

ФЛУКТУАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ RC-АВТОГЕНЕРАТОРІВ

Вінницький національний технічний університет.

Анотація

За допомогою методу комплексного аналізу режимних і флуктуаційних характеристик досліджений RC-автогенератор з режекторним фільтром у колі негативного зворотного зв'язку. Визначена залежність спектральної щільності фазових і амплітудних шумів автогенератора від частоти розладнання. Проаналізовано внески в загальний рівень шумів джерел адитивних шумів кіл зворотного зв'язку та активного приладу у вигляді біполярного транзистора.

Ключові слова: RC-автогенератори, флуктуаційні характеристики, режекторний фільтр, спектральна щільність потужності, негативний зворотний зв'язок.

Abstract

By means of the complex analysis method of performance and fluctuation characteristics RC-oscillators with the rejection filter in the negative feed-back circuit is investigated. The dependence of spectral density of phase and amplitude noises of oscillator on detuning frequency is certain. Contributions to the general noise level of addition noise sources of feedback circuit and the active device in the form of the bipolar transistor are analyzed.

Keywords: RC-oscillator, fluctuation characteristics, rejection filter, spectral power density, negative feed-back.

Вступ

RC-автогенератори гармонічних коливань відомі з початку 30-х років минулого сторіччя й дотепер досить широко використовуються в радіотехніці. Не маючи у своєму складі коливального контуру, такі генератори, проте, дозволяють формувати коливання, близькі до гармонічних, без використання індуктивних компонентів. У наш час RC-автогенератори активно застосовуються в різних радіотехнічних пристроях. За останні 15 років, у зв'язку з активним розвитком інтегральних технологій, зокрема, при виготовленні сенсорів, мікроконтролерів і приладів медичної техніки, до складу яких незмінно входять RC-автогенератори, їх дослідження знову набуло актуальності.

Спектр генеруємих частот, сучасних RC-автогенераторів варіюються від одиниць кГц до одиниць і сотень МГц. Багато з них вимагають широкої перебудови частоти. Досить часто відзначається необхідність дослідження стабільності частоти RC-автогенераторів і їх фазових шумів. Враховуючи сучасні тенденції до вдосконалення RC-автогенераторів в даній роботі будуть проаналізовані флуктуаційні характеристики двохкільцевого RC-генератора з режекторним фільтром (РФ), у вигляді подвійного Т-мосту, в колі негативного зворотного зв'язку (НЗЗ).

Основна частина

Звичайно НЗЗ, що практично застосовується у вибіркових підсилювачах, повинен діяти у всьому робочому діапазоні частот, крім резонансної f_0 (названою квазірезонансною), де коефіцієнт підсилення підсилювача з ЗЗ дорівнює коефіцієнту посилення без ЗЗ. Для частот, розташованих вище й нижче частоти f_0 , коефіцієнт підсилення підсилювача з ЗЗ буде менше коефіцієнта підсилення підсилювача без ЗЗ. У цьому випадку відбувається придушення посилення на всіх частотах, крім квазірезонансної. Така властивість притаманна мостам, що містять активні й реактивні опори. Найбільш розповсюджена схема мосту із двох Т-образних ланок, з'єднаних паралельно. Подвійна Т-образна схема має нульову провідність на деякій частоті при певному співвідношенні їх параметрів. Ця властивість використовується для побудови схем фільтрів, вибіркових підсилювачів і т.д..

Схема розглянутого в роботі RC-автогенератора зображена на рис.1а. Він побудований на лінійному підсилювачі, моделлю якого є «перетворювач напруги в напругу» (ПНН). У розглянутій моделі передбачається, що ПНН має не залежний від частоти коефіцієнт підсилення $K_U > 0$, причому зв'язок між його вхідними напругами $u_{ВП}(t)$ і $u_{ВО}(t)$ і вихідним $u(t)$ описується рівнянням [1] :

$$u(t) = K_U (u_{BP}(t) - u_{BO}(t)). \quad (1)$$

Для аналізу флуктуаційних характеристик його модель доповнена джерелами власних шумів підсилювачів і кола ЗЗ [2]. Для пасивного лінійного чотириполосника ЗЗ з ідеальним джерелом напруги на його вході, напруга внесених їм природних шумів може бути описана джерелом шумової напруги КЗЗ через Т-міст $u_{uT}(t)$ включеним на виході цього КЗЗ і джерелом теплового шуму вихідного опору кола ПЗЗ $u_{uПЗЗ}(t)$.

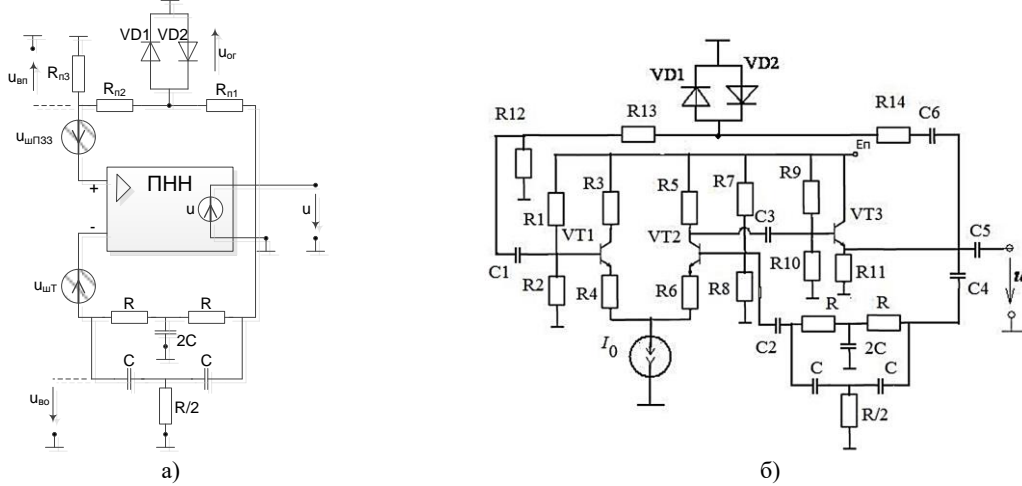


Рис. 1 – Модель розглянутого RC-автогенератора із джерелами шумів КЗЗ (а); електрична схема RC-автогенератора із РФ у колі НЗЗ (б)

Для більшості RC-автогенераторів внесок теплових шумів КЗЗ в загальний рівень фазових і амплітудних флуктуацій домінує тому обмежимося в даній роботі аналізом флуктуацій, викликаних тільки цими шумами. Спектральні щільності потужності (СЩП) цих шумів визначаються наступними формулами [3, 4]

$$S_{uT}(f_3) = 4k_B T \operatorname{Re} [Z_{вихТТ}(j2\pi f)], \quad S_{uПЗЗ}(f_3) = 4k_B T \operatorname{Re} [Z_{вихПЗЗ}(j2\pi f)]. \quad (2)$$

де k_B – постійна Больцмана; T – абсолютна температура; $Z_{вихТТ}(j2\pi f)$, $Z_{вихПЗЗ}(j2\pi f)$ – комплексні вихідні опори Т-мосту й кола ПЗЗ при короткому замиканні на входах цих кіл.

Залежність комплексного вихідного опору Т-мосту від кутової частоти має вигляд:

$$Z_{вих.T}(j\omega) = 2R \frac{1 + j\omega T_m}{1 + 4(j\omega T_m) + 16(\omega T_m)^2} \Rightarrow \operatorname{Re} [Z_{вих.T}(j\omega)] = 2R \frac{1 + 3(\omega T_m)^2}{[1 + (\omega T_m)^2]^2 + 16(\omega T_m)^2} \quad (3)$$

На частоті автоколивань $\omega_3 = 1/T_m$: $\operatorname{Re} [Z_{вих.T}(j\omega_3)] = \frac{R}{2}$.

При зміні частоти аналізу на $\pm 10\%$ в околиці частоти автоколивань опір, а отже й СЩП, змінюється не більше ніж на $\pm 10\%$. Тому при аналізі впливу шуму Т-мосту на роботу розглянутого RC-автогенератора для СЩП цього шуму із прийнятною точністю можливо використовувати рівняння:

$$S_{uT}(f_3) = 4k_B T^\circ \frac{R}{2}. \quad (4)$$

Рівняння для СЩП шуму вихідного опору кола ПЗЗ:

$$S_{uПЗЗ}(f_3) = 4k_B T^\circ R_{n3}. \quad (5)$$

Враховуючи (4), (5) та використовуючи теорію лінійних перетворень стаціонарних випадкових процесів можливо отримати наступні рівняння для СЩП флуктуацій фази й відносних флуктуацій амплітуди автоколивань [3, 5]:

$$S_\varphi(f) = \frac{\Phi^2 k_{33}^{-2}}{(2\pi f T)^2} \cdot \frac{8k_B T^\circ [0,5R + R_{n3}]}{U_0^2}, \quad (6)$$

$$S_m(f) = \frac{\Phi^2 k_{33}^{-2}}{(2\pi f T)^2 + [1 - \Phi h(U_0)]^2} \cdot \frac{8k_B T^\circ [0,5R + R_{n3}]}{U_0^2}. \quad (7)$$

Після вибору параметрів схеми RC- автогенератора (рис. 1б) і розрахунків стаціонарного режиму СЩП його фазових і амплітудних флуктуацій легко розраховуються. У схемі в якості ПНН використовується диференціальний підсилювач на біполярному транзисторі.

Отримаємо кількісні оцінки СЩП фазових і амплітудних шумів. Результат дослідження представлено у вигляді графіку залежності амплітудних і фазових шумів розглянутого АГ від частоти розладнання від несучої на рис. 3. Умови розрахунку: робочі частоти $f_3 = 1 \text{ МГц}$, амплітуда напруги $U_0 = 1 \text{ В}$, запас по самозбудженню $\Phi = 1.5$.

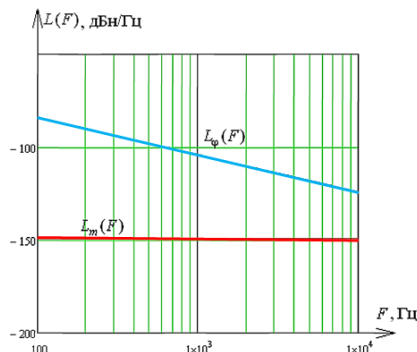


Рис. 2 – Залежність СЩП фазових і амплітудних шумів АГ від частоти розладнання

Висновки

За допомогою розглянутого методу досліджений RC-автогенератор з режекторним фільтром у колі НЗЗ лінійного підсилювача з обмежувачем у колі ПЗЗ. Визначені внески в загальний рівень СЩП фазових шумів RC- автогенераторів джерел адитивних шумів кіл ЗЗ та активного приладу у вигляді біполярного транзистора. Даний тип автогенераторів, в порівнянні з іншими варіантами схем, при однакових вихідних амплітудах, має менший рівень нелінійних викривлень і на 5 дБн/Гц більш низький рівень фазових шумів [2]. Результати даного дослідження можуть використовуватися при проведенні інженерних розрахунків RC-автогенераторів із прийнятною для практики точністю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бондаренко В.Г. RC генераторы синусоидальных колебаний // Москва, Связь, 1976, 208 с.
2. Кулешов В.Н., Болдырева Т.И., Дроздова Е.В. Исследование режимных и шумовых характеристик RC- автогенераторов гармонических колебаний методом укороченных символических уравнений С.И. Евтянова // Вестник МЭИ. 2013. № 5.
3. Жалуд В., Кулешов В.Н. Шумы в полупроводниковых устройствах // Москва, Сов. радио, 1977, 416 с.
4. Leeson D.B. A Simple Model of Feedback Oscillator Noise Spectrum // Proc. IEEE, 1966, N.2., pp. 329-332.
5. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники, т.1 // Москва, Сов. радио, 1969, 656 с.

Воловик Андрій Юрійович – канд. техн. наук, доцент кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Червак Оксана Петрівна – провідний інженер кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: oksana_chervak@ukr.net

Шутило Микола Артемович – провідний інженер кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Квас Сергій Леонідович – студент групи ТКР–17м факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: gamelskvas@gmail.com.

Volovyk Andrii U. – Ph.D. (Eng), Associate Professor of Radio engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Chervak Oksana. P. – Senior Engineer of Radio engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: oksana_chervak@ukr.net

Shutilo Mikola. A. – Senior Engineer of Radio engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Kvas Sergey L. – student of the TKP-17m group, Department of Infocommunication, Electronics and Nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: gamelskvas@gmail.com.