

К.т.н., доцент Рудик А.В.

Національний університет водного господарства та природокористування
(Україна, м. Рівне)

ВПЛИВ ВИСОКОЧАСТОТНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ НА ФАЗОВІ ФЛУКТУАЦІЇ

Вимірювання стабільноті частоти прецизійних генераторів в часовій області відбувається при оцінці дисперсії двох вибірок флюктуації відповідної частоти, усереднених за даний часовий інтервал. Усереднену частоту визначають за допомогою різних методів та пристройів, однак найчастіше досліджуваний сигнал проходить через фільтр, який включений на вході лічильника [1].

Розглянемо вплив високочастотної фільтрації на флюктуацію фази сигналу досліджуваного генератора.

В загальному вигляді співвідношення для вихідного сигналу генератора

$$S(t) = A[1 + \varepsilon(t)]\cos(2\pi f_0 t + \psi(t) + \theta), \quad (1)$$

де A – середня амплітуда сигналу; $\varepsilon(t)$ – відносна флюктуація амплітуди; f_0 – середня частота; $\psi(t)$ – флюктуація фази; θ – рівномірно розподілена стала випадкова початкова фаза.

Для аналізу покладемо, що два випадкових процеси з нульовими середніми значеннями $\varepsilon(t)$ та $\psi(t)$ некорельовані, стаціонарні та неперервні (в середньо-квадратичному) [2]. Сигнал такого типу проходить через лінійний стабільний фільтр з дійсною імпульсною характеристикою $g(t)$ та передавальною функцією $K(f)$, що задовольняє співвідношення $K(-f) = K^*(f)$, де символ $*$ означає комплексно-спряжену величину.

Вхідний сигнал фільтра (вихідний сигнал генератора) запишемо як $S(t) = \frac{1}{2} \left[\tilde{S}(t) + \tilde{S}^*(t) \right]$, де

$$\tilde{S}(t) = e^{ln A + ln[1+\varepsilon(t)] + j2\pi f_0 t + j\psi(t) + j\theta}. \quad (2)$$

Усталене значення вихідного сигналу є згорткою вхідного сигналу та імпульсної характеристики фільтра, тобто $S_0(t) = \int_0^\infty g(\tau)S(t-\tau)d\tau$. В цьому випад-

ку відфільтрований сигнал $S_0(t) = \frac{1}{2} \left[\tilde{S}_0(t) + \tilde{S}_0^*(t) \right]$, де $\tilde{S}_0(t) = \int_0^\infty g(\tau)\tilde{S}(t-\tau)d\tau$.

Підставивши співвідношення (2) до останнього виразу, отримаємо

$$\tilde{S}_0(t) = e^{\ln A + j2\pi f_0 t + j\theta} \int_0^\infty g(\tau) e^{-j2\pi f_0 \tau} e^{\ln[1+\varepsilon(t-\tau)] + j\psi(t-\tau)} d\tau$$

або $\tilde{S}_0(t) = e^{\ln A_0 + \ln[1+\varepsilon_0(t)] + j2\pi f_0 t + j\psi_0(t) + j\theta_0}$, де параметри мають такі самі позначення, що і в співвідношенні (1), при цьому $A_0 = A \cdot e^{-\alpha_0}$; $\theta_0 = \theta - \beta_0$; $K(f_0) = e^{-\alpha_0 - j\beta_0}$.

Флуктуації амплітуди та фази вихідного та вхідного сигналів в даному випадку зв'язані співвідношенням [2]:

$$\ln[1 + \varepsilon_0(t)] + j\psi_0(t) = \ln \left[\frac{1}{K(f_0)} \int_0^\infty g(\tau) e^{-j2\pi f_0 \tau} e^{\ln[1+\varepsilon(t-\tau)] + j\psi(t-\tau)} d\tau \right].$$

Дійсна та уявна частини останнього співвідношення визначають відповідно флуктуації амплітуди та фази відфільтрованого сигналу.

Для прецизійних генераторів відповідні математичні очікування $E\{\varepsilon^2(t)\} \ll 1$, $E\{\psi^2(t)\} \ll 1 \text{ рад}^2$. В цьому випадку

$$\varepsilon_0(t) + j\psi_0(t) = \frac{1}{K(f_0)} \int_0^\infty g(\tau) e^{-j2\pi f_0 \tau} [\varepsilon(t-\tau) + j\psi(t-\tau)] d\tau. \quad (3)$$

Співвідношення (3) характеризує вплив фільтра на флуктуації фази та амплітуди відфільтрованого сигналу. Флуктуація фази на виході фільтра

$$\psi_0(t) = e^{\alpha_0} \int_0^\infty g(\tau) [\psi(t-\tau) \cos(2\pi f_0 \tau - \beta_0) - \varepsilon(t-\tau) \sin(2\pi f_0 \tau - \beta_0)] d\tau.$$

Спектральну густину флуктуацій можна отримати за допомогою перетворення Фур'є для кореляційної функції $S_{\psi_0}(f) = |H_A(f)|^2 S_\varepsilon(f) + |H_P(f)|^2 S_\psi(f)$, де

$$|H_A(f)|^2 = \frac{1}{4} \left| \frac{K(f + f_0)}{K(f_0)} - \frac{K^*(f_0 - f)}{K^*(f_0)} \right|^2; \quad |H_P(f)|^2 = \frac{1}{4} \left| \frac{K(f + f_0)}{K(f_0)} + \frac{K^*(f_0 - f)}{K^*(f_0)} \right|^2.$$

Таким чином, і амплітудна, і фазова флуктуації вхідного сигналу фільтра впливають на фазові флуктуації відфільтрованого сигналу. Еквівалентна передавальна функція $H_A(f)$, що характеризує вплив амплітуди вхідного сигналу, відповідає симетричній частині передавальної функції фільтра відносно середньої частоти сигналу, а еквівалентна передавальна функція $H_P(f)$, що характеризує вплив фази вхідного сигналу, відповідає його несиметричній частині. Таким чином, для фільтра, симетричного відносно середньої частоти сигналу, флуктуації амплітуди вхідного сигналу не впливають на флуктуації фази вихідного сигналу. В цьому випадку реальну передавальну функцію будь-якого фі-

льтра можна замінити еквівалентною передавальною функцією, яка визначає фазові флуктуації відфільтрованого сигналу.

Дисперсія Алена пов'язана з односмуговою спектральною густину флуктуації фази таким співвідношенням [2]:

$$\sigma_y^2(2, \tau) = \frac{2}{(\pi \tau f_0)^2} \int_0^\infty S_{\psi_0}(f) \sin^4(\pi \tau f) df. \quad (4)$$

Спектральну густину фазових флуктуацій для практичних розрахунків прийнято представляти поліномом, що складається з п'яти членів, які обумовлюють ці флуктуації: модуляції фази білим та фліккер-шумами відповідають члени поліному з f^0 та f^{-1} , модуляції частоти цими самими шумами відповідають члени поліному з f^{-2} та f^{-3} , а модуляції через випадкові варіації частоти – член поліному з f^{-4} . На практиці обмежуються аналізом лише першого випадку, тому що він практично завжди спостерігається при вимірюваннях коротко-часної стабільності частоти, при цьому величина відповідної дисперсії Алена залежить від форми АЧХ фільтра для будь-якого інтервалу усереднення.

Література:

1. Колтик Е.Д. Фазосдвигющие устройства. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 164 с.
2. Буйнявичус В.-А. В., Карпицкайте В.-З. Ф., Пятрикис С.-Р. С. Статистические методы в радиоизмерениях. – М.: Радио и связь, 1985. – 240 с.

Желонкин А.И., д.т.н.

Московский государственный открытый университет, Россия

МОЛЕКУЛЯРНОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ В СИСТЕМАХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Большую роль в развитии средств передачи и обработки информации играют локальные и глобальные сети. Существующие системы обеспечивают высокую пропускную способность при передаче информации. Однако, в области специальной информации, необходимость в которой постоянно расширяется, требуются разработки систем с новыми функциональными возможностями съема информации, адаптации и развития современных технологий ее передачи и обработки.

Наиболее развитые направления первичного преобразования сигналов, использующие физические процессы твердого тела, удовлетворяют многим задачам. Требования к расширению областей изучения и измерения различных естественных и искусственных процессов выдвигают задачи по расширению функциональ-