

ВПЛИВ ПОХИБКИ АНАЛОГОВОГО ПЕРЕМНОЖУВАЧА НА ТОЧНІСТЬ ПІДСИЛЮВАЧА-КОРЕЛЯТОРА

© Наталія Біцаник, Оксана Вітер, Юрій Вітер, 2000

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра “Метрологія, стандартизація та сертифікація”, кафедра “Електронно-обчислювальні машини”, вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Проаналізовано вплив похибки аналогового перемножувача напруг на точність підсилювача-корелятора Шора-Вільямсона, отримано розрахункові співвідношення, наведено рекомендації щодо регулювання підсилювача-корелятора.

Проведен анализ влияния погрешности аналогового перемножителя напряжений на точность усилителя-коррелятора Шора-Вильямсона, получены расчетные соотношения, приведены рекомендации по регулировке усилителя-коррелятора.

Analog multiplier's error influence on the accuracy of Shor-Williamson amplifier-correlator is analyzed in this paper. The calculating formulas and the recommendation for alignment of amplifier-correlator are presented.

Підсилювач-корелятор Шора-Вільямсона [1] – пристрій для визначення середнього квадрата вхідної напруги, який використовується для підсилення та кореляційної обробки змінних напруг низьких рівнів при створенні шумових термометрів, вимірювачів потужності тощо.

Схему підсилювача-корелятора (ПК) наведено на рисунку, де А1, А2 – підсилювачі змінного струму з ідентичними характеристиками; $k_{П1} = k_{П2} = k_{П}$ – коефіцієнти підсилення підсилювачів А1 та А2; Δf – смуга пропускання А1, А2; $U_{ш1}(t)$, $U_{ш2}(t)$ – напруги власних шумів А1, А2; $U_{ш1} = U_{ш2} = U_{ш}$ – діючі значення напруг власних шумів підсилювачів А1, А2 в смузі Δf ; З – аналоговий перемножувач напруг (АПН); INT – інтегратор; $U_1(t) = U_{1a} \sin(2\pi t/T)$ – вхідна напруга під-

силювача-корелятора; U_{1a} , $U_1 = U_{1a} / \sqrt{2}$, T – амплітуда, діюче значення та період вхідної напруги.

Оскільки АПН реалізує залежність

$$W = Z + XY, \tag{1}$$

то функція перетворення підсилювача-корелятора має вигляд

$$U_2 = \frac{1}{mT} \int_0^{mT} W(X, Y, Z) dt = \frac{1}{mT} \int_0^{mT} (Z + XY) dt. \tag{2}$$

Прийнявши

$$X = k_{П} U_{1a} \sin(2\pi t/T) + U_{ш1}(t) \tag{3}$$

$$Y = k_{П} U_{1a} \sin(2\pi t/T) + U_{ш2}(t) \tag{4}$$

отримаємо, як показано в [1],

$$U_2 = k_n^2 \left(\frac{U_{1a}}{2} \right)^2 + k_n^2 U_{ш1} U_{ш2} + Z = k_n^2 (U_1^2 + U_{ш}^2) + Z. \tag{5}$$

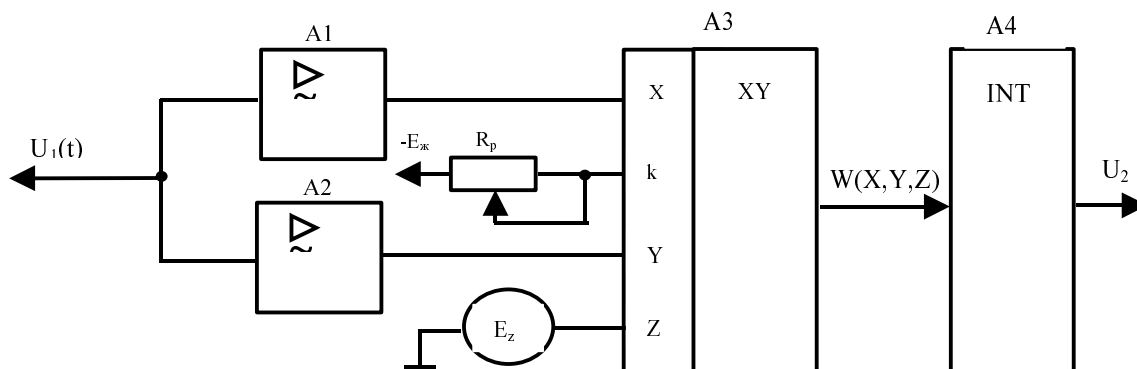


Схема підсилювача-корелятора

Зведена похибка підсилювача-корелятора, викликана власними шумами підсилювачів А1, А2 (при Z=0)

$$\delta_{ш} = \frac{U_2 - U_{2ид}}{U_{2ид\max}} = \frac{k_n^2 U_1^2 + k_n^2 U_m^2 - k_n^2 U_1^2}{k_n^2 U_{1\max}^2} = \left(\frac{U_m}{U_{1\max}} \right)^2 \quad (6)$$

буде незначною, оскільки вона є квадратом відношення шум-сигнал. Зокрема, якщо $U_m/U_{1\max}=0.1$, то $\delta_{ш}=0.01$. Під'єднавши до входу Z АПН регульоване джерело компенсуючої напруги $E_z=Z=-k_n U_m^2$ (рис.1), отримаємо з (5)

$$U_2 = k_n^2 U_1^2 = U_{2ид} \quad (7)$$

що свідчить про усунення впливу шумів підсилювачів А1, А2. Тому при подальшому розгляді вважатимемо, що

$$U_{m1}=U_{m2}=0, m=1, X=Y=U_{1a}\sin(2\pi t/T) \quad (8)$$

При цьому (2) набуває вигляду

$$U_2 = \frac{1}{T} \int_0^T W_1(X, Z) dt. \quad (9)$$

Для реального АПН, що працює в режимі квадратора, функція перетворення (1) може бути представлена степеневим рядом [2].

$W_1(X, Z) = Z + A_0 + A_1 X + A_2 X^2 + A_3 X^3 + A_4 X^4 + \dots$, (10) де A_0 – вихідна напруга зміщення нуля АПН, A_2 – масштабний коефіцієнт АПН.

Для спрощення подальших викладок обмежимося членами розкладу в ряд (10) до четвертого порядку включно та приймемо $A_2 = 1[1/B]$, діапазон зміни вхідної напруги підсилювача корелятора $U_1(t)$ таким, що дорівнює $\pm(0\dots 1/k_n)$ [В], а також вважатимемо, що коефіцієнти степеневого ряду (10)

$$A_0, A_1, A_3, A_4 \ll 1.$$

Підставивши (10) у (9), отримаємо

$$U_2 = \frac{1}{T} \int_0^T (Z + A_0 + \sum_{i=1}^4 A_i (k_n^i U_{1a}^i \sin^i(2\pi t/T))) dt, \quad (11)$$

Після інтегрування

$$U_2 = Z + A_0 + 0.5A_2 k_n^2 U_{1a}^2 + 0.375A_4 k_n^4 U_{1a}^4. \quad (12)$$

Вибравши в (12) напругу компенсуючого джерела $E_z = Z = -A_0$, отримаємо

$$U_2 = 0.5k_n^2 U_{1a}^2 (A_2 + 0.75A_4 k_n^2 U_{1a}^2). \quad (13)$$

Далі виконаємо калібрування підсилювача-корелятора при $U_{1amax} = 1/k_n$ [В] (100% шкали), встановивши за допомогою регульованого резистора R_p масштабний коефіцієнт

$$A_2 = 1 - 0.75A_4, \quad (14)$$

довівши тим самим вихідну напругу U_2 до зразкового рівня $U_{2ид\max} = 0.5$ В. Тоді з (13), після підставлення в нього (14), отримаємо:

$$U_2 = 0.5k_n^2 U_{1a}^2 (1 - 0.75A_4 + 0.75A_4 k_n^2 U_{1a}^2). \quad (15)$$

Зведена похибка вихідної напруги U_2 з врахуванням (15) та (7) становить

$$\delta = \frac{|U_2 - U_{2ид}|}{U_{2ид\max}} = \frac{|U_2 - U_{2ид}|}{0.5} = 0.75|A_4| (k_n^4 U_{1a}^4 - k_n^2 U_{1a}^2). \quad (16)$$

Аналіз показує, що зведена похибка перетворення (16) має максимум, який можна знайти, розв'язавши рівняння

$$\frac{\partial \delta}{\partial U_{1a}} = 0.75|A_4| (4k_n^4 U_{1a}^3 - 2k_n^2 U_{1a}) = 0 \quad (17)$$

звідки

$$U_{1a} = \sqrt{0.5} / k_n \quad (18)$$

Основна похибка перетворення, отримана підставленням (18) в (16), дорівнює

$$\delta_{01} = \delta_{\max} = 0.19|A_4|. \quad (19)$$

Якщо припустити, що похибка перемноження АПН – ϵ викликається лише членом четвертого порядку – $A_4 X^4$ присутнім в (10), тобто

$$|A_4| \leq \epsilon, \quad (20)$$

то

$$\delta_{01} = 0.19\epsilon. \quad (21)$$

Експериментальні дослідження, проведені нами, показали, що $|A_4| \leq 0.25\epsilon$. Це підтверджує припущення (20).

Можна показати також, що калібрування підсилювача-корелятора при $U_{1m} = 0.8/k_n$ [В], в точці, яка відповідає 80% шкали, знижує основну похибку до рівня

$$\delta_{02} = 0.14|A_4| = 0.14\epsilon. \quad (22)$$

У разі застосування у складі підсилювача-корелятора АПН типу AD734В з похибкою перемноження $\epsilon = 0.25\%$ [3] та введенні двох регулювань (E_z, R_p), основна похибка перетворення, зумовлена похибкою АПН відповідно до (21) не перевищуватиме

$$\delta_{01} = 0.19 \cdot 0.25\% = 0.048\%, \quad (23)$$

якщо калібрування здійснюється при $U_{1amax} = 1/k_n$ [В], або

$$\delta_{02} = 0.14 \cdot 0.25\% = 0.035\%, \quad (24)$$

якщо калібрування проводиться при $U_{1amax} = 0.8/k_n$ [В]. Якщо, δ_{01} або δ_{02} перевищують допустимий рівень, можна скористатися методом аналого-цифрової корекції похибки АПН, описаним в [4].

1. Саватеев А.В. Шумовая термометрия. Л., 1987.

2. Чайківський О.І. Структурні методи підвищення точності аналогових помножувальних пристроїв // Автоматика. 1977. №2. 3. Design-in reference manual. Analog Devices, 1996. 4. Вітер О.Ю., Столярчук П.Г. Особливості застосування аналогових перемножувачів напруг у шумових термометрах // Вісник ДУ "Львівська політехніка", 1996. № 305. С.25-29.