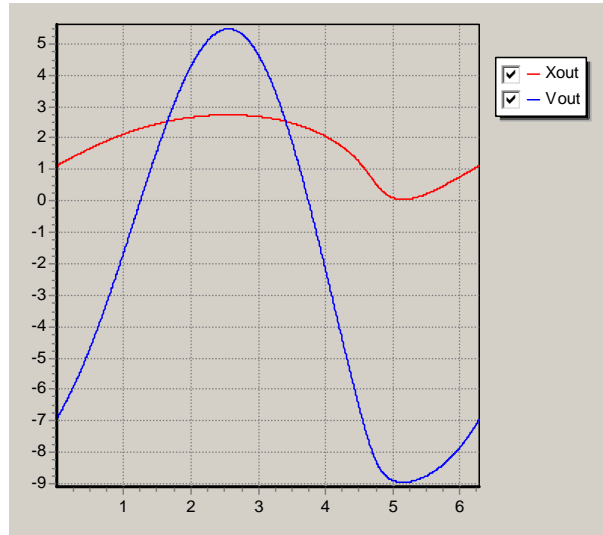


Рис. 7. Форми сигналів при $A=9,9$.

Для кількісної оцінки спотворень вихідного сигналу обчислювали відносні амплітуди другої та третьої гармонік у спектрі вихідного сигналу. Ці дані показано на рис. 8.

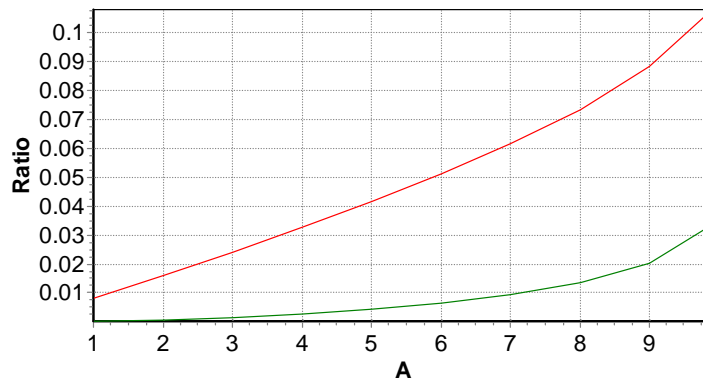


Рис. 8. Відносні амплітуди другої (верхня крива) і третьої (нижня крива) гармонік у спектрі вихідного сигналу.

З наведених результатів бачимо, що рівень гармонік у вихідному сигналі стає суттєвим тільки за дуже великих значень амплітуди вхідного сигналу. У разі середніх значень амплітуди рівень гармонік становить приблизно 5%.

Таким чином, показано, що вплив паразитних аперіодичних ланок на роботу логарифмічних фільтрів є мінімальним і його можна не братися до уваги в більшості випадків.

1. *El-Gamal M. N., Roberts G. W.* A 1,2 V npn-only log-domain integrator // IEEE Trans. Circuits Syst. II, Anal. Digit. Signal Process. 2002. Vol. 49. N 4. P.257 - 265.
2. *Frey D. R., Tsvividis Y. P.* Syllabically companding log domain filter using dynamic biasing // Electronics Letters. 1997. Vol. 33. N 18. P. 1506 - 1507.
3. *Gilbert B.* Translinear circuits: A proposed classification // Electronics Letters. 1975. Vol. 11. N 1. P. 14 - 16.
4. *Serrano-Gotarredona T., Linares-Barranco B., Andreou A.* A general translinear principle for subthreshold MOS transistors // IEEE Trans. Circuits Syst. I. 1999. Vol. 46. N 5. P. 607 - 616.
5. *Tsvividis Y.P.* Externally linear, time-invariant systems and their application to companding signal processors // IEEE Trans. on Circuits and Syst. II. 1997. Vol. 44. N 2. P. 65 - 85.

NUMERICAL RESEARCH OF LOGARITHMIC FILTERS

V. Hryhorenko, Ya. Shmygelsky

*Ivan Franko National University of L'viv,
Tarnavsky Str. 107, UA-79017 Lviv, Ukraine
shmygelsky@electronics.wups.lviv.ua*

It is considered a principle log-domain filtrations. Influence of parasitic RC-circuits on work of the logarithmic filter of the first order is researched.

Key words: translinear principle, log-domain filters, numerical methods.

Стаття надійшла до редколегії 12.04.2007

Прийнята до друку 23.05.2007