

ВИКОРИСТАННЯ СИНХРОННОГО ФІЛЬТРА У ВИДІЛЬНИКАХ ТАКТОВОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ

Д. т. н. І. П. Лісовий, В. М. Колчар

Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова
Україна, м. Одеса
vovakolchar@ukr.net

Показано, що в пристроях тактової синхронізації синхронний фільтр може бути використаний як слідкуючий. Виконано аналіз проходження сигналу тактової синхронізації через ідеалізовані синхронні фільтри та вплив частот, кратних частоті комутації синхронного фільтра.

Ключові слова: синхронний фільтр, пристрій тактової синхронізації, завадостійкість, фаза.

Надійна синхронізація цифрових систем передачі є основою їх нормального функціонування при об'єднанні з системами розподілу інформації в єдину телекомунікаційну мережу. У пристроях тактової синхронізації синхронний фільтр (СФ) не використовувався як слідкуючий у зв'язку з відсутністю розв'язання задачі проходження сигналу тактової синхронізації через СФ. Метою даної роботи було визначення умов, за яких є можливим застосування СФ у видільниках тактової синхронізації.

Синхронний фільтр є параметричною системою з напругою на виході [1]

$$\dot{U}_{\text{ВИХ}}(\omega) = \dot{K}(\omega) \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \dot{U}_{\text{ВХ}}(\omega - kN\omega_k); \quad \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \dot{U}_{\text{ВХ}}(\Omega + kN\omega_k) = \dot{U}_{\text{ВХ}}(\Omega) \left(\sum_{k=-\infty}^{+\infty} \dot{K}(\Omega + kN\omega_k) \right); \quad (1)$$

де $N = 3, 4, 5, \dots$ — кількість ємностей СФ; $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$; $\dot{K}(\omega)$ — комплексний коефіцієнт передачі СФ; ω — частота сигналу на вході СФ; Ω — частота його відхилення, ω_k — частота комутації СФ.

За умови обмеження спектру сигналу на вході та виході СФ частотою зрізу фільтрів низьких частот, що стоять на його вході та виході, згідно співвідношення

$$\Omega_{\text{ЗР}} < |k_{\text{min}}| N\omega_k / 2 \quad (2)$$

та виборі керуючих сигналів у вигляді послідовності прямокутних імпульсів з періодом T , амплітудою 1 та тривалістю T/N , при найменших можливих $k = +1$ і $N = 3$ із формули [1] отримуємо вираз для коефіцієнта передачі СФ

$$\dot{K}(\Omega) = \dot{G}(\Omega) + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\sin(\pi n / 3)}{\pi n / 3} \right)^2 \left[\dot{G}(\Omega + n\omega_k) + \dot{G}(\Omega - n\omega_k) \right], \quad (3)$$

де $\dot{G}(\omega)$ — коефіцієнт передавання напруги еквівалентного RC -чотириполосника.

З формули випливає, що СФ, який є лінійною системою, має два максимуми пропускання: поблизу нульової частоти відхилення $\Omega = 0$ та поблизу тактової частоти $\omega = \omega_k$, що дозволяє використовувати його на даній частоті як смуговий фільтр.

При використанні СФ як слідкуючих за детермінованою складовою тактового синхросигналу неможливо виконати умову (2) у зв'язку з нескінченністю спектра останнього, до того ж в його складі завжди знайдуться частоти, що не задовольняють умові (2) при будь-яких k і N . Тому доцільним є застосування синхронних фільтрів як гребінчастих для оптимального прийому сигналу тактової синхронізації [2].

Виконаємо оцінку можливості застосування СФ як слідкуючого за частотою сигналу тактової синхронізації.

Згідно з (1) та (3) виконано аналіз впливу частот $\omega \pm kN\omega_k$ на вході СФ на частоту ω на виході СФ та частот $\Omega \pm k\omega_k$ на виході СФ на частоту ω на виході СФ в робочій смузі пропускання.

Обидві задачі розв'язані для випадку надходження на вхід СФ сигналу тактової синхронізації за умови, що частота комутації СФ збігається з тактовою ($\omega_k = \omega_T$), а смуга пропускання на рівні

$0,707U_m$ дорівнює подвоєній частоті відхилення ($2\Delta\omega = 2\omega_B$).

Математична модель сигналу тактової синхронізації визначається співвідношенням [3]

$$U_{ВХ}(t) = U_m \sum_{\nu=-\infty}^{\infty} J_{\nu}(m) \cos(\omega_0 + \nu\Omega)t, \quad (4)$$

де $J_{\nu}(m)$ — функція Бесселя ν -го порядку від аргументу m ; $m = \omega_B / \Omega = f_D / F$ — індекс модуляції; $\omega_B = 2\pi f_B$ — відхилення тактової частоти; $\Omega = 2\pi F$ — частота відхилення; $\omega_T = 2\pi F_T$ — частота сигналу тактової синхронізації.

При цьому враховано, що в цифрових системах передачі смугу пропускання тракту кабель-коректор обмежують значенням тактової частоти, тоді $m \gg 1$ ($m = 10000$) та $f_T \gg f_D \gg F$ ($f_T / f_D = 10000$).

Аналіз отриманих результатів показав, що на частоті $\omega_T = \omega_k$ в спектрі вихідного сигналу при будь-яких значеннях K , N і будь-яких цілих значеннях m для виключення випадку $J_{\nu}(m) = 0$, що тягне за собою відсутність несучого колювання на частоті ω_T в спектрі вхідного сигналу, слід враховувати вплив або тільки парних складових, або парних чи непарних складових спектра вхідного сигналу. При цьому найбільший внесок, за інших рівних умов, будуть вносити відповідні коефіцієнтам парні складові, пропорційні значенням функцій Бесселя найменшого порядку.

Практична ширина смуги частот, у якій перебуває сигнал тактової синхронізації, з урахуванням фазового тремтіння при $m \gg 1$ дорівнює [3]

$$\Delta f_{СТС} \approx 2m\Omega = 2\omega_B. \quad (5)$$

Найбільший внесок у складові спектра вихідного сигналу вносять його спектральні складові при мінімальних значеннях N і m . Згідно з (1) напругу на виході СФ в обраній смузі пропускання можна представити у вигляді суми основної ($U_{ВХ.ОСН}(t)$) та додаткової ($U_{ВХ.ДОД}(t)$) складових вихідної напруги

$$U_{ВХ}(t) = U_{ВХ.ОСН}(t) + U_{ВХ.ДОД}(t).$$

Після виконання деяких математичних перетворень [4] остаточно знайдено, що

$$|U_{ВХ.ДОД}(t)| \leq 4m \sqrt{\frac{2}{\pi m(10N-1)}} \cdot \left[\frac{e}{2(10N-1)} \right]^{(10N-1)m} \cdot |U_m|. \quad (6)$$

З виразу (6) випливає, що для мінімально можливих значень кількості ємностей рівній трьом та індексу рівному одиниці найбільша з можливих оцінок додаткової складової вихідної напруги є нескінченно малою величиною.

Результати дослідження проходження сигналу тактової синхронізації через ідеалізовані синхронні фільтри підтверджують можливість їх використання у пристроях тактової синхронізації цифрових систем передачі.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Гольдгефтер В.И. Идеализированные многоканальные синхронно-фазовые фильтры с модуляторами напряжения или тока // В кн. «Отбор и передача информации», вып 18.— К.: Наукова думка, 1969.— С. 64–71.
2. Лейхтер Л.Е. Расчет гребенчатых фильтров-накопителей импульсных сигналов.— М.: Сов. радио, 1972.
3. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы.— М.: Высш. шк. 1988.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров (Определения, теоремы, формулы). — М.: Наука, 1984.

I. P. Lisovyi, V. M. Kolchar

Using of the synchronous filter in the extractor of clock synchronization

It is shown that in clock synchronization devices the synchronous filter can be used as a tracking filter. The authors analyzed the passage of the clock synchronization signal through idealized synchronous filters and the influence of frequencies multiple of the switching frequency o the synchronous filter.

Keywords: synchronous filter, clock synchronization device, immunity, phase.