ВІСНИК

ВІННИЦЬКОГО ПОЛІТЕХНІЧНОГО ІНСТИТУТУ

6
2000

Журнал «Вісник ВПІ» є науковим виданням, публікації в якому визнаються при захисті дисертаційних робіт з технічних, економічних та педагогічних наук (постанови президії ВАК України від 9. 06. 1999 р. № 1-05/7, від 8. 09. 1999 р. № 01-05/9 та від 10. 07. 1999 р. № 3-05/11).

Журнал публікує статті, які містять нові теоретичні та практичні результати в галузях технічних, природничих та гуманітарних наук. Публікуються також огляди сучасного стану розробки важливих наукових проблем, огляди наукових та методичних конференцій, які відбулися у ВДТУ, статті з педагогіки вищої освіти.

Розділи журналу:

- автоматика та інформаційно-вимірювальна техніка;
- будівництво;
- гуманізація і гуманітаризація технічної освіти;
- застосування результатів досліджень;
- економіка, менеджмент та екологія;
- енергетика та електротехніка;
- інформаційні технології та комп'ютерна техніка;
- машинобудування;
- радіоелектроніка та радіоелектронне апаратобудування;
- стратегія, зміст та нові технології підготовки спеціалістів з вищою технічною освітою;
- філософія науки і техніки;
- фундаментальні науки;
- рецензії;
- ювілеї і ювіляри.

Головний редактор Б. І. Мокін

Редакційна колегія

О. Д. Азаров, О. Г. Бунтар, Ю. А. Буренніков, Т. Б. Буяльська, В. В. Грабко (заст. головного редактора), І. М. Даниленко, О. В. Дерібо, М. Ф. Друкований, П. М. Зузяк, І. А. Зязюн, Р. Д. Іскович-Лотоцький, Ю. О. Карпов, В. Л. Карпенко, Р. Н. Квєтний, О. І. Кедровський, В. І. Клочко, М. Д. Коваль (заст. відповідального секретаря редколегії), В. П. Кожем'яко, В. О. Козловський, Г. А. Корчинський, І. В. Кузьмін (заст. головного редактора), О. В. Кухленко, П. Д. Лежнюк, В. О. Леонтьєв, В. М. Лисогор,В. С. Мельник, В. М. Михалевич, П. А. Молчанов, О. В. Мороз, Н. Г. Ничкало, В. А. Огороднiков, В. С. Осадчук, М. І. Петренко, А. М. Пєтух, В. І. Пила, В. С. Ратніков, О. П. Ротштейн, О. Я. Савченко, В. Д. Свердлов, В. Р. Сердюк, М. І. Сметанський, С. Й. Ткаченко, М. І. Томчук, М. А. Філинюк, О. І. Хома, М. М. Шкодін, С. В. Юхимчук.

Відповідальний секретар редколегії *О. В. Дерібо*

Свідоцтво про реєстрацію періодичного друкованого видання — КП № 290 від 15.12.93 р.

© «Вісник Вінницького політехнічного інституту», 2000.

Адреса редакції: 21021, Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, Вінницький державний технічний університет, к. 104 ГНК
Телефон: (0432) 44-03-83, 44-05-32. E-mail: visvpi@vstu.vinnica.ua. http://www. vstu.vinnica. ua/~visnyk

УДК 621.317.12

ВИКОРИСТАННЯ ПРИНЦИПУ ІНВАРІАНТНОСТІ В ПРИСТРОЯХ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ

К. т. н. Рудик А. В., Барановський І. В.

Частотні характеристики (амплітудно-частотна та фазо-частотна) матеріалів в процесі технологічного контролю оцінюються за амплітудою та фазою сигналу, який пройшов через датчик з досліджуваним зразком (матеріалом). Як випробувальний сигнал використовується гармонічний сигнал, частота якого змінюється в широких межах. Для підвищення точності вимірювання амплітуди та фази випробувального сигналу зручніше проводити вимірювання за сигналом низької постійної частоти або постійного струму. З цією метою використовується масштабно-часове перетворення (МЧП), яке забезпечує трансформацію інформативних параметрів випробувального діапазонного сигналу в низькочастотний сигнал (або рівень постійної напруги) з мінімальними похибками. В роботі [1] показано, що МЧП дозволяє без суттєвих похибок перенести інформацію з амплітуди та фази вихідного сигналу датчика з досліджуваним матеріалом на низькочастотний гармонічний процес.

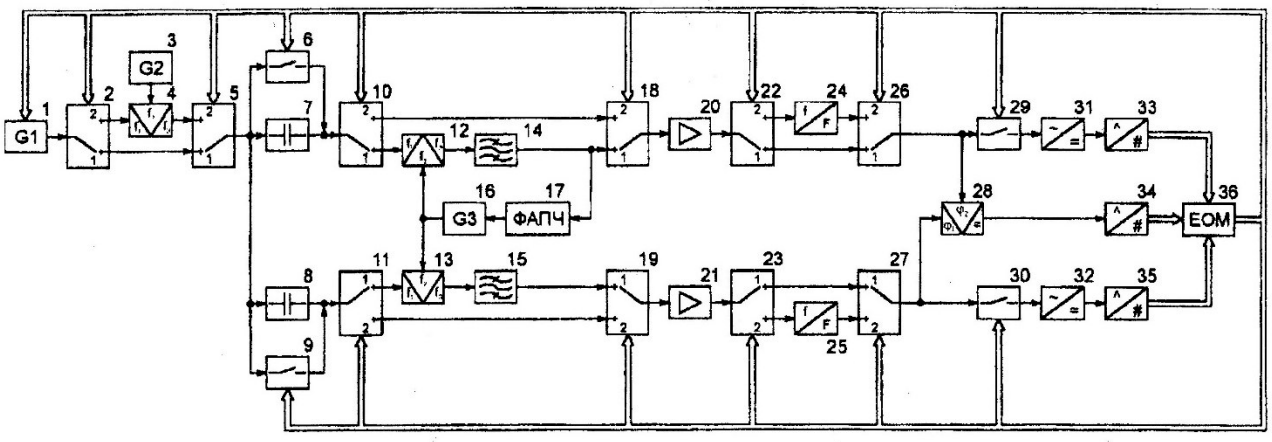
Однак під час проходження по електричному колу (досліджуваному матеріалу) складнішого (багаточастотного) сигналу доводиться враховувати, що фазочастотна характеристика (ФЧХ) нелінійна. Внаслідок цього спостерігається явище дисперсії, яке проявляється в спотворенні форми багаточастотного сигналу. В результаті наявності фазових спотворень відбувається зміщення в часі (уповільнення) центру групування багаточастотного сигналу (найефективніше виявленої складової у спектрі вихідного сигналу), яке і виявляється найзручнішою мірою для оцінки фазових спотворень. Цей час зміщення має назву групового часу запізнення (ГЧЗ), позначається $t_{гр}$ та для кожної частоти визначається як похідна повної фази за частотою.

Таким чином, досліджуваний матеріал може бути охарактеризований не тільки ФЧХ $\varphi = f(\omega)$, але й частотною характеристикою ГЧЗ $t_{гр} = F(\omega)$.

Для вимірювання ГЧЗ використовуються різні методи. В їх основі лежить передача досліджуваним колом (матеріалом) групового сигналу, який складається з декількох гармонічних напруг, та подальше визначення ГЧЗ за фазовим зсувом огинальної миттєвих значень напруги групового сигналу. Огинальна групового сигналу в процесі детектування перетворюється в низькочастотне коливання. Таким чином, вимірювання ГЧЗ зводиться до вимірювання фазових зсувів між двома напругами низької частоти.

Вперше був запропонований метод з одним амплітудно-модульованим сигналом (АМС), так званий метод Найквіста. Але вимірювання таким методом призводить до виникнення ряду похибок, які спотворюють результат вимірювання [2]. Тому на практиці використовується одна з модифікацій методу Найквіста – метод з придавленою однією боковою або несучою спектральною складовою АМС [3].

Як показали дослідження, для зменшення похибок вимірювання найефективніше використовувати інваріантні методи, які потребують наявності як мінімум двох каналів у вимірювальній системі [4]. Ідентичність двох перетворювальних каналів дозволяє зменшити рівень похибок, що вносяться різними дестабілізувальними факторами. Для виключення впливу нестабільності каналів вимірювача використовують структурно-алгоритмічні методи, зокрема, методи періодичного порівняння, комутаційно-модуляційні методи автоматичної корекції похибок та інші [5]. В роботі розглянуто використання МЧП та двочастотного методу в пристрої вимірювання частотних характеристик матеріалів на основі двоканальних структур з автоматичною корекцією похибок на основі збитковості. Структурна схема такого пристрою показана на рисунку.



Структурна схема пристрою вимірювання частотних характеристик матеріалів на основі двоканальної структури з автоматичною корекцією похибок на основі збитковості

Працює пристрій таким чином. Під час вимірювання амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) та ФЧХ досліджуваного матеріалу електронні комутатори 2, 5, 10, 11, 18, 19, 22, 23, 26 та 27 знаходяться в першому положенні, а електронні комутатори 29 та 30 — замкнені. Гармонічний сигнал $E(t) = E\cos\omega t$ з виходу цифрового генератора 1 одночасно потрапляє на входи комутаторів 6 та 9, датчика з досліджуваним матеріалом 7 та зразкового (пустого) датчика 8.

В обох каналах (вимірювальному та опорному) з розімкненими електронними комутаторами 6 та 9 (перший напівперіод комутації) сигнал $E(t)$ проходить через датчики з досліджуваним матеріалом 7 та зразковий 8, а з замкненими електронними комутаторами (другий напівперіод комутації) датчики 7 та 8 відключаються від каналів та напруга $E(t)$ потрапляє на перші входи перетворювачів частоти 12 та 13. На другі входи перетворювачів частоти подаються радіоімпульси (або строб-імпульси) з виходу генератора 16.

В перший напівперіод комутації вихідні напруги підсилювачів 20 у вимірювальному та 21 в опорному каналах визначаються таким чином:

$$\left.\begin{aligned} U_{20}^{1}(t) &= K_{7д}(\omega)K_{7м}(\omega)K_{12}(\omega)K_{14}(\Omega)K_{20}(\Omega)E(1+\gamma_1)E_0A_{\tau1}A_{Q1}^{1}\left(1+\varepsilon_1^{1}\right)\sin\{\Omega t + \\ &+ \Delta\varphi_1(\omega) + \Delta\varphi_{7д}(\omega) + \Delta\varphi_{7м}(\omega) + \Delta\varphi_{12}(\omega) + \Delta\varphi_{\tau1} + \Delta\varphi_{Q1}^{1} + \Delta\varphi_{20}(\Omega) + \Delta\varphi_{K1}^{1}(\omega)\}; \\ U_{21}^{1}(t) &= K_{8д}(\omega)K_{13}(\omega)K_{15}(\Omega)K_{21}(\Omega)E(1+\gamma_1)E_0A_{\tau2}A_{Q2}^{1}\left(1+\varepsilon_2^{1}\right)\sin\{\Omega t + \\ &+ \Delta\varphi_1(\omega) + \Delta\varphi_{8д}(\omega) + \Delta\varphi_{13}(\omega) + \Delta\varphi_{\tau2} + \Delta\varphi_{Q2}^{1} + \Delta\varphi_{21}(\Omega) + \Delta\varphi_{K2}^{1}(\omega)\}, \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

де $K_{12}(\omega)$, $K_{13}(\omega)$, $K_{14}(\Omega)$, $K_{15}(\Omega)$, $K_{20}(\Omega)$ та $K_{21}(\Omega)$ — коефіцієнти передачі перетворювачів частоти 12 та 13, фільтрів 14 та 15 і підсилювачів 20 та 21; $K_{7д}(\omega)$, $K_{7м}(\omega)$ та $K_{8д}(\omega)$ — коефіцієнти передачі пустого датчика 7, досліджуваного матеріалу в датчику 7 та зразкового датчика 8; E_0 — амплітуда вихідного сигналу генератора 16; γ_1 — коефіцієнт, що враховує зміни амплітуди напруги цифрового генератора 1 зі зміною частоти; ε_1^{1} та ε_2^{1} — відносні амплітудні похибки першого і другого каналів в перший напівперіод комутації; $\Omega = m\omega - \omega_0$ — резонансна частота фільтрів 14 та 15; ω_0 — несуча частота радіоімпульсу (або строб-імпульсу) генератора 16; $\Delta\varphi_1(\omega)$ – фазова нестабільність цифрового генератором 1 зі зміною частоти; $\Delta\varphi_{12}(\omega)$, $\Delta\varphi_{13}(\omega)$, $\Delta\varphi_{\tau1} + \Delta\varphi_{Q1}^{1}$, $\Delta\varphi_{\tau2} + \Delta\varphi_{Q2}^{1}$, $\Delta\varphi_{20}(\Omega)$ та $\Delta\varphi_{21}(\Omega)$ — фазові нестабільності, що вносяться перетворювачами частоти 12 і 13, фільтрами 14 і 15 та підсилювачами 20 і 21 в перший напівперіод комутації; $\Delta\varphi_{7д}(\omega)$, $\Delta\varphi_{7м}(\omega)$ і $\Delta\varphi_{8д}(\omega)$ — фазові зсуви, що вносяться пустим датчиком 7, досліджуваним матеріалом в датчику 7 та зразковим датчиком 8.

В другий напівперіод комутації вихідні напруги підсилювачів 20 та 21 будуть мати такий вигляд:

$$\left.\begin{aligned} U_{20}^{2}(t) &= K_{12}(\omega)K_{14}(\Omega)K_{20}(\Omega)E(1+\gamma_1)E_0A_{\tau1}A_{Q1}^{2}\left(1+\varepsilon_1^{2}\right)\sin\{\Omega t+ \\ &+\Delta\varphi_1(\omega)+\Delta\varphi_{12}(\omega)+\Delta\varphi_{\tau1}+\Delta\varphi_{Q1}^{2}+\Delta\varphi_{20}(\Omega)+\Delta\varphi_{K1}^{2}(\omega)\}; \\ U_{21}^{2}(t) &= K_{13}(\omega)K_{15}(\Omega)K_{21}(\Omega)E(1+\gamma_1)E_0A_{\tau2}A_{Q2}^{2}\left(1+\varepsilon_2^{2}\right)\sin\{\Omega t+ \\ &+\Delta\varphi_1(\omega)+\Delta\varphi_{13}(\omega)+\Delta\varphi_{\tau2}+\Delta\varphi_{Q2}^{2}+\Delta\varphi_{21}(\Omega)+\Delta\varphi_{K2}^{2}(\omega)\}, \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

де ε_1^2 та ε_2^2 – відносні амплітудні похибки каналів в другий напівперіод комутації; $A_{\tau1}$, A_{Q1}, $A_{\tau2}$ та A_{Q2} – амплітудні коефіцієнти фільтрів 14 і 15 першого та другого каналів, визначення яких розглянуто в [6]; $\Delta\varphi_{\tau1}+\Delta\varphi_{Q1}^{2}$ та $\Delta\varphi_{\tau2}+\Delta\varphi_{Q2}^{2}$ – фазові нестабільності, що вносяться фільтрами 14 та 15 в другий напівперіод комутації; $\Delta\varphi_{K1}^{1}(\omega)$, $\Delta\varphi_{K1}^{2}(\omega)$, $\Delta\varphi_{K2}^{1}(\omega)$ та $\Delta\varphi_{K2}^{2}(\omega)$ – амплітудно-фазові похибки каналів вимірювача в перший та другий напівперіоди комутації.

Спектри сумарної $(\omega+\omega_0)$ та різницевої $(\omega-\omega_0)$ частот перетворювачів частоти 12 та 13 не будуть перекриватися за умови $2\omega_0 > 2\pi n/\tau$, де n – кількість нулів спектра радіоімпульсу (або строб-імпульса).

ЕОМ 36 керує частотою цифрового генератора 1 дискретно в діапазоні $f_{\min} \div f_{\max}$ з постійним значенням частоти $F = \Omega/2\pi$, тому що змінюється номер гармоніки $m = 1, 2, 3, \ldots, M$, яка формує сигнали на виході перетворювачів частоти. Система ФАПЧ 17 забезпечує смугу захвату та утримання для стійкої роботи вимірювача тільки за умови $\omega > m\,\Omega$ [7]. Якщо з виходу генератора 16 на перетворювачі частоти подається радіоімпульсний сигнал, то частота вихідної напруги фільтрів 14 та 15 визначається рівнянням $\Omega = \omega - (\omega_0 \pm m\omega_{\text{п}})$, де $\omega_{\text{п}}$ – частота повторення радіоімпульсів. В цьому випадку система ФАПЧ забезпечує стійку роботу за умови $\omega > (\omega_0 + m\omega_{\text{п}})$.

Під час вимірювання ФЧХ матеріалу в датчику 7 на фазовий детектор 28 в перший напівперіод комутації подаються напруги $U_{20}^{1}(t)$ і $U_{21}^{1}(t)$, а в другий напівперіод – $U_{20}^{2}(t)$ і $U_{21}^{2}(t)$, в результаті чого вихідна напруга фазового детектора 28 в перший напівперіод комутації пропорційна фазовому зсуву

$$\varphi_{\text{вим1.ФЧХ}} = \Delta\varphi_{7\text{м}}(\omega)+\Delta\varphi_{7\text{д}}(\omega)-\Delta\varphi_{8\text{д}}(\omega)+\Delta\varphi_{12}(\omega)-\Delta\varphi_{13}(\omega)+\Delta\varphi_{\tau1}-\Delta\varphi_{\tau2}+$$
$$+\Delta\varphi_{Q1}^{1}-\Delta\varphi_{Q2}^{1}+\Delta\varphi_{20}(\Omega)-\Delta\varphi_{21}(\Omega)+\Delta\varphi_{K1}^{1}(\omega)-\Delta\varphi_{K2}^{1}(\omega),$$

а в другий напівперіод – фазовому зсуву

$$\varphi_{\text{вим2.ФЧХ}} = \Delta\varphi_{12}(\omega)-\Delta\varphi_{13}(\omega)+\Delta\varphi_{\tau1}-\Delta\varphi_{\tau2}+\Delta\varphi_{Q1}^{2}-\Delta\varphi_{Q2}^{2}+\Delta\varphi_{20}(\Omega)-$$
$$-\Delta\varphi_{21}(\Omega)+\Delta\varphi_{K1}^{2}(\omega)-\Delta\varphi_{K2}^{2}(\omega).$$

Ці напруги подаються на аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) 34 та перетворюються в цифровий код. В ЕОМ 36 встановлюється режим віднімання результатів вимірювання, тобто

$$\varphi_{\text{вим.ФЧХ}} = \varphi_{\text{вим1.ФЧХ}} - \varphi_{\text{вим2.ФЧХ}} = \Delta\varphi_{7\text{м}}(\omega)+\Delta\varphi_{7\text{д}}(\omega)-\Delta\varphi_{8\text{д}}(\omega)+\Delta\varphi_{Q1}^{1}-$$
$$-\Delta\varphi_{Q2}^{1}-\Delta\varphi_{Q1}^{2}+\Delta\varphi_{Q2}^{2}+\Delta\varphi_{K1}^{1}(\omega)-\Delta\varphi_{K2}^{1}(\omega)-\Delta\varphi_{K1}^{2}(\omega)+\Delta\varphi_{K2}^{2}(\omega). \quad (3)$$

Тому що пусті датчики 7 та 8 однотипні, то можна вважати, що внесені ними фазові зсуви в діапазоні частот однакові, тобто $\Delta\varphi_{7\text{д}}(\omega) = \Delta\varphi_{8\text{д}}(\omega)$. В другий напівперіод комутації (датчики 7 та 8 відключені від каналів) якщо ідентичні резонансні фільтри 14 та 15,

то можна вважати (з достатньою точністю), що $\Delta\varphi^2_{Q1} = \Delta\varphi^2_{Q2}$ та $\Delta\varphi^2_{K1}(\omega) = \Delta\varphi^2_{K2}(\omega)$. Тоді вираз (3) можна переписати так:

$$\varphi_{\text{вим.ФЧХ}} = \Delta\varphi_{7\text{м}}(\omega) + \Delta\varphi^1_{Q1} - \Delta\varphi^1_{Q2} + \Delta\varphi^1_{K1}(\omega) - \Delta\varphi^1_{K2}(\omega). \qquad (4)$$

Фазову нестабільність $\left(\Delta\varphi^1_{Q1} - \Delta\varphi^1_{Q2}\right)$ можна врахувати, тому що початкові фази вхідних напруг фільтрів 14 та 15 відрізняються на величину $\Delta\varphi_{7\text{м}}(\omega)$. Однак в будь-якому випадку ця нестабільність не буде перебільшувати подвоєного значення похибки $\Delta\varphi_{Q_{\max}}$, ретельний аналіз якої проведений в [6].

Таким чином, кінцевий результат вимірювання пропорційний ФЧХ матеріала в датчику 7, тобто вдалося виключити вплив ФЧХ датчика та зменшити вплив фазових нестабільностей каналів на результат вимірювання. Тривалість імпульсів комутації вибирають, користуючись співвідношенням $t_к \geq 2\pi/\Omega$ [2].

Для вимірювання АЧХ досліджуваного матеріалу в датчику 7 напруги з виходу підсилювачів 20 та 21 подаються на амплітудні детектори 31 та 32, що працюють в лінійному режимі (при цьому електронні комутатори 29 та 30 замкнені). На виходах детекторів постійні напруги визначаються таким чином:

$$\left.\begin{aligned}
U^1_{31} &= K_{7\text{д}}(\omega)K_{7\text{м}}(\omega)K_{12}(\omega)K_{14}(\Omega)K_{20}(\Omega)K_{31}(\Omega)E(1+\gamma_1)E_0A_{\tau1}A^1_{Q1}\left(1+\varepsilon^1_1\right);\\
U^1_{32} &= K_{8\text{д}}(\omega)K_{13}(\omega)K_{15}(\Omega)K_{21}(\Omega)K_{32}(\Omega)E(1+\gamma_1)E_0A_{\tau2}A^1_{Q2}\left(1+\varepsilon^1_2\right);\\
U^2_{31} &= K_{12}(\omega)K_{14}(\Omega)K_{20}(\Omega)K_{31}(\Omega)E(1+\gamma_1)E_0A_{\tau1}A^2_{Q1}\left(1+\varepsilon^2_1\right);\\
U^2_{32} &= K_{13}(\omega)K_{15}(\Omega)K_{21}(\Omega)K_{32}(\Omega)E(1+\gamma_1)E_0A_{\tau2}A^2_{Q2}\left(1+\varepsilon^2_2\right),
\end{aligned}\right\} \qquad (5)$$

де $K_{31}(\Omega)$, $K_{32}(\Omega)$ — коефіцієнти передачі амплітудних детекторів 31 та 32.

Ці напруги за допомогою АЦП 33 та 35 перетворюються в цифрові коди, які потрапляють в ЕОМ 36. В результаті ділення кодів в перший та другий напівперіоди комутації отримаємо

$$W_1 = \frac{U^1_{31}}{U^1_{32}} = \frac{K_{7\text{д}}(\omega)K_{7\text{м}}(\omega)K_{12}(\omega)K_{14}(\Omega)K_{20}(\Omega)K_{31}(\Omega)A_{\tau1}A^1_{Q1}\left(1+\varepsilon^1_1\right)}{K_{8\text{д}}(\omega)K_{13}(\omega)K_{15}(\Omega)K_{21}(\Omega)K_{32}(\Omega)A_{\tau2}A^1_{Q2}\left(1+\varepsilon^1_2\right)};$$

$$W_2 = \frac{U^2_{31}}{U^2_{32}} = \frac{K_{12}(\omega)K_{14}(\Omega)K_{20}(\Omega)K_{31}(\Omega)A_{\tau1}A^2_{Q1}\left(1+\varepsilon^2_1\right)}{K_{13}(\omega)K_{15}(\Omega)K_{21}(\Omega)K_{32}(\Omega)A_{\tau2}A^2_{Q2}\left(1+\varepsilon^2_2\right)};$$

$$W_{\text{рез}} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{K_{7\text{д}}(\omega)K_{7\text{м}}(\omega)A^1_{Q1}A^2_{Q2}\left(1+\varepsilon^1_1\right)\left(1+\varepsilon^2_2\right)}{K_{8\text{д}}(\omega)A^2_{Q1}A^1_{Q2}\left(1+\varepsilon^2_1\right)\left(1+\varepsilon^1_2\right)}. \qquad (6)$$

Тому що пусті датчики 7 та 8 однотипні, можна вважати, що $K_{7\text{д}}(\omega) = K_{8\text{д}}(\omega)$. В другий напівперіод комутації (датчики 7 та 8 відключені від каналів) якщо резонансні фільтри 14 та 15 ідентичні, то з достатньою точністю можна вважати, що $A^2_{Q1} = A^2_{Q2}$ та $\varepsilon^2_1 = \varepsilon^2_2$. Тоді співвідношення (6) буде мати вигляд

$$W_{\text{рез}} = \frac{K_{7\text{м}}(\omega)A^1_{Q1}\left(1+\varepsilon^1_1\right)}{A^1_{Q2}\left(1+\varepsilon^1_2\right)}. \qquad (7)$$

Амплітудну нестабільність A^1_{Q1}/A^1_{Q2} можна врахувати, якщо вважати, що початкові фази вхідних напруг резонансних фільтрів 14 та 15 відрізняються на величину $\Delta\varphi_{7м}(\omega)$. Оцінити відзначену нестабільність можна таким чином [6]:

$$\left.\frac{A^1_{Q1}}{A^1_{Q2}}\right|_{\min} = \frac{A^1_{Q1_{\min}}}{A^1_{Q2_{\max}}} = 1 - \frac{\pi}{2Q} \le \frac{A^1_{Q1}}{A^1_{Q2}} \le 1 + \frac{\pi}{2Q} = \frac{A^1_{Q1_{\max}}}{A^1_{Q2_{\min}}} = \left.\frac{A^1_{Q1}}{A^1_{Q2}}\right|_{\max}. \qquad (8)$$

Відношення $\frac{1+\varepsilon^1_1}{1+\varepsilon^1_2}$ буде тим більше наближатися до одиниці, чим менше відрізняється від одиниці в робочому діапазоні частот значення коефіцієнту передачі досліджуваного матеріалу в датчику 7, тобто $K_{7м}(\omega)$.

Таким чином, вимірявши значення $W_{рез}$ з різними значеннями частоти вхідного сигналу, можна оцінити АЧХ досліджуваного матеріалу в датчику 7, тобто вдається виключити вплив АЧХ датчика та зменшити вплив неідентичності АЧХ каналів на результат вимірювання.

Під час вимірювання частотної характеристики ГЧЗ досліджуваного матеріалу електронні комутатори 2, 5, 10, 11, 18, 19, 22, 23, 26 та 27 знаходяться в другому положенні, а електронні комутатори 29 та 30 розімкнені. В цьому випадку гармонічний сигнал з виходу цифрового генератора 1 потрапляє на перший вхід балансного модулятора 4, а на другий вхід подається напруга з виходу кварцового генератора низької частоти 3. Тоді вихідна напруга балансного модулятора

$$U_4(t) = 0{,}5K_4(\omega)E(1+\gamma_1)E_3\{\cos[(\omega-\Omega_0)t + \Delta\varphi_1(\omega) - \Delta\varphi_3 + \Delta\varphi_4(\omega-\Omega_0)] + \\ + \cos[(\omega+\Omega_0)t + \Delta\varphi_1(\omega) + \Delta\varphi_3 + \Delta\varphi_4(\omega+\Omega_0)]\},$$

де E_3, Ω_0 та $\Delta\varphi_3$ — амплітуда, частота і початкова фаза вихідної напруги кварцового генератора низької частоти 3; $\Delta\varphi_4(\omega-\Omega_0)$ та $\Delta\varphi_4(\omega+\Omega_0)$ — фазові зсуви, що вносяться балансним модулятором 4 на частотах $\omega-\Omega_0$ та $\omega+\Omega_0$; $K_4(\omega) \approx K_4(\omega-\Omega_0) \approx \approx K_4(\omega+\Omega_0)$ — коефіцієнт передачі балансного модулятора.

Тоді у перший напівперіод комутації вихідні напруги амплітудних детекторів 24 і 25, що працюють у квадратичному режимі, визначаються таким чином:

$$\left.\begin{aligned} U^1_{24}(t) &= 0{,}25K^2_4(\omega)K^2_{7д}(\omega)K^2_{7м}(\omega)K^2_{20}(\omega)K_{24}(\omega)E(1+\gamma_1)E_3\left(1+\varepsilon^1_1\right)\times \\ &\times\sin\{2\Omega_0 t + 2\Delta\varphi_3 + \Delta\varphi_4(\omega) + \Delta\varphi_{7д}(\omega) + \Delta\varphi_{7м}(\omega) + \Delta\varphi_{20}(\omega) + \Delta\varphi_{24}(\omega) + \Delta\varphi^1_{K1}(\omega)\}; \\ U^1_{25}(t) &= 0{,}25K^2_4(\omega)K^2_{8д}(\omega)K^2_{21}(\omega)K_{25}(\omega)E(1+\gamma_1)E_3\left(1+\varepsilon^1_2\right)\times \\ &\times\sin\{2\Omega_0 t + 2\Delta\varphi_3 + \Delta\varphi_4(\omega) + \Delta\varphi_{8д}(\omega) + \Delta\varphi_{21}(\omega) + \Delta\varphi_{25}(\omega) + \Delta\varphi^1_{K2}(\omega)\}, \end{aligned}\right\} \qquad (9)$$

де $K^2_i(\omega) = K_i(\omega-\Omega_0)K_i(\omega+\Omega_0)$ — квадрати коефіцієнтів передачі балансного модулятора 4, пустих датчиків 7 та 8, досліджуваного матеріалу в датчику 7, а також підсилювачів 20 та 21; $K_{24}(\omega)$ та $K_{25}(\omega)$ — коефіцієнти передачі амплітудних детекторів 24 та 25, що працюють в квадратичному режимі; $\Delta\varphi_i(\omega) = \Delta\varphi_i(\omega+\Omega_0) - \Delta\varphi_i(\omega-\Omega_0)$ — фазові зсуви, що вносяться балансним модулятором 4, пустими датчиками 7 та 8, досліджуваним матеріалом в датчику 7, підсилювачами 20 та 21, а також амплітудними детекторами 24 та 25.

В другий напівперіод комутації вихідні напруги амплітудних детекторів 24 та 25 будуть мати такий вигляд:

$$\left.\begin{aligned} U_{24}^2(t) &= 0{,}25K_4^2(\omega)K_{20}^2(\omega)K_{24}(\omega)E(1+\gamma_1)E_3\left(1+\varepsilon_1^2\right)\times \\ &\times\sin\left\{2\Omega_0 t + 2\Delta\varphi_3 + \Delta\varphi_4(\omega) + \Delta\varphi_{20}(\omega) + \Delta\varphi_{24}(\omega) + \Delta\varphi_{K1}^2(\omega)\right\}; \\ U_{25}^2(t) &= 0{,}25K_4^2(\omega)K_{21}^2(\omega)K_{25}(\omega)E(1+\gamma_1)E_3\left(1+\varepsilon_2^2\right)\times \\ &\times\sin\left\{2\Omega_0 t + 2\Delta\varphi_3 + \Delta\varphi_4(\omega) + \Delta\varphi_{21}(\omega) + \Delta\varphi_{25}(\omega) + \Delta\varphi_{K2}^2(\omega)\right\}. \end{aligned}\right\} \quad (10)$$

Під час вимірювання частотної характеристики ГЧЗ досліджуваного матеріалу в датчику 7 на фазовий детектор 28 в перший напівперіод комутації подаються напруги $U_{24}^1(t)$ та $U_{25}^1(t)$, а в другий напівперіод — напруги $U_{24}^2(t)$ та $U_{25}^2(t)$, в результаті чого вихідна напруга фазового детектора 28 в перший напівперіод комутації пропорційна фазовому зсуву

$$\varphi_{\text{вим1.ГЧЗ}} = \Delta\varphi_{7\text{М}}(\omega) + \Delta\varphi_{7\text{Д}}(\omega) - \Delta\varphi_{8\text{Д}}(\omega) + \Delta\varphi_{20}(\omega) - \Delta\varphi_{21}(\omega) + \\ + \Delta\varphi_{24}(\omega) - \Delta\varphi_{25}(\omega) + \Delta\varphi_{K1}^1(\omega) - \Delta\varphi_{K2}^1(\omega),$$

а в другий напівперіод — фазовому зсуву

$$\varphi_{\text{вим2.ГЧЗ}} = \Delta\varphi_{20}(\omega) - \Delta\varphi_{21}(\omega) + \Delta\varphi_{24}(\omega) - \Delta\varphi_{25}(\omega) + \Delta\varphi_{K1}^2(\omega) - \Delta\varphi_{K2}^2(\omega).$$

Ці напруги (з розімкненими електронними комутаторами 29 та 30) подаються на АЦП 34 та перетворюються в цифровий код. В ЕОМ 36 встановлюється режим віднімання результатів вимірювання, тобто

$$\varphi_{\text{вим.ГЧЗ}} = \varphi_{\text{вим1.ГЧЗ}} - \varphi_{\text{вим2.ГЧЗ}} = \Delta\varphi_{7\text{М}}(\omega) + \Delta\varphi_{7\text{Д}}(\omega) - \Delta\varphi_{8\text{Д}}(\omega) + \\ + \Delta\varphi_{K1}^1(\omega) - \Delta\varphi_{K2}^1(\omega) - \Delta\varphi_{K1}^2(\omega) + \Delta\varphi_{K2}^2(\omega). \quad (11)$$

Тому що пусті датчики 7 та 8 однотипні, то можна вважати, що внесені ними фазові зсуви в діапазоні частот однакові, тобто $\Delta\varphi_{7\text{Д}}(\omega) = \Delta\varphi_{8\text{Д}}(\omega)$. В другий напівперіод комутації (датчики 7 та 8 відключені від каналів) можна з достатньою точністю вважати, що $\Delta\varphi_{K1}^2(\omega) = \Delta\varphi_{K2}^2(\omega)$, тобто

$$\varphi_{\text{вим.ГЧЗ}} = \Delta\varphi_{7\text{М}}(\omega) + \Delta\varphi_{K1}^1(\omega) - \Delta\varphi_{K2}^1(\omega) \approx \Delta\varphi_{7\text{М}}(\omega). \quad (12)$$

Частотну характеристику ГЧЗ досліджуваного матеріалу в датчику 7 визначають з (12) за таким співвідношенням:

$$t_{\text{гр}}(\omega) = \frac{\varphi_{\text{вим.ГЧЗ}}}{2\Omega_0} \approx \frac{\Delta\varphi_{7\text{М}}(\omega)}{2\Omega_0} = \frac{\varphi_{7\text{М}}(\omega+\Omega_0) - \varphi_{7\text{М}}(\omega-\Omega_0)}{2\Omega_0}. \quad (13)$$

Таким чином, в запропонованому вимірювачі частотних характеристик кінцевий результат вимірювання пропорційний АЧХ, ФЧХ або частотній характеристиці ГЧЗ досліджуваного матеріалу в датчику 7, тобто вдалося виключити вплив частотних характеристик датчика та зменшити вплив амплітудно-фазових та фазових нестабільностей каналів на результат вимірювання. У разі вимірювання частотної характеристики ГЧЗ формування двочастотного сигналу повинно відбуватися з малою та стабільною різницевою частотою $2\Omega_0 << \omega$, що збільшує точність вимірювання частотної характеристики ГЧЗ.

Проведені експериментальні дослідження пристрою вимірювання частотних характеристик матеріалів дозволяють зробити такі висновки:

1) у разі вимірювання АЧХ та ФЧХ досліджуваного матеріалу в діапазоні частот 1 кГц÷10 МГц, нестабільності частоти вимірювального сигналу не гірше 10^{-4}, динамічному діапазоні вхідного сигналу 37 дБ, нерівномірності АЧХ досліджуваного матеріалу до 60 дБ та коефіцієнту нелінійних спотворень не більше 2 %, — використання структурно-алгоритмічного методу автоматичної корекції дозволило зменшити максимальні похибки вимірювання відповідно з 4,7 % та 1,36 ° до величини 0,63 % та 0,144 °;

2) у разі вимірювання частотної характеристики ГЧЗ у вказаному діапазоні частот та інших умовах вимірювань використання принципу інваріантності дозволило зменшити максимальну похибку вимірювання з величини 0,845 мкс до 0,092 мкс.

Висновки

1. Показано, що МЧП дозволяє з достатньо малими похибками трансформувати амплітуду та фазу гармонічного сигналу високої частоти на низькочастотний електричний процес та вимірювати АЧХ і ФЧХ матеріалів в діапазоні частот без переналаштування опорного генератора, а використання двочастотного методу дозволяє вимірювати частотні характеристики ГЧЗ цих матеріалів.

2. Розроблена структурна схема пристрою вимірювання частотних характеристик (АЧХ, ФЧХ, ГЧЗ) матеріалів в широкому діапазоні частот.

3. Використання в розробленому пристрої структурно-алгоритмічного методу дозволяє зменшити похибки вимірювання частотних характеристик досліджуваного матеріалу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рудик А. В., Суп'ян Я. В. Інваріантні методи в пристроях вимірювання частотних характеристик електричних та магнітних властивостей матеріалів // Контроль і управління в складних системах: Матеріали 5–ої міжнародної НТК. — Вінниця. — 1999. — Т. 2. — С. 196—202.

2. Рудик А. В. Вимірювання нелінійності фазочастотної характеристики електричного кола // Вісник ВПІ. — 1996. — № 4. — С. 61—65.

3. А. с. 177974 СССР. Способ измерения идентичности фазовых характеристик четырёхполюсников / Супьян В. Я. // Бюл. изобр. — 1966.— № 2.

4. Петров Б. Н., Викторов В. А., Лункин Б. В., Совлуков А. С. Принципы инвариантности в измерительной технике. — М.: Наука, 1976. — 243 с.

5. Таланчук П. М., Скрипник Ю. О., Дубровний В. О. Засоби вимірювання в автоматичних інформаційних та керуючих системах. — К.: Райдуга, 1994. — 672 с.

6. Рудик А. В., Суп'ян Я. В. Методика аналізу похибок відтворення сигналу фільтром синтезу цифро-аналогового перетворювача // Вісник ВПІ. — 1997. — № 2. — С. 70—76.

7. Супьян В. Я., Рождественский А. Н. Подавление паразитной синхронизации в системе ФАПЧ // Известия Вузов СССР, серия Радиоэлектроника. — 1976. — № 6. — С. 25—30.

Рекомендована кафедрою радіотехніки

Надійшла до редакції 30.09.1999 р.
Рекомендована до опублікування 21.12.1999 р.

Рудик Андрій Вікторович – доцент кафедри радіотехніки ВДТУ, ***Барановський Ігор Васильович*** – інженер кафедри електричних станцій та систем ВДТУ.

УДК 381.3

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ І РІВЕНЬ СУЧАСНИХ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ ПРОБЛЕМ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ

Д. т. н.. проф. Кожем'яко В. П., к. т. н., доц. Лисенко Г. Л., Цирульник С. М., студ. Грибовський Ю. П.

Вступ

Загальновизнано, що електричні мережі і системи на сьогоднішній день не спроможні забезпечити необхідну пропускну здатність, для тих обсягів інформації, що ними необхідно передати.

Найкращі техніко-економічні характеристики для високошвидкісної передачі великих потоків інформації на значні відстані має оптичне волокно. По усьому світі за рік про-

На сегодняшний день фильтрующие программные средства международной компьютерной сети Internet широко распространены в таких областях знаний как этика и система здравоохранения, где наиболее критичными вопросами являются качество размещаемой информации в электронных документах.

В работе охарактеризованы разработки сервера RSACi по вопросам этики и центра InterCEC ВДТУ по вопросам здравоохранения, показаны схемы работы фильтрующих программных средств международной компьютерной сети Internet. Определены приемы получения исполняемого кода из сервера RSACi и правила внедрения файлов фильтрационных программ в операционную систему Windows 95/98.

На наш взгляд, создание и внедрения механизмов фильтрации предоставит возможность пользователям наиболее качественно размещать информацию на Web–страницах международной компьютерной сети Internet.

УДК 681.32

Особенности конвейерного процесса суммирования массива чисел / А. В. Кожемяко // Вісник ВПІ. — 2000. — № 6 — С. 65—68: ил. 3. Библиогр.: 8 назв.

Рассмотрен способ конвейерного суммирования массива чисел. В его основу положено выделение общей значащей части для всех чисел, которые суммируются. Приведено математическое моделирование данного процесса.

УДК 622.233

Теоретические исследования пневмопривода отбойного молотка / А. Ф. Пономачук, И. А. Пономарчук, В. М. Стасюк, В. В. Кольчак // Вісник ВПІ. — 2000. — № 6 — С. 69—74: ил. 3. Библиогр.: 4 назв.

Проанализирована проблема создания ударного узла с механической связью поршня-ударника с впускными клапанами. Приведены результаты исследования математической модели пневмопривода узла.

УДК 621.646/088.8/

Анализ конструкций управляющих гидроустройств с эластичными тороидальными деталями / В. П. Пурдик, Е. А. Корчевская // Вісник ВПІ. — 2000. — № 6 — С. 75—78: ил. 8. Библиогр.: 9 назв.

Статья посвящена анализу конструкций управляющих гидроустройств с эластичными тороидальными деталями. Применение в управляющих гидроустройствах эластичных деталей позволяет повысить герметичность, быстродействие, динамическую устойчивость и надежность гидромеханизмов технологических машин.

УДК 621. 317. 12

Использование принципа инвариантности в устройствах измерения частотных характеристик материалов / А. В. Рудык, И. В. Барановский // Вісник ВПІ. — 2000. — № 6 — С. 79—85: ил. 1. Библиогр.: 7 назв.

В работе показано, что масштабно-временное преобразование позволяет с достаточно малыми погрешностями трансформировать амплитуду и фазу гармонического сигнала высокой частоты на низкочастотный электрический процесс и измерять частотные характеристики материалов в диапазоне частот без перестройки опорного генератора, а использование двухчастотного метода позволяет измерять частотные характеристики группового времени запаздывания этих материалов. Разработана структурная схема устройства измерения частотных характеристик материалов в широком диапазоне частот. Использование в разработанном устройстве структурно-алгоритмического метода позволяет уменьшить погрешности измерения частотных характеристик исследуемого материала.

The problem of striker assembly creation with mechanical connection of the piston with inlet valves is analysed. The results of mathematical model study of striker assembly are given.

Analysis of hydraulic control devices with elastic toroidal parts / V. Purdic, E. Korchevska // Вісник ВПІ. — 2000. — № 6. — P. 75—78: fig. 8. Refs.: 9 titles.

The article analyses the construction of hydraulic control devices with elastic toroidal parts. The application in hydraulic control devices the elastic parts permits to increase tightness, speed, dynamic stability and reliability of hydraulic mechanisms of technological machines.

Application of invariance principle in devices designed for measuring of materials frequency characteristics / A. Rudyk, I. Baranovskiy // Вісник ВПІ. — 2000. — № 6. — P. 79—85: fig. 1. Refs.: 7 titles.

The paper shows that scale–temporal transformation, permits, with rather small errors, to convert amplitude and phase of high–frequency harmonic signal into low–frequency electric process and measure frequency characteristics of materials within the frequency range without re-tuning of supporting generator. Application of two-frequency method permits to measure frequency characteristics of group time delay of these materials. The paper contains structural diagram of the device. Application of structural algorithmic method provides the possibility to decrease frequency characteristics measurement errors of material being investigated.

Tendencies of development and level of modern scientific-engineering problems in fiber-optical communication lines / V. Kozhemyako, G. Lysenko, S. Tsirulnik, U. Grybovskiy // Вісник ВПІ. — 2000. — № 6. — P. 85—94: fig. 6. Tables 2. Refs.: 13 titles.

Comparative analysis of existing data transmission lines is done and the choice of optical transmission lines for high-speed systems of communication is justified. The main components of FOLC-market and technologies being used are considered, their advantages and drawbacks ways of improvement are revealed.

The analysis of feedback influence on parameters of FET-based dynamic negatron / N. Filyniuk, A. Lazarev // Вісник ВПІ. — 2000. — № 6. — P. 94—97: fig. 4. Refs.: 3 titles.

The article considers the influence of inductive feedback on the output impedance of the dynamic negatron based on the common-source FET. It is shown, that the suggested scheme of the dynamic negatron allows to get a negative resistance in the microwave range, a positive inductance, a negative dynamic inductance and a negative dynamic capacitance. The values of the feedback resistor and the feedback inductor determine the values of the output resistance and the output reactance.

Modelling of transfer characteristics of Double-Gate Field-Effect Transistor / V. Osadchuk, M. Semerenko, A. Kovalchuk, A. Osadchuk // Вісник ВПІ. — 2000. — № 6. — P. 97—100: fig. 1. Refs.: 6 titles.

The mathematics model of transfer characteristics of double-gate field-effect transistor has been developed; it is intended for the analysis of frequency converters. Mathematical expression have been obtained, taking into consideration the efficiency of the first and second gates. Modelling error is within the limits of 5...10 percent.

Evaluation of matching error in measurements of parameters of microwave quantum medical equipment / A. Yanenko // Вісник ВПІ. — 2000. — № 6. — P. 100—103: fig. 3. Refs.: 6 titles.

The paper gives the analysis of conditions of matching the measuring radiometric system to the generating devices of quantum medicine. The evaluation of matching error level at the output of the tested device and the system's input with respect to communication line is presented. Recommendations were suggested regarding the matching error.

The analysis of amplitude distribution of underwater antenna in conditions of indeterminacy / A. Zhyrov // Вісник ВПІ. — 2000. — № 6. — P. 104—106: refs.: 2 titles.

The given article deals with the tasks of minimax estimation of integral operator nucleus in conditions of nonstationary observations.