

**ВИКОРИСТАННЯ ПРИНЦИПУ ІНВАРІАНТНОСТІ В ПРИСТРОЯХ
ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ**

А.В. Рудик, к.т.н., доцент, **В.А. Рудик**, Національний університет водного господарства та природокористування, andrey05011971@mail.ru

Частотні характеристики (АЧХ та ФЧХ) матеріалів при технологічному контролі оцінюються по амплітуді та фазі сигналу, який пройшов через давач з досліджуваним зразком (матеріалом). В якості дослідного сигналу використовується гармонічний сигнал, частота якого змінюється в широких межах. Для підвищення точності вимірювання амплітуди та фази дослідного сигналу більш зручно вимірювання проводити за сигналом низької постійної частоти або постійного струму. З цією метою використовується масштабно-часове перетворення (МЧП), при якому інформативні параметри дослідного діапазонного сигналу мають трансформуватися в низькочастотний сигнал з мінімальними похибками. В роботі [1] показано, що МЧП дозволяє без суттєвих похибок перенести інформацію з амплітуди та фази вихідного сигналу давача з досліджуваним матеріалом на низькочастотний сигнал.

Досліджуваний матеріал може бути охарактеризований не тільки ФЧХ $\varphi = f(\omega)$, але й частотною характеристикою ГЧЗ $t_{gp} = F(\omega)$. Для вимірювання ГЧЗ використовуються різні методи. В їх основі лежить передача дослідним колом (матеріалом) групового сигналу, який складається з декількох гармонічних напруг, та подальше визначення ГЧЗ за фазовим зсувом оригінальної миттєвих значень напруги групового сигналу, тобто вимірювання ГЧЗ зводиться до вимірювання фазових зсувів між двома напругами низької частоти. На практиці для вимірювання ГЧЗ застосовується одна з модифікацій методу Найквіста – метод з придушеною однією бічною або носійною спектральною складовою АМС [2].

Для зменшення впливу нестабільності каналів приладу використовують структурно-алгоритмічні методи, зокрема, методи періодичного порівняння, комутаційно-модуляційні методи автоматичної корекції похибок та інші [3]. 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 наведена на рис.1.

Працює пристрій таким чином. При вимірюванні 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, давача з досліджуваним матеріалом 7 та зразкового (пустого) давача 8.

В обох каналах (вимірювальному та опорному) при розімкнених електронних комутаторах 6 та 9 (перший півперіод комутації) напруга $E(t)$ прохо-

дять через давачі з досліджуванним матеріалом 7 та зразковий 8, а при замкнених електронних комутаторах (другий півперіод комутації) давачі 7 та 8 відключаються з 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.

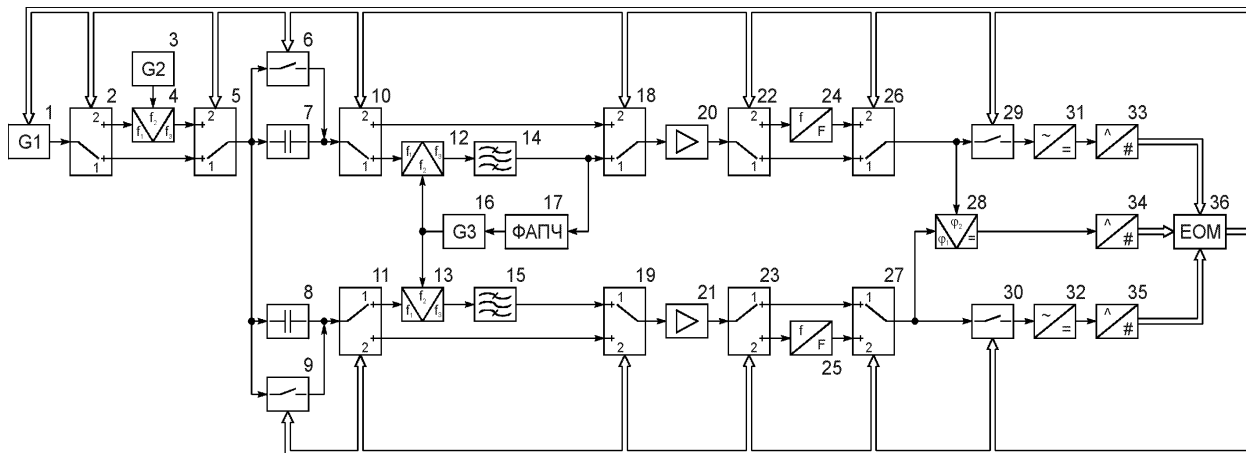


Рис. 1. Структурна схема вимірювального пристрою

ЕОМ 36 керує частотою цифрового генератора 1 дискретно в діапазоні $f_{\min} \div f_{\max}$ при постійному значенні частоти $F = \Omega/2\pi$, тому що змінюється номер гармоніки $m = 1, 2, 3, \dots, M$, яка формує сигнали на виході перетворювачів частоти. Система ФАПЧ 17 забезпечує смугу захвату та утримання для стійкої роботи вимірювача тільки за умови $\omega > m\Omega$ [4].

При вимірюванні ФЧХ матеріалу в давачі 7 в ЕОМ 36 встановлюється режим віднімання результатів вимірювання, тобто

$$\varphi_{\text{вим.ФЧХ}} = \Delta\varphi_{7M}(\omega) + \Delta\varphi_{Q1}^1 - \Delta\varphi_{Q2}^1 + \Delta\varphi_{K1}^1(\omega) - \Delta\varphi_{K2}^1(\omega). \quad (1)$$

Таким чином, кінцевий результат вимірювання пропорційний ФЧХ матеріалу в давачі 7, тобто вдалося виключити вплив ФЧХ давача та зменшити вплив фазових нестабільностей каналів на результат вимірювання. Тривалість імпульсів комутації вибирають за співвідношенням $t_k \geq 2\pi/\Omega$.

Для вимірювання АЧХ досліджуваного матеріалу в давачі 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). При цьому результат вимірювання:

$$W_{\text{рез}} = \frac{K_{7M}(\omega)A_{Q1}^1(1 + \varepsilon_1^1)}{A_{Q2}^1(1 + \varepsilon_2^1)}. \quad (2)$$

Таким чином, вимірявши значення $W_{\text{рез}}$ при різних значеннях частоти вхідного сигналу, можна оцінити АЧХ досліджуваного матеріалу в давачі 7, тобто вдається виключити вплив АЧХ давача та зменшити вплив неідентичності АЧХ каналів на результат вимірювання.

При вимірюванні 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. 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. Результат вимірювання:

$$t_{\text{гр}}(\omega) = \frac{\varphi_{\text{вим.ГЧЗ}}}{2\Omega_0} \approx \frac{\Delta\varphi_{7M}(\omega)}{2\Omega_0} = \frac{\varphi_{7M}(\omega + \Omega_0) - \varphi_{7M}(\omega - \Omega_0)}{2\Omega_0}. \quad (3)$$

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

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

1) при вимірюванні 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 коефіцієнті 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) при вимірюванні частотної характеристики ГЧЗ у вказаних діапазоні частот та інших умовах вимірювань використання принципу інваріантності дозволило зменшити максимальну похибку вимірювання з величини 0.845 мкс до 0.092 мкс.

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