

Р. В. Проць¹, К. С. Семянистий²¹Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра комп’ютеризованих систем автоматики,²Львівський коледж Державного університету телекомунікацій

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОСХЕМ LT1228 У ШИРОКОДІАПАЗОННИХ ГЕНЕРАТОРАХ НИЗЬКОЇ ЧАСТОТИ

© Проць Р. В., Семянистий К. С., 2018

Розглянуто варіант сумісного використання гіраторів і операційних підсилювачів напруга–струм LT1228, які дають змогу створювати перестроювані генератори гармонічних коливань низьких частот з діапазоном перекриття частоти, який перевищує 10, за допомогою зміни номінальної величини всього одного резистора.

Ключові слова: генератор гармонічних коливань, гіратор, операційний підсилювач типу напруга–струм.

The article considers the option of compatible use of gyrators and operational voltage-current amplifiers type LT1228, that allow to create variable- frequencies generators of harmonic oscillations of low frequencies with a range of overlapping frequencies that exceeds 10 through nominal value change of only one resistor.

Key words: generators of harmonic oscillation, gyrator, operational amplifiers voltage-current.

Вступ

Промисловість випускає велику кількість широкосмугових операційних підсилювачів типу напруга–струм (підсилювачі крутизни, або VC), які відрізняються від звичайних операційних підсилювачів типу напруга–напруга (VV) високим вихідним опором [1]. Підсилювач працює як джерело струму і його підсилення визначається добутком імпедансу навантаження на крутизну підсилювача, яка пропорційна до відношення приросту вихідного струму до приросту диференціальної напруги між входами підсилювача. Його основне призначення – підсилення високочастотних сигналів, оскільки до його виходу можна безпосередньо підключити низькоомне навантаження, зокрема, коаксіальний кабель з хвильовим опором 50 чи 75 Ом.

Серед операційних підсилювачів типу VC виділимо мікросхему LT1228 [5]. До її складу (рис. 1) входять швидкодіючий операційний підсилювач типу VC, крутизна якого $g_m = 10I_{SET}$, де I_{SET} – зовнішній струм керування крутизною, і операційний підсилювач типу напруга–напруга VV, неінвертуючий вхід якого всередині мікросхеми з’єднано зі струмовим виходом I_{OUT} . Така комбінація підсилювачів, крім підсилення високочастотних коливань, дає змогу реалізувати низку пристроїв іншого призначення. Наприклад, виробник мікросхем LT1228 Linear Technology наводить приклади використання мікросхем у таких пристроях, як підсилювачі відеосигналу, автоматичні регулятори підсилення, RC- і LC-генератори, амплітудні модулятори. Запропоновані технічні рішення можна знайти в описі мікросхеми [6].

Технічні й структурні особливості вказаної мікросхеми дають змогу розширити сферу її використання як для створення нових технічних рішень, так і для вдосконалення вже наявних. У [6] запропоновано приклади реалізації фільтрів низьких та високих частот, а також смугових фільтрів, параметри яких можна змінювати величиною керуючого струму.

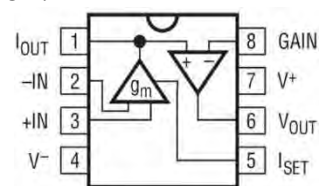


Рис. 1. Мікросхема
LT1228

Відомо, що регулювання частоти генератора на мості Віна [1] здійснюється одночасною зміною опорів двох резисторів, що часто незручно. В [4] наведено опис генератора гармонічних коливань, у якому замість моста Віна використано паралельний коливальний контур на основі гіратора [2]. Це дало змогу перелаштовувати частоту генератора зміною величини опору лише одного резистора і у генераторі не потрібно використовувати прецизійні елементи. Амплітуда вихідної напруги генератора не залежить від частоти завдяки двом особливостям схеми: наявності діодного обмежувача напруги зворотного зв'язку в колі регулювання амплітуди і незалежності від частоти значення резонансного опору гіраторного контура, з'єднаного з виходом струму мікросхеми LT1228. Вихідний струм мікросхеми має прямокутну форму, з якого контуром виділяється перша гармоніка у вигляді вихідної напруги. Оскільки добротність контура залежить від частоти, то коефіцієнт гармонік вихідної напруги генератора збільшується у разі зменшення частоти. Це обмежує діапазон регулювання частоти генератора і, поряд зі спрощенням способу регулювання, є недоліком генератора.

Обґрунтування методу побудови генератора

Для уникнення вказаних недоліків у запропонованій на рис. 2 схемі стабілізація рівня вихідної напруги у всьому діапазоні частот досягається формуванням величини регулюючого струму за допомогою польового транзистора VT1, на затвор якого подається випрямлена напруга з виходу Vout мікросхеми, і охоплення додатним зворотним зв'язком виходу струму мікросхеми Iout через гіраторний контур C1C2R1R2U2 і подільник напруги R3R4 з неінвертуючим входом +IN мікросхеми. Завдяки тому, що форма струму на виході Iout синусоїдальна, коефіцієнт гармонік генератора малий в усьому діапазоні частоти. Переналаштування частоти здійснюється тільки зміною опору резистора R1.

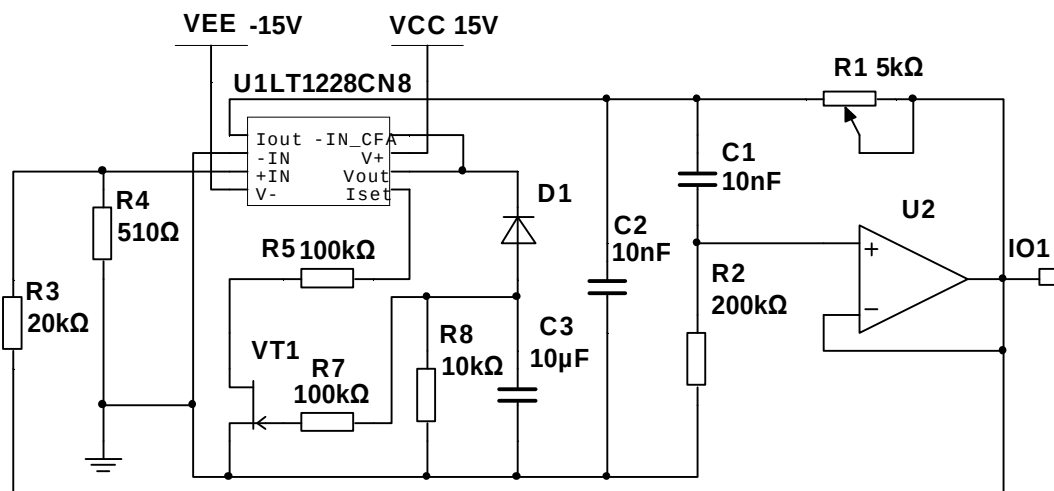


Рис. 2. Схема генератора гармонічних коливань з мікросхемою LT1228

Як показано в [2], максимальна добротність контура досягається виконанням умови $C1 = C2 = C$. Ця умова не є критичною, тому достатньо прийняти, що $C1 \approx C2$. Частота генерованих коливань визначається виразом:

$$F = 1/2\pi C\sqrt{R1R2}$$

Якщо врахувати, що генератор є низькочастотним, то під час вибору високочастотного операційного підсилювача U2 його високочастотними параметрами можна знехтувати. Максимальне значення опору резистора R2 обмежується впливом вхідного струму підсилювача U2 і його вибирають не більшим від 200 кОм.

Як показано в [4], добротність гіраторного контура дорівнює

$$Q_o = \frac{R_2 - R_1}{2\sqrt{R_1 R_2}}.$$

Добротність збільшується зі зменшенням R_1 і збільшенням генерованої частоти. Отже, зниження значення R_1 зменшує нелінійні спотворення генерованого сигналу. Мінімальне значення R_1 визначається максимальним струмом навантаження підсилювача U_2 . Цей струм протікає через резистор R_1 і за максимальної амплітуди напруги на контурі, прийнятої такою, що дорівнює напрузі живлення схеми E , визначається різницею напруг на контурі й подільнику $C1R2$:

$$I_U = \frac{E}{R_1} \cdot \left(1 - \frac{j\omega CR_2}{1 + j\omega CR_2}\right).$$

На генерованій частоті модуль струму дорівнює

$$I_U = \frac{E}{R_1} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi FCR_2)^2}}.$$

Після підстановки значення F отримаємо

$$I = \frac{E}{R_1 \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi CR_2}{2\pi C\sqrt{R_1 R_2}}\right)^2}} = \frac{E}{\sqrt{R_1(R_1 + R_2)}}.$$

Оскільки R_1 менше від R_2 , то можна прийняти, що

$$I_U \approx \frac{E}{\sqrt{R_1 R_2}}.$$

Тому

$$R_1 > \frac{E^2}{I_{U_{max}}^2 R_2}.$$

Наприклад, за напруги живлення $E = 15$ В, максимального допустимого вихідного струму підсилювача $I_{U_{max}} = 5$ мА і $R_2 = 200$ кОм значення R_1 не повинно бути меншим від 45 Ом.

Результати моделювання

На рис. 3 наведено осцилограму процесу виникнення і встановлення коливань на виході генератора, якщо $R_1 = 50$ Ом. Частота коливання, отриманого у результаті моделювання наведеної на рис. 2 схеми за допомогою програми Multisim, становить 5,19 кГц, що фактично дорівнює розрахованій частоті 5,04 кГц.

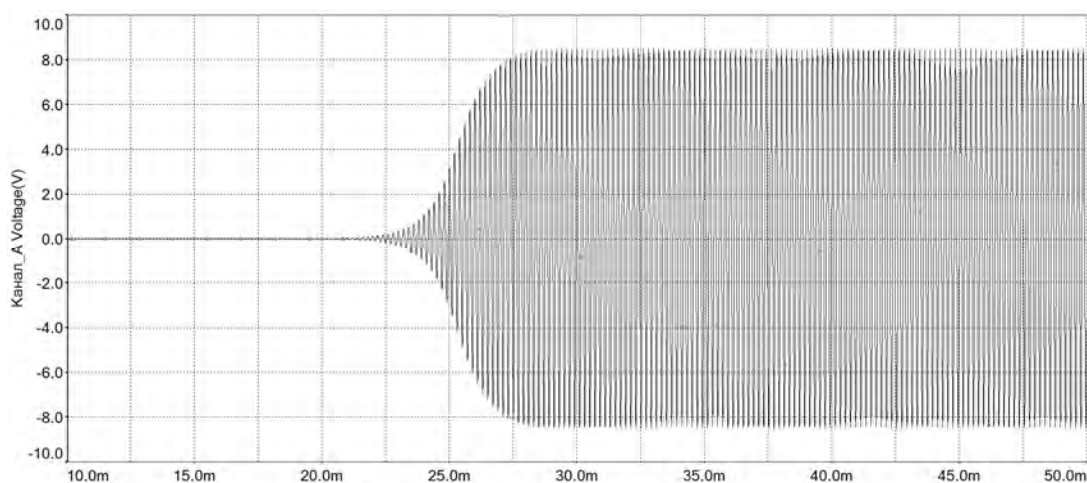


Рис. 3. Осцилограма процесу виникнення і встановлення коливань, якщо $R_1 = 50$ Ом

На рис. 4 наведена осцилограма процесу виникнення і встановлення коливань, якщо $R1 = 5 \text{ кОм}$. Частота генератора, отримана під час моделювання, дорівнює 498 Гц, що також фактично дорівнює розрахованій частоті 504 кГц. Добротність гіраторного контура на цій частоті дорівнює 3 і вона більша, ніж у мості Віна, тому на цій частоті коефіцієнт гармонік малий. Зі збільшенням опору резистора $R1$ до величини 50 кОм добротність стає меншою від 1, генератор не втрачає працездатності, частота генератора зменшується до 155 Гц і значно збільшуються нелінійні спотворення вихідної напруги.

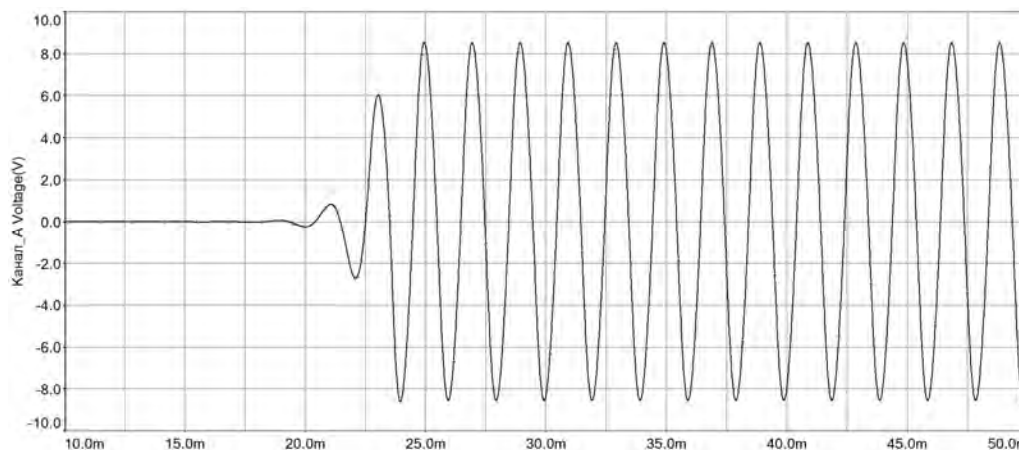


Рис. 4. Осцилограма процесу виникнення і встановлення коливань, якщо $R1=50 \text{ Ом}$

Висновки

Застосування операційних підсилювачів типу напруга–струм у низькочастотних генераторах з використанням гіраторів дає змогу зменшити коефіцієнт гармонік внаслідок уникнення шунтування паралельного гіраторного контура опором джерела вхідної напруги.

Наявність входу регулювання крутизни операційного підсилювача LT1228 дає можливість створити просту й ефективну схему автоматичного регулювання амплітуди вихідної напруги генератора.

У разі реалізації генератора з використанням гіратора не потрібно використовувати прецизійні схемні елементи і для перестроювання генератора у широкому діапазоні частоти достатньо змінювати номінальне значення лише одного резистора.

Завдяки тому, що гіраторний контур з'єднаний із виходом операційного підсилювача, який є джерелом струму синусоїдальної форми, коефіцієнт гармонік вихідної напруги генератора в разі зміни його частоти більше ніж у десять разів є малим.

1. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. 12-е изд. Т. II: пер. с нем. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 942 с. илл.
2. Фолкенберри Л. Применение операционных усилителей в линейных ИС. – М.: Мир, 1985. – 572 с.
3. Лазарєв О., Огородник К., Чехмestрук Р., Філінюк М. Дослідження схемотехнічних реалізацій С-негатронів на конверторах від'ємного опору // Наукові праці ВНТУ "Радіоелектроніка та радіоелектронне апаратобудування". – 2011. – № 4.
4. Проць Р., Семянистий К., Ничай Г. Переналаштувальні генератори гармонічних коливань на основі гіратора // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" "Автоматика, вимірювання та керування", № 852, 2016. – С. 155–162.
5. <https://www.arrow.com/en/reference-designs/> – Typical Application for LT1228 – 100MHz Current Feedback Amplifier with DC Gain Control.
6. Universal Filter Using Single Commercially Available IC: LT1228. MATEC Web of Conferences 95, DOI: 10.1051/mateconf/201795, ICMME 2016.