

АНАЛОГОВІ СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНІ СХЕМИ ПРЕЦИЗІЙНИХ ШИРОКОДІАпазонНИХ ПОДІЛЬНИКІВ ЧАСТОТИ ГАРМОНІЧНИХ СИГНАЛІВ

© Тимощук П.В., 2009

Запропоновано структурно-функціональні схеми аналогових подільників частоти гармонічних сигналів. Схеми є точними для довільних скінченних значень амплітуд і частот вхідних сигналів. Перетворення сигналів виконується лінійно, без спотворень амплітуди і частоти, тобто схеми не породжують гармонік. Подільники не потребують здійснення додаткового фільтрування вихідних сигналів.

Structure-functional schemes of analog frequency dividers of harmonic signals are proposed. The schemes are precise for any finite values of amplitudes and frequencies of input signals. Signal transformation is fulfilled linearly without amplitude and frequency distortion, i.e. the schemes do not generate harmonics. Dividers do not require an additional filtering of output signals.

Постановка проблеми. Як відомо, подільники частоти широко використовуються під час оброблення сигналів тощо. Загальний підхід до розв’язання задачі синтезу подільників частоти на основі множин вхідних та вихідних гармонічних сигналів можна знайти, наприклад, в [1]. Розв’язки задачі отримують на основі побудови математичних моделей подільників у вигляді різницевих рівнянь. Метод ґрунтується на теорії розщеплення сигналів і потребує здійснення процедури розщеплення довільної множини вхідних гармонічних сигналів $x(t)$, яка не завжди приводить до бажаних результатів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найпоширенішими є регенеративні подільники частоти гармонічних сигналів. Подільник такого типу містить змішувач частоти та помножувач і реалізується на основі інтегральних схем [2]. Пристрій може функціонувати без вихідного фільтра, однак тоді для стійкої синхронізації у широкій смузі частот сигнал зворотного зв’язку необхідно зсувати приблизно на 90° . Вмикаючи послідовно подільники частоти на два, можна отримати будь-які парні коефіцієнти ділення. Однак за відсутності вхідного сигналу занадто велике підсилення у ланці зворотного зв’язку може призвести до самозбудження подільника.

У [3] запропоновано подільник частоти на два, який містить послідовно сполучені односмуговий амплітудний модулятор, підсилювач, суматор, генератор високої частоти, амплітудний обмежувач, помножувач і фільтр нижніх частот. Для зменшення нелінійних спотворень до пристрою введено амплітудний детектор, диференціальну схему та тригер.

У [4] описано подільник частоти, сконструйований на піковому детекторі і перетворювачі напруги, який містить два суматори, інвертор та тригер. Для звуження спектра вихідних сигналів до пристрою введено керований кореневидобувач.

Порівняно з цифровими аналогові подільники частоти гармонічних сигналів мають чистіший спектр вихідних сигналів, менше паразитне випромінювання і меншу потужність споживання. Низка існуючих аналогових подільників частоти потребує обов’язкового використання LC-контурів або інших фільтрів і вимагає ретельного підбору параметрів елементів та регулювання [5]. Діапазони зміни амплітуди та частоти вхідних гармонічних сигналів подільників, синтезованих за допомогою існуючих методів, є незначними. Значення амплітуди вихідних сигналів таких подільників залежить від частоти сигналів. Пристрої потребують фільтрування вихідних сигналів.

Формулювання мети досліджень. Мета досліджень – розроблення структурно-функціональних схем аналогових подільників частоти гармонічних сигналів.

Викладення основного матеріалу досліджень. Розглянемо розв’язання задачі побудови аналогових структурно-функціональних схем подільників частоти гармонічних сигналів, які на відміну від аналогів є прецизійними, амплітудо- та частотонезалежними і не потребують відфільтрування вихідних сигналів [6, 7].

1. Моделі подільників частоти гармонічних сигналів неперервного часу.

Нехай на вході подільника частоти гармонічних сигналів на два діють сигнали $x(t)=Asin\omega t$, а на виході отримуються сигнали $y(t)=Asin\omega/2t$. Задамо значення дискрет A, ω, t , де $A \in [0.1;100]$, $\omega \in [0.1;100]$, $t \in [0;2\pi/\omega]$, з кроком $10, 10, 0.2\pi/\omega$ відповідно. Відомо, що ділення частоти властиве винятково інерційним схемам, отримання субгармонік основної частоти у резистивних схемах неможливе. Мінімальний порядок схеми, який забезпечує однозначність відображення сигналів $x(t)$ у сигнали $y(t)$ у задачах побудови математичних моделей подільників частоти з цілим та дробовим коефіцієнтом ділення для множин вхідних сигналів, дорівнює двом [1]. Тому модель подільника може бути визначена у вигляді такого диференційного рівняння [6, 7]:

$$y'(t) = s_i \sqrt{g[0.5g + 0.25x'(t)]};$$

$$s_{i+1} = -s_i, \text{ якщо } \sqrt{g[0.5g + 0.25x'(t)]} = 0, \quad (1)$$

де $g = 0.5\sqrt{[x'(t)]^2 - x(t)x''(t)}$; s_i – керований перемикач полярності сигналу $\sqrt{g[0.5g + 0.25x'(t)]}$ за $\sqrt{g[0.5g + 0.25x'(t)]} = 0$, $s_1 = 1$ або $s_1 = -1$ [8].

Аналогова модель подільника (1) є точною для будь-яких $0 < A < \infty, 0 < \omega < \infty, 0 \leq t < \infty$. У частковому випадку за відомої амплітуди A вхідних сигналів модель (1) можна спростити, однак тоді вона буде амплітудозалежною, тобто потребувати зміни значень параметрів за зміни A . Так, для вхідних сигналів подільника $x(t) = A \cos 2\omega t$ та вихідних сигналів $y(t) = A \cos \omega t$, використовуючи тригонометричне співвідношення $\cos 2\omega t = 2 \cos^2 \omega t - 1$, можна отримати аналогову амплітудозалежну модель подільника вигляду:

$$y(t) = s_i \sqrt{0.5A[A + x(t)]};$$

$$s_{i+1} = -s_i, \text{ якщо } A + x(t) = 0, \quad (2)$$

де полярність s_i змінюється на протилежну за $A + x(t) = 0$, $s_1 = 1$ або $s_1 = -1$.

Аналогова модель подільника також може бути отримана у вигляді такого інтегрального рівняння:

$$\int y(t)dt = s_i \sqrt{g[g + 0.5 \int x(t)dt]};$$

$$s_{i+1} = -s_i, \text{ якщо } \sqrt{g[g + 0.5 \int x(t)dt]} = 0, \quad (3)$$

де $g = 0.5\sqrt{[\int x(t)dt]^2 - x(t)\int x(t)dt^2}$, $s_1 = 1$ або $s_1 = -1$.

Модель подільника (3) також є точною для довільних $0 < A < \infty, 0 < \omega < \infty, 0 \leq t < \infty$.

2. Аналогові структурно-функціональні схеми подільників.

На основі моделі подільника частоти гармонічних сигналів на два (1) можна сконструювати відповідну аналогову структурно-функціональну схему на основі аналогових диференціаторів, інтегратора, суматорів, перемножувачів, блоків видобування квадратного кореня і керованого перемикача. Таку схему показано на рис. 1.

Структурно-функціональну схему аналогового подільника частоти гармонічних сигналів на два отримано на основі моделі (3) і сконструйовано на базі аналогового диференціатора, інтеграторів, суматорів, перемножувачів, блоків видобування квадратного кореня і керованого перемикача (рис. 2).

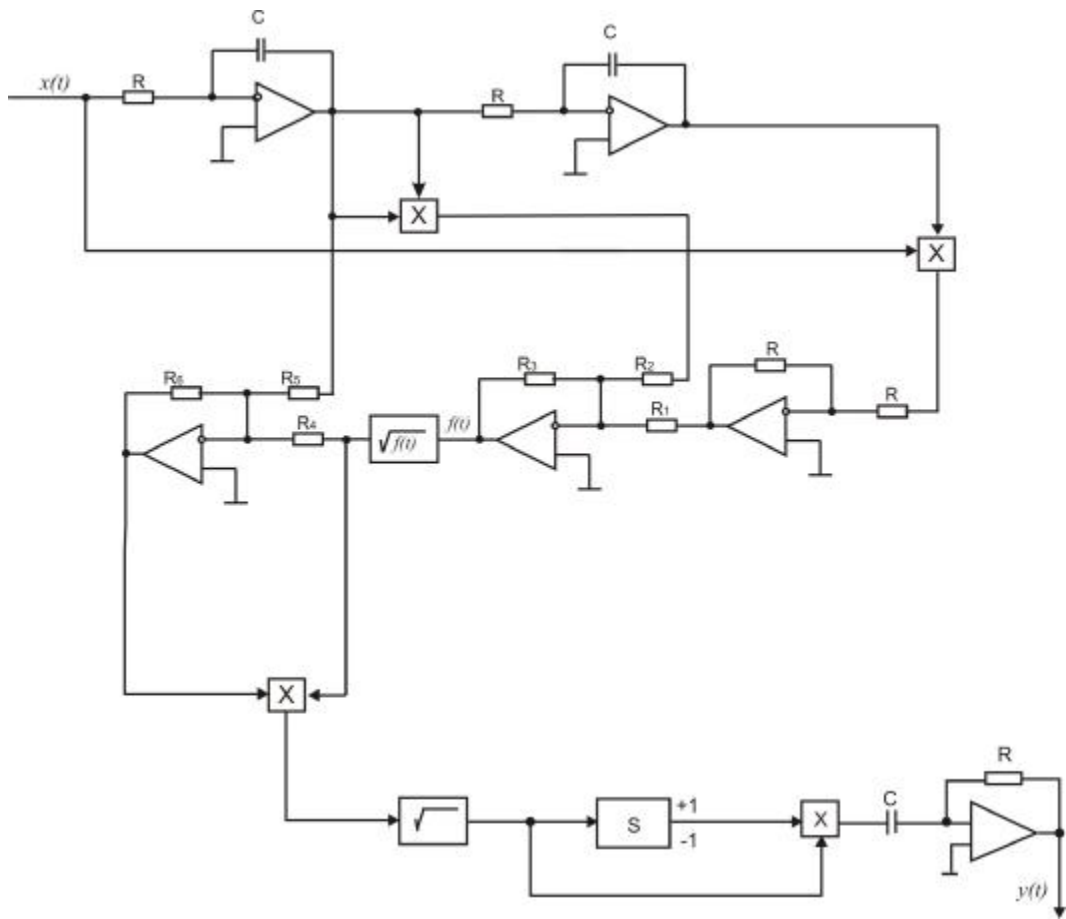


Рис. 2. Структурно-функціональна схема аналогового подільника частоти гармонічних сигналів на два, отримана за моделлю (3)

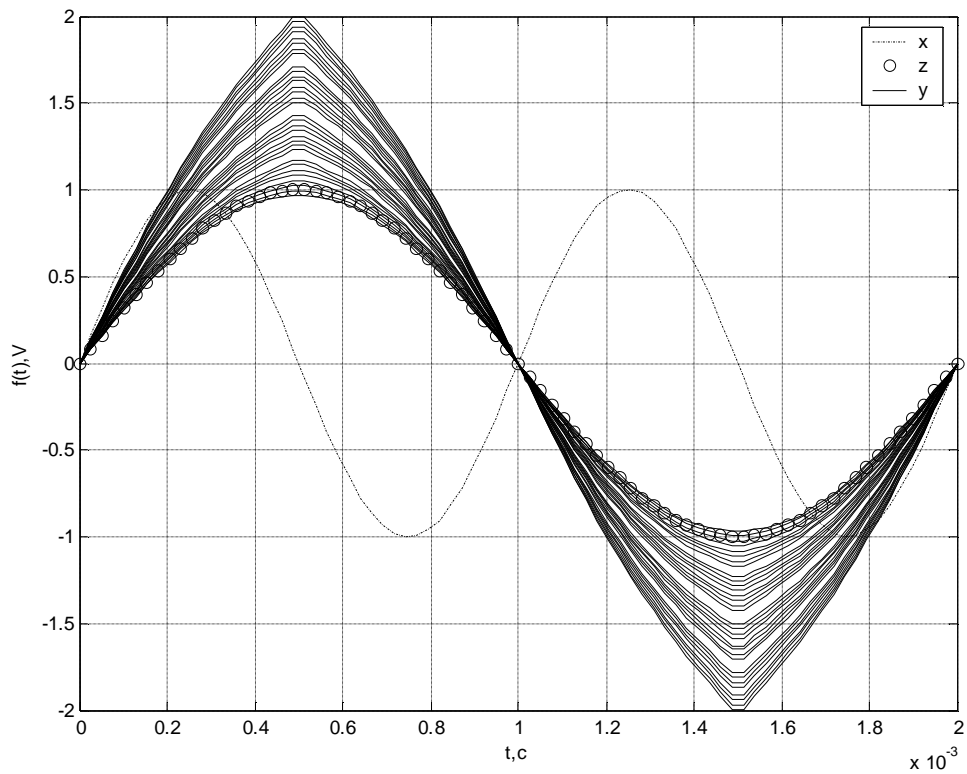


Рис. 3. Вхідний та вихідні сигнали моделей подільника частоти гармонічних сигналів на два (1) та (2) за варіації параметрів

Отже, за схемомотехнічної реалізації моделей (1) і (3) елементна база повинна мати точність, вищу від 1 %. На основі отриманих структурно-функціональних схем можна конструювати схеми подільників частоти гармонічних сигналів у 2^n разів. Це здійснюється шляхом послідовного з'єднання n подільників частоти на два.

Висновки. Отримані схеми подільників частоти, на відміну від існуючих аналогів, є дещо складними. Однак такі подільники призначені для функціонування у широких межах зміни амплітуд та частот вхідних сигналів без зміни параметрів подільників. Схеми подільників є прецизійними і не потребують фільтрування вихідних сигналів [6, 7]. Амплітуда вихідних сигналів подільників не залежить від частоти, перетворення сигналів виконується лінійно, без спотворення амплітуди. Так, наприклад, поширений тригерний подільник частоти на два функціонує без збереження миттєвих значень амплітуди вхідних сигналів [10].

Вищеописані структурно-функціональні схеми подільників частоти гармонічних сигналів є лінійними для довільних скінченних значень вхідних сигналів, тобто вони не породжують гармонік. Будучи реалізованими на інтегральних мікросхемах, такі подільники можуть функціонувати у широкій смузі частот за незначного енергоспоживання [11].

1. Букашкин С.А. Моделирование и синтез нелинейных электронных схем на ЭВМ. – Рига, РКИИГА, 1988. – 110 с. 2. Гетман В.П., Голованов А.И., Найдоров В.З., Юсупов З.Ф. Функциональные устройства на интегральных микросхемах дифференциального усилителя / Под ред. В.З. Найдерева. – М.: Сов. радио, 1977. – 128 с. 3. А.с. 1510065 СССР, МКИ 4H03B19/00. Делитель частоты на два / М.М. Шахмаев, А.А. Алексеев (СССР). – № 4255179/24-09; Заявлено 02.06.87; Опубл. 23.09.89, Бюл. № 35. – 2 с. 4. А.с. 1229945 СССР, МКИ 4H03B19/00. Делитель частоты / В.Ф. Туник (СССР). – № 3817875/24-10; Заявлено 19.11.84; Опубл. 7.05.86, Бюл. № 17. – 2 с. 5. Радиоприемные устройства / В.Н. Банков, Л.Г. Барулин, М.И. Жодзинский и др.; Под ред. Л.Г. Барулина. – М.: Радио и связь, 1984. – 272 с. 6. Тимощук П.В. Синтез подільника частоти на два//Радіоелектроніка і телекомунікації. – 2000. – № 399. – С. 97–100. (Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка"). 7. Пат. 68901 А Україна, МПК 7H03B19/00. Подільник частоти синусоїдальних коливань у парну кількість разів / П.В. Тимощук, А.С. Григор'єв – № 20031110345; Заявл. 17.11.2003; Опубл. 16.08.2004. Бюл. № 8. – 2 с. 8. Справочник по нелинейным схемам. Проектирование устройств на базе аналоговых функциональных модулей и интегральных схем / Под ред. Д. Шейнгольда. – М.: Мир, 1977. – 528 с. 9. Калахан Д. Современный синтез цепей. – М.: Энергия, 1966. – 192 с. 10. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. – М.: Мир, 1982. – 512 с. 11. Радиоприемные устройства / Под ред. А.П. Жуковского. – М.: Высш. шк., 1989. – 344 с.