

УДК 621.317

І. М. Бучма, д. т. н., проф.;

К. В. Ферчук, асп.

## ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕТОДУ КОМПЕНСАЦІЇ ВПЛИВУ ФЛІКЕР-ШУМУ В НИЗЬКОЧАСТОТНОМУ КАНАЛІ ВИХРОСТРУМОВОГО ВИМІРЮВАЧА ТОВЩИН СТАЛЕВИХ ЛИСТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ

*Промодельовано вплив флікер-шуму в низькочастотному тракті вихрострумowego вимірювача товщин сталевих листових конструкцій без компенсаційного каналу та з компенсаційним каналом. Оцінено вплив компенсаційного каналу. Вказано можливість подальшого вдосконалення тракту.*

Часто виникає необхідність вимірювати товщини сталевих листових конструкцій з одностороннім доступом, наприклад цистерн, резервуарів, мостів. Для цього найперспективнішим є безконтактний вихрострумний метод вимірювання [1]. Зменшення робочої частоти дозволяє розширити діапазон вимірювання, так при робочій частоті 5 Гц максимальна товщина вимірювання досягає 2—3 мм [2—3]. Але в цьому випадку збільшується вплив флікер-шуму. Так у товщиномірі описаному в [1, 4—5], що належить до засобів вимірювання з періодичним порівнянням, використання робочої частоти 1 Гц дозволяє вимірювати товщину сталевих листів до 12 мм, поріг чутливості при цьому складає 1,5—2 мм. Тобто при номінальній товщині сталі 10 мм похибка складає 15—20 %. Бажано, щоб вона була меншою, ніж 5 %.

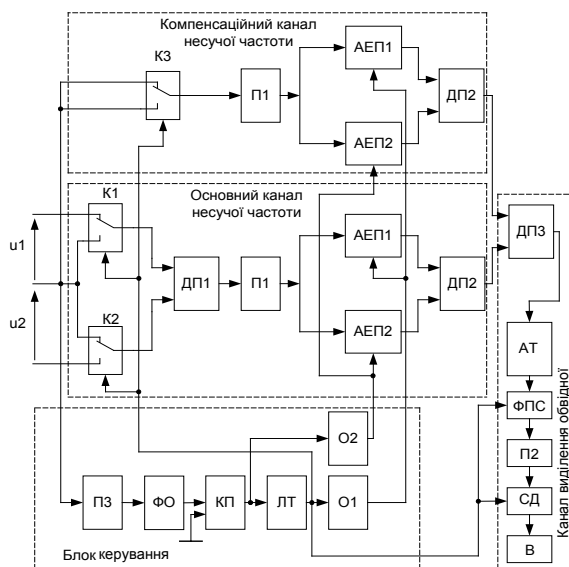


Рис. 1. Структурна схема низькочастотного каналу вихрострумowego вимірювача товщин сталевих листових матеріалів з компенсаційним каналом

Відомо декілька методів зменшення впливу флікер-шуму в засобах вимірювання з періодичним порівнянням. Серед них заслуговує на увагу метод компенсаційного каналу, що застосовується в модифікованій схемі товщиноміра [5]. Цей метод давно використовується в засобах вимірювання з періодичним порівнянням і дозволяє знизити поріг чутливості приблизно на порядок [6]. Вимірювач товщин сталевих листових матеріалів відрізняється від класичних засобів вимірювання з періодичним порівнянням малим співвідношенням робочої частоти і частоти керування, низькою робочою частотою, наявністю детектора на елементах пам'яті. Тому ефект від використання компенсаційного каналу в даному випадку не є очевидним. Структурна схема низькочастотного каналу товщиноміра з компенсаційним каналом наведена на рис. 1 [4—5]. На схемі використані такі позначення: К1, К2, К3 — комутатори, ДП1, ДП2, ДП3 — диференціальні підсилювачі, П1, П2, П3,

П4 — підсилювачі, АЕП1, АЕП2 — аналогові елементи пам'яті, ФО — фазообертач, КП — компаратор, ЛТ — лічильний тригер, О1, О2 — одинвібратори, АТ — атенюатор, ФПС-фільтр, що виділяє сигнал прямокутної форми, СД — синхронний детектор, В — вольтметр. Вона містить три канали: 1) основний канал несучої частоти, що складається з модулятора, до складу якого входять комутатори К1, К2 і диференціальний підсилювач ДП1, підсилювача П1, аналогових елементів пам'яті АЕП1, АЕП2 та диференціального підсилювача ДП2; 2) компенсаційний канал несучої частоти, що за своєю структурою є ідентичним до основного каналу за винятком того, що тут роль модулятора виконує комутатор К3; 3) канал виділення обвідної, до складу якого входять диференціальний підсилювач ДП3, атенюатор АТ, фільтр сигналу прямокутної форми ФПС, підсилювач П2, синхронний детектор СД, вольтметр В. Також до складу схеми входить блок керування, що складається з підсилювача П3, фазообертача ФО, компаратора КП, лічильного тригера ЛТ та двох одинвібраторів О1, О2.

Дослідження впливу флікер-шуму на таку структуру здійснювалося шляхом комп'ютерного моделювання в середовищі Simulink. Досягнення результатів комп'ютерного моделювання схеми з відключеним компенсаційним каналом аналогічних результатам фізичного моделювання цієї схеми, що відомі з [1], дозволило стверджувати, що результати комп'ютерного моделювання і схеми з компенсаційним каналом відповідають дійсності.

Модель електричної частини низькочастотного каналу вимірювача будується у відповідності до його структури (рис. 1). Моделі більшості елементів схеми є в бібліотеці Simulink і їх реалізація не викликає труднощів. Моделі деяких елементів в бібліотеці Simulink відсутні, тому їх реалізація є більш складною.

Флікер-шум моделювався в діапазоні частот 0,000316 — 1000 Гц.

Джерело флікер-шуму збудоване на основі джерела білого шуму шляхом пропускання білого шуму через ланку з передатною функцією [7]

$$W(s) = K \frac{(T_2s + 1)(T_4s + 1) \dots (T_ms + 1)}{(T_1s + 1)(T_3s + 1) \dots (T_ns + 1)} \quad (1)$$

Коефіцієнт  $K$  визначається за формулою [7]

$$K = 10^{(20 \lg \sqrt{f_0/f_n} - 5/d)/20}, \quad (2)$$

де  $f_n = 0,000316$  Гц — нижня частота діапазону моделювання флікер-шуму,  $f_0 = 1000$  Гц — частота спряження білого і флікер-шуму,  $d$  — кількість ділянок апроксимації передатної функції на декаду (як показано в [7] достатньо мати 4 ділянки на декаду), тоді  $K = 1540$ . Виходячи з нижньої частоти і кількості ділянок на декаду за формулами

$$T_1 = 1 / (2\pi f_n \cdot 10^{1/d}); \quad (3)$$

$$T_{k+1} = T_k / 10^{1/d} \quad (4)$$

визначено, що  $T_1 = 283$  с,  $T_2 = 159$  с,  $T_3 = 89$  с,  $T_4 = 50$  с,  $T_5 = 28,3$  с і т. д.

Частота дискретизації при моделюванні вибрана 2000 Гц. При відсиметрованих вхідних напругах (за відсутності об'єкта вимірювання) та відключеному компенсаційному каналі спектральна густина потужності білого шуму вибирається такою, щоб пікове значення вихідної напруги вимірювача, обумовлене флікер-шумом, сягало  $\pm 0,08$  В, як при фізичному моделюванні [1]. Таким чином при моделюванні спектральна густина потужності білого шуму визначена на рівні  $3,9 \cdot 10^{-12}$  Вт/Гц.

Результати моделювання вихідної напруги товщиноміра з компенсаційним каналом показані на рис. 2. Розглянуті практичні випадки, коли коефіцієнт передачі компенсаційного каналу на 10 % більший коефіцієнта передачі основного каналу (рис. 2а) і на 10 % менший коефіцієнта передачі основного каналу (рис. 2б). В цих випадках амплітуда вихідної напруги вимірювача, обумовлена флікер-шумом, складає приблизно 0,007—0,009 В, тобто зменшується приблизно на порядок, як і у класичних засобах вимірювання з періодичним порівнянням.

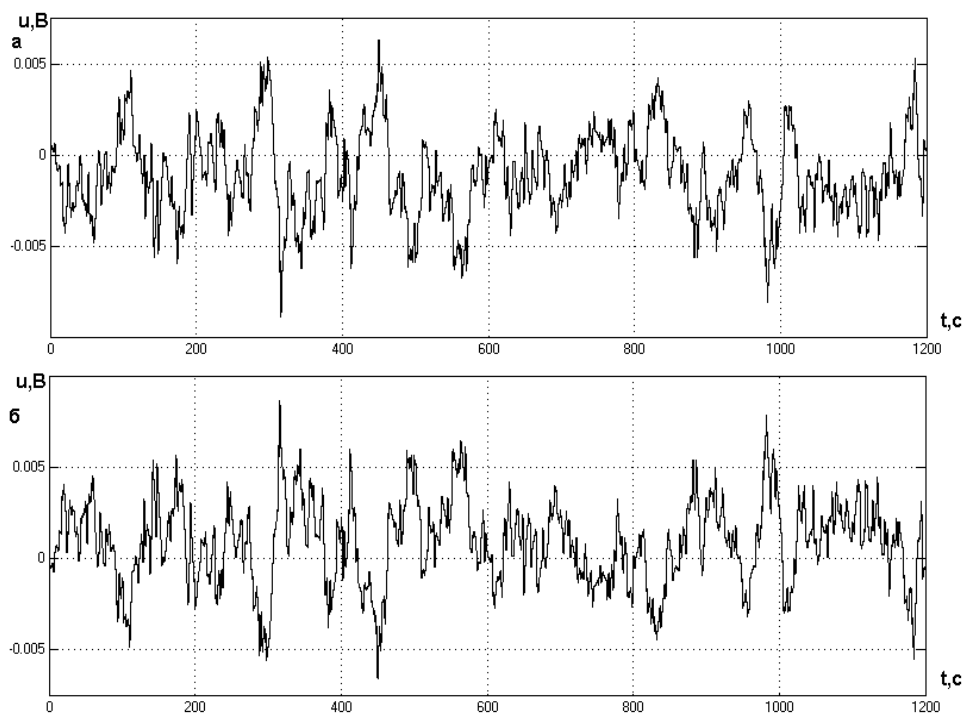


Рис. 2. Моделювання вихідної напруги вимірювача з компенсаційним каналом, коефіцієнт передачі якого а) на 10 % більший коефіцієнта передачі основного каналу, б) на 10 % менший коефіцієнта передачі основного каналу

Отже використання компенсаційного каналу у низькочастотному каналі вихрострумowego товщиноміра дозволяє знизити вплив флікер-шуму на виході схеми приблизно на порядок і таким чином вирішує задачу зменшення порогу чутливості до допустимих значень.

Подальше вдосконалення низькочастотного каналу вихрострумowego вимірювача товщин сталевих листових конструкцій може бути пов'язане з використанням підвищеної частоти комутації [8].

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бучма І. М., Бучма О. І., Столярчук П. Г. Про можливості вимірювання товщин феромагнітних матеріалів методом вихрових струмів // Автоматика, вимірювання та керування. — 1994. — № 283. — С. 21—24.
2. Yamada T., Suzuki I. Спосіб та електромагнітний пристрій для вимірювання товщини пластини. A=Trans. Jst. Electron. Ins. and Commun. Eng. Jap. A. — 1988. V. 71. P. 1458—1460.
3. Yamada T., Suzuki I. Електромагнітний товщиномір. Trans. Sos. Instrum. and Coatr Eng. — 1991. — Vol. 27, № 2. — P. 133—140.
4. Бучма І. М., Бучма О. І. Похибки модуляції сигналів параметричного вихрострумowego перетворювача // Автоматика, вимірювання та керування. — 1998. — № 324. — С. 92—97.
5. Бучма І. М. Диференціальний вимірювач різниці амплітуд інфранизкочастотних гармонічних сигналів з періодичним порівнянням // Відбір і обробка інформації. Міжвідомчий збірник наук. праць НАН України, фіз.-мех. інститут ім. Г. В. Карпенка. — 2000. — Вип. 14 (90). — С. 87—90.
6. Жукинский И. Н. Методы повышения разрешающей способности дифференциально-нулевых индикаторов периодического сравнения // Проблемы технической электродинамики. — 1973. — Вып. 40. — С. 52—58.
7. Бучма І. М., Ферчук К. В. Моделювання джерела флікер-шуму в системах комп'ютерної математики // Автоматика, вимірювання та керування. — 2005. — № 530. — С. 79—83.
8. Бучма І. М., Вжущак М. Вплив флікер-шуму в тракті несучої частоти низькочастотного каналу товщиноміра сталевих листових конструкцій // Методи і прилади контролю якості. — 2003. — № 10. — С. 24—27.

**Бучма Ігор Михайлович** — професор, **Ферчук Костянтин Валерійович** — аспірант.

Кафедра комп'ютеризованих систем автоматки Національний університет «Львівська політехніка»