

## МЕТОДИ І ЗАСОБИ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

УДК 621.317

### РОЗПОДІЛ ПІДСИЛЕННЯ МІЖ КАНАЛАМИ НЕСУЧОЇ ТА ОБВІДНОЇ У НИЗЬКОЧАСТОТНИХ ЗАСОБАХ ВИМІРЮВАННЯ З ПЕРІОДИЧНИМ ПОРІВНЯННЯМ

© Бучма І.М., Березок Б.М., 2003

Національний університет "Львівська політехніка"

**Показано, що в засобах вимірювання з періодичним порівнянням при такому співвідношенні частот сигналів  $\omega$  і комутації  $\Omega$ , що  $\Omega \gg \omega$ , доцільно все підсилення зосередити в каналі несучої частоти**

Обстеження корозійного стану сталевих листових конструкцій нафтоналивних резервуарів, мостів, кораблів, елементів укриття в радіаційній зоні можна здійснювати за допомогою безконтактних електромагнітних товщиномірів. Такі товщиноміри будуються за двочастотною схемою. Вимоги до метрологічних параметрів низькочастотного каналу значно вищі, ніж до високочастотного каналу. Особливо високими є вимоги до порогу чутливості, який визначається схемою порівняння амплітуд двох сигналів. Тому низькочастотний канал звичайно будують використовуючи метод періодичного порівняння. В низькочастотних засобах вимірювання з періодичним порівнянням поріг чутливості визначається флікер-шумом [1,2]. Флікер-шум діє в каналах несучої і обвідної частот. Для зменшення впливу флікер-шуму використовують різні методи. Серед них ефективним є метод вибору частоти комутації набагато вищої, ніж частота порівнюваних сигналів, тобто  $\Omega \gg \omega$ . Тут будемо вирішувати задачу розподілу загального коефіцієнту підсилення між каналами несучої  $\omega$  та обвідної  $\Omega$  частот при  $\Omega \gg \omega$ , щоб не було переважаючого впливу шуму в одному з цих каналів.

Питанню зменшення впливу шуму, зокрема, флікер-шуму в засобах вимірювання з періодичним порівнянням сигналів присвячено багато робіт [2-6]. З цієї точки зору задача оптимального розподілу загального коефіцієнту підсилення між каналами несучої і обвідної частот не розглядалася.

Розгляд і вирішення задачі розподілу коефіцієнту підсилення між каналами несучої і обвідної частот при  $\Omega \gg \omega$  є важливим і актуальним, оскільки має на меті забезпечити приблизно одного порядку вплив шумів в каналах несучої та обвідної частот на результат вимірювання, а це сприятиме зменшенню порогу чутливості.

При періодичному порівнянні з круговою частотою  $\Omega$ , набагато вищою від кругової частоти  $\omega$  порівнюваних сигналів, вплив флікер-шуму в каналі несучої частоти можна зменшити вибором кругової частоти комутації  $\Omega$ . Так, вибравши частоту комутації  $F_k$  вищою від частоти спряження  $f_0$  (частота рівності спектральних густин потужності білого шуму і флікер-шуму), вплив флікер-шуму в каналі несучої частоти  $f$  можна звести до рівня меншого ніж вплив білого шуму [2,7].

Вираз для квадрату модуля частотної характеристики каналу, що складається з послідовно ввімкнених селективного підсилювача (СП) та синхронного детектора (СД), а саме таким є канал несучої частоти, має такий вигляд [2,7]:

$$|K(\omega_r + D\omega)|^2 = \frac{4}{p^2} \frac{K_k^2}{1 + \frac{1}{4} \left( \frac{2D\omega}{\omega_r} Q \right)^4}, \quad (1)$$

де  $K_k$  – максимальне значення коефіцієнту підсилення каналу на резонансній частоті  $\omega_r$ ;  $D\omega = (\omega - \omega_r)$  – різниця між біжучим значенням частоти і частотою резонансу;  $Q$  – добротність СП, що дорівнює добротності СД.

Отже, можна вважати, що канал несучої частоти, який складається з послідовно ввімкнених СП і СД, є вузькосмуговим фільтром з центральною частотою пропускання  $\Omega_k$  і енергетичною смугою пропускання  $\Omega_k / 4\sqrt{2}Q_n$ , в межах якої частотна характеристика фільтру рівномірна і дорівнює  $K_n$ . Тут  $Q_n$  – добротність каналу несучої частоти.

Якщо виконується умова, що  $F_k > f_0$ , на виході

каналу несучої частоти буде переважати вплив білого шуму. Його спектральна густина потужності на виході каналу несучої частоти дорівнюватиме  $G_0 K_n^2$ , де  $G_0$  – спектральна густина потужності білого шуму. Спектральна густина потужності цієї частини білого шуму на виході каналу обвідної відповідно буде такою:

$$G_0 K_n^2 K_o^2 / \pi^2 \left( \frac{\Delta f}{f_r} Q_o \right)^4,$$

де  $Q_o$  – добротність каналу обвідної частоти;  $\Delta f = f - f_r$  – різниця між біжучим значенням частоти і резонансною частотою каналу обвідної  $f_r$ , що дорівнює частоті порівнюваних сигналів  $f_s$ .

Тобто, дисперсію цієї частини шуму, що пройшов на вхід каналу обвідної частоти з виходу каналу несучої частоти, на виході каналу обвідної можна подати так [2]:

$$y_o^2 = \frac{G_0 K_n^2}{2\sqrt{2}p^3 T_n} \cdot \frac{K_o^2}{p^2 \left( \frac{\Delta f}{f_r} Q \right)^4}, \quad (2)$$

де  $T_n$  – стала часу фільтра нижніх частот (ФНЧ) на виході СД каналу несучої частоти.

Враховуючи те, що біжуче значення частоти  $f$  змінюється тільки в межах частоти пропускання каналу несучої частоти, а тому завжди залишається набагато більшим, ніж резонансна частота каналу обвідної, тобто  $f \gg f_r$ , дисперсію (2) можна вважати малою і нею можна нехтувати.

Тепер знайдемо дисперсію фліккер-шуму на виході каналу обвідної частоти  $f_s$ . При цьому приймемо, що спектральна густина потужності фліккер-шуму в смузі пропускання каналу обвідної частоти рівномірна і дорівнює  $G_o f_o / f_s$ . Канал обвідної частоти, як і канал несучої частоти, представляє собою послідовне ввімкнення СП і СД. Також будемо вважати, що канал обвідної частоти є ідеальним вузько-смуговим фільтром з резонансною частотою пропускання  $f_s$  і енергетичною смугою пропускання  $u_s / 4\sqrt{2}Q_o$ , в межах якої частотна характеристика каналу рівномірна і дорівнює  $K_o$ . На підставі [2] вираз для дисперсії фліккер-шуму на виході каналу обвідної частоти буде мати вигляд:

$$y_{коф}^2 = \frac{G_o f_o K_o^2}{f_s 2\sqrt{2}p^3 T_o}, \quad (3)$$

де  $T_o$  – стала часу ФНЧ на виході СД каналу обвідної

частоти.

Вираз (3) буде визначати дисперсію шуму на виході каналу обвідної частоти.

З останнього виразу видно, що значення дисперсії фліккер-шуму в каналі обвідної частоти є значно більшим, ніж значення дисперсії білого шуму (2), що пройшов через канал несучої і обвідної частот.

Для зменшення впливу фліккер-шуму, що діє в каналі обвідної частоти, доцільно вибирати коефіцієнт підсилення каналу обвідної частоти по можливості мінімальним, а все необхідне для забезпечення чутливості підсилення зосередити в каналі несучої частоти.

Якщо забезпечити необхідну чутливість тільки підсиленням сигналу в каналі несучої частоти неможливо, то в цьому випадку доцільно на виході каналу обвідної частоти використати підсилювач постійного струму типу М-ДМ [8], який дозволить зменшити вплив фліккер-шуму і довести підсилення до необхідного. Звичайно, що це приведе до деякого ускладнення реалізації засобу вимірювання.

1. Бучма І.М., Бучма О.І., Столярчук П.Г. Про можливості вимірювання товщини феромагнітних матеріалів методом вихрових струмів // *Автоматика, вимірювання та керування.* – 1994. – N 283. – С.21 – 24.
2. Бучма І., Вжушчак М. Вплив фліккер-шуму в тракті несучої частоти каналу товщиноміра сталевих листових конструкцій. *Методи та прилади контролю якості.* – 2003. – №11. – С.34 – 39.
3. Ниженский А.Д. Влияние фликкер-шума на разрешающую способность измерительных устройств периодического преобразования // *Проблемы технической электродинамики.* – 1978. – Вып.65. – С.98 – 101.
4. Жукинский И.Н. Низкочастотные шумы в электроизмерительных приборах периодического сравнения // *Техническая электродинамика.* – 1980. – №1. – С.100 – 104.
5. Бучма І. М. Вплив фліккер-шуму на схеми з періодичним порівнянням змінних сигналів // *Вісник ДУ "ЛП". Автоматика, вимірювання та керування.* – 1998. – №348. – С.76 – 81.
6. Скрипник Ю.О., Яненко О.П. Шляхи зниження флуктуаційного порогу чутливості вимірювачів слабких сигналів // *Автоматика, вимірювання та керування.* – 2001. – №420. – С.20 – 27.
7. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах.–Л.: Энергия, 1980. – 247с.
8. Бучма І.М. Структурні методи покращення параметрів підсилювачів постійного струму типу М-ДМ з автоматичною корекцією дрейфу нуля. *Автоматика, вимірювання та керування.* – 2003. – №475. – С. 72 – 76.