

ЗАСТОСУВАННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ ТЕСТОВИХ СИГНАЛІВ В ЗАДАЧАХ ВИМІРЮВАННЯ ПЕРЕДАВАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДІОЕЛЕКТРОННИХ КІЛ

У даній статті проведена реалізація методики формування і вибору тестових сигналів для дослідження параметрів частотних характеристик аналогових та цифрових пристроїв. Проведений аналіз показав особливості підготовки та налаштування сигналів, що проходять через певний електронний пристрій. Наведена методика показала свою ефективність при виявленні дефектів частотних характеристик у певних вузьких смугах частот.

Ключові слова: тестові сигнали, передавальні функції, частотні характеристики.

O.A. MYASISHCHEV, I.I. CHESANOVSKIY, O.V. DOVGUN

Khmelnytsky National University

THE USE OF SPECIAL TEST SIGNALS IN THE PROBLEMS OF MEASURING THE TRANSMISSION CHARACTERISTICS OF RADIO ELECTRONIC CIRCUITS

In this article the implementation methods of formation and selection of test signals to study the parameters of the frequency characteristics of analogue and digital devices. The analysis showed the features of training and configuration signals will pass through some electronic device. The technique has shown to be effective in detecting defects in frequency characteristics in certain narrow frequency bands.

Keywords: test signals, transfer functions, frequency response.

Задача підвищення точності та швидкості процесу вимірювання передавальних характеристик різних аналогових, цифрових або гібридних схем, враховуючи все жорсткіші вимоги до радіоелектронних засобів і постійне підвищення серійності їх виробництва, є актуальною на сьогоднішній день. Аналіз наявних наукових публікацій даного спрямування показує, що основним напрямком зосередження зусиль розробників відповідного обладнання, є пошук нових саме методологічних а не апаратних підходів. Це можна пояснити функціональною обмеженістю аналогової бази і практично необмеженими можливостями і високою потенційною точністю цифрових систем у вирішенні задач електровимірювань. Як показали результати проведених досліджень, ключовим моментом забезпечення точності і ефективності цифрових систем вимірювання передавальних характеристик, є тип і параметри тестових сигналів, що виконують роль основного носія інформації в даних системах. А отже, саме удосконалення методів та підходів формування або вибору тестових сигналів у конкретних випадках вимірювання передавальних характеристик електричних кіл та вузлів, якій присвячена дана робота, є актуальною.

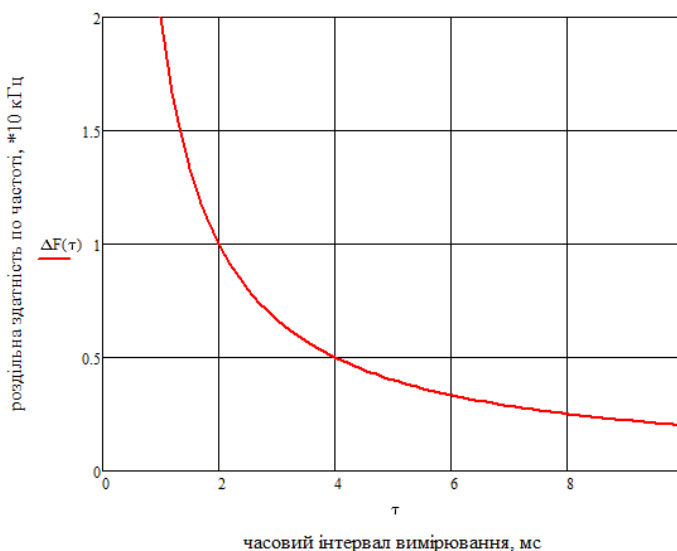


Рис. 1. Залежність роздільної здатності по частоті від тривалості вимірювань

наближено вигляд

$$\Delta F \approx \frac{2}{\Delta t}. \quad (1)$$

Графіки, що ілюструють дане співвідношення та спектри монохроматичних вимірювальних сигналів приведено на рис.1 – 3.

Історично склалося декілька загальноприйнятих підходів вимірювання передавальних характеристик електричних кіл, що ґрунтуються або на принципі поступового вимірювання (сканування) частотних властивостей кіл, або використанні широкосмугових (з немонохроматичними спектрами) сигналів. Проте, кожен з цих методів має свої переваги і недоліки. У першому випадку, для забезпечення високої точності вимірювання необхідний великий час, оскільки для формування монохроматичного спектру (виключно з однією частотною складовою) в межах частотного розрізнення системи потрібен відносно великий інтервал часу, оскільки вони співвідносяться обернено пропорційно. Для модульованих вузько смугових сигналів, це співвідношення має

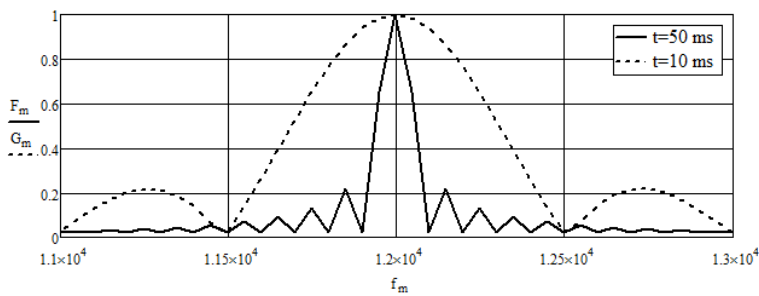


Рис. 2. Трансформація спектру вимірювального сигналу при зміні часу вимірювання

А з урахуванням вимог, щодо мінімального часу вимірювання $\tau_{\min} \geq \tau_k$, $\tau_k \approx \frac{2}{\Delta F}$,

$$T_B \geq 2 \frac{\Delta F_B}{\Delta F^2} \quad (3)$$

де τ_k - це постійна часу вимірювального кола; ΔF_B - смуга частот, в якій проводиться вимірювання.

Графік залежності часу вимірювання від роздільної здатності при різних смугах вимірювальних частот приведено на рис. 3.

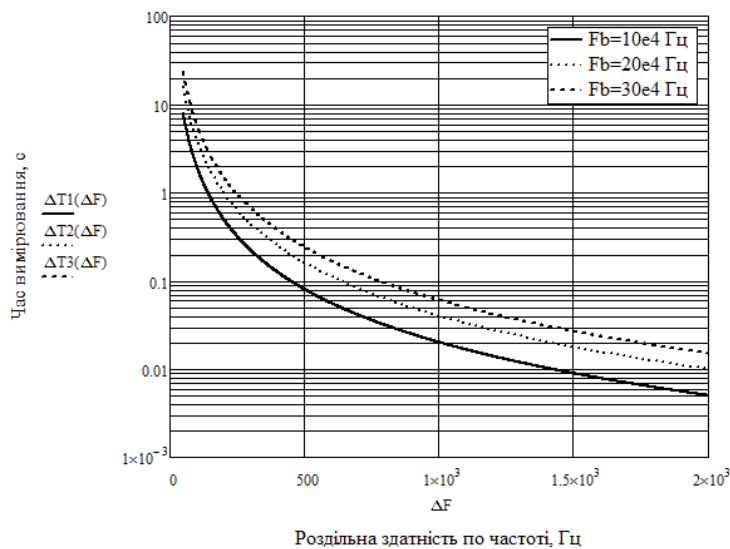


Рис. 3. Залежність часу вимірювання від роздільної здатності по частоті, при фіксованих значеннях ΔF_B

пропускання (а за потреби і подавлення) вимірювальної системи. При цьому, структурно реалізація методу відбувається згідно схеми показаної на рис. 4.

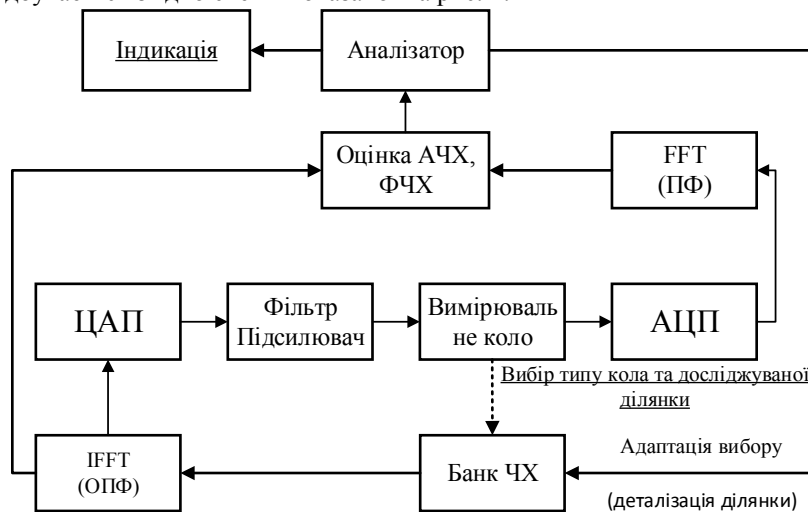


Рис. 4. Структурна схема методів синтезу і тестування

підсилення.

Відповідно даної схеми, вимірювання частотних характеристик електричного кола може

З наведених графіків і приведених міркувань можна зробити висновок, що застосування даного підходу для вимірювання передавальних характеристик інертних (зі значною постійною часу) кіл, є малоефективним, як з точки зору точності так і швидкодії, оскільки час на вимірювання

$$T_B = \tau \frac{\Delta F_B}{\Delta F}, \quad (2)$$

Як видно з графіку, при достатньо жорстких вимогах до роздільної здатності, час вимірювання може складати одиниці і десятки секунд в смузі вимірювальних частот всього лише декількох десятків кілогерц.

Інший підхід, що базується на використанні широкосмугових сигналів, є значно складнішим в реалізації, особливо на аналоговій базі, що обумовлювало його обмежене поширення. Фактично, даний підхід із застосуванням цифрових методів синтезу та обробки вимірювальних сигналів, володіє значно вищими потенційними характеристиками як по швидкодії так і по точності.

Сутність даного методу полягає в тому, що спектр повністю детермінованого вимірювального сигналу перекриває всю частотну смугу

Широкосмуговий сигнал можна подавати на об'єкт ідентифікації одноразово, але в результаті отримати інформацію про об'єкт в широкому діапазоні частот. Гранична частота спектра тестового сигналу повинна бути вище найбільшого за абсолютною величиною полюса передавальної функції об'єкта. Відповідно, нижня межа діапазону, в якому необхідно досить точно ідентифікувати передавальну функцію об'єкта, повинна бути нижче частоти одиничного

відбуватись в двох режимах: в «сліпому», коли використовується один із типових тестових сигналів, наприклад із рівномірним амплітудним спектром в смузі $f_{\min} > f_{\max}$ вимірювального кола і в режимі «точної ідентифікації», коли кожному типу вимірювального кола, або окремій ділянці його ЧХ відповідає певний тип тестового сигналу.

Принцип роботи даної схеми полягає в наступному. Виходячи із функції передавальної характеристики кола (пристрою) шляхом оберненого перетворення Фур'є генерується послідовність відліків у цифровій формі, які за допомогою ЦАП перетворюються в аналоговий тестовий сигнал. Для того, щоб амплітуда вихідного сигналу була на достатньому рівні, у схемі передбачений додатковий підсилювальний каскад. Сигнал із детермінованою спектральною функцією, подається через досліджуване коло. Амплітудний і фазовий спектр сигналу на виході буде залежати від властивостей аналізуючого кола. Далі проходить обернена операція переходу сигналу в цифрові відліки після АЦП і перетворення Фур'є для визначення АЧХ і ФЧХ сигналу після проходження через досліджуване коло. Оцінка проведена цифровим сигнальним процесором (ЦСП), який являється одночасно контролером системи і керує синтезатором сигналів. Аналіз ЦСП забезпечить математичну обробку результатів – виконання арифметичних операцій, інших необхідних операцій, а також може управляти калібровою амплітуди, частоти і фази сигналу в системі для подальшої підстройки сигналу коли нам потрібно буде дослідити більш детально певні ділянки АЧХ або ФЧХ.

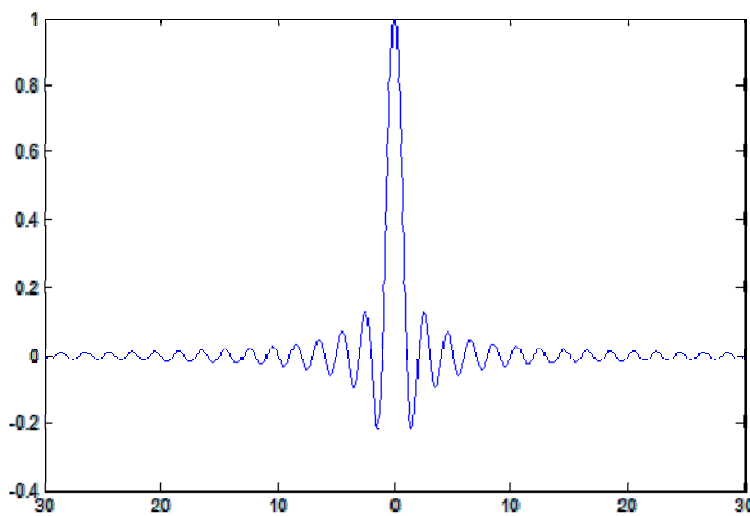


Рис. 5. Тестовий сигнал

Для прикладу, в роботі розглядається задача вимірювання передавальної характеристики смугового фільтра Чебишева I роду. Для отримання загальної картини ЧХ фільтра, доцільно використати детермінований сигнал з фінітним і рівномірним в смузі частот f_n та f_e спектром. Таким сигналом може бути сигнал виду $x(t) = \frac{\sin(t)}{t}$, що

задовольняє дані умови, а саме має прямокутний спектр у всьому діапазоні частот вимірювального кола.

В цьому випадку, враховуючи, що проходячи через вимірювальне коло, тестовий сигнал

знає лінійного перетворення виду:

$$U(\omega) = K(\omega) \cdot X(\omega), \quad (1)$$

де $X(\omega)$ – спектр тестового сигналу; $U(\omega)$ – спектр сигналу відгуку; $K(\omega)$ – частотна характеристика електричного кола (в даному випадку її модуль, є постійною величиною).

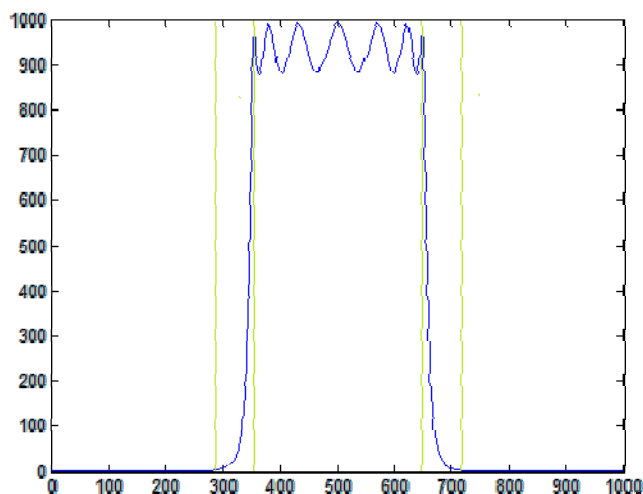


Рис. 6. АЧХ фільтра та зони, які потрібно дослідити більш детально

При застосуванні такого сигналу і урахуванні (1), на виході досліджуваного кола (рис. 4) отримується загальна оцінка його частотної характеристики. На рис. 6 приведено приклад вимірювання передавальної характеристики смугового фільтра Чебишева I роду за допомогою приведенного методу.

У випадку наявності високодинамічних ділянок на АЧХ вимірювального кола, а широкопasmовий сигнал показує загальний вигляд частотної характеристики, може бути необхідним оцінити, спотворення у смузі переходу від зони подавлення до зони пропускання, очевидно, що потрібно «сфокусувати» схему вимірювання ЧХ на цій частотній ділянці.

Враховуючи, що синтез та аналіз вимірювального сигналу проводиться в цифровому вигляді, можливі два варіанти уточнення ділянок ЧХ: шляхом ущільнення кроку по частоті зі збереженням ширини спектру вимірювального сигналу і шляхом ущільнення кроку по частоті шляхом звуження спектру вимірювального сигналу з переміщенням його на ділянку ЧХ, що уточнюється.

Очевидно, що в першому випадку значно зростають обчислювальні витрати і це є потенційним обмеженням точності вимірювання. Крім того, кожного разу, при перелаштуванні вимірювального сигналу необхідно перелаштовувати алгоритм його обробки (збільшувати частоту дискретизації, розрядність ДПФ і т.д.). В другому випадку, алгоритм обробки також треба перелаштовувати, проте до обчислювальних втрат, це не призводить, оскільки пропорційно підвищенню щільності частот зменшується частота дискретизації, що компенсує одне одного.

На рис. 8 показано приклад відгуку фільтру на тестовий сигнал вигляду

$$x(t) = \frac{\sin(\omega t)}{\omega t}, \text{ що сконцентрований по}$$

спектру в смузі частот переходу від смуги подавлення до смуги пропускання фільтру, а на рис. 9 показано його спектр. Як видно з останнього рисунку, перехід зі смуг не є рівномірним, а має певні гармонійні пульсації (це відповідає теоретичним положенням), чого не було видно на загальній оцінці ЧХ (рис. 6).

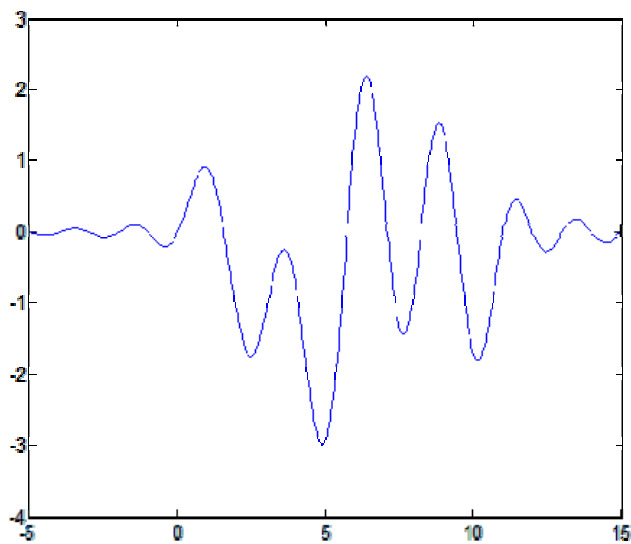


Рис.8. Налаштований тестовий сигнал для «точної ідентифікації»

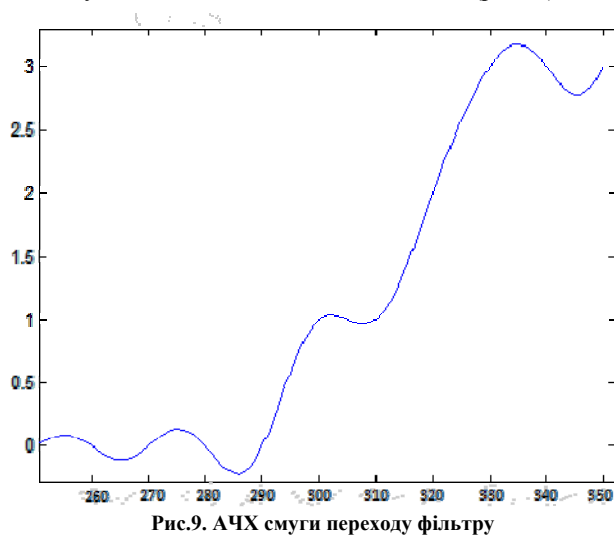


Рис.9. АЧХ смуги переходу фільтру

Таким чином, використання запропонованого підходу, дає змогу значно пришвидшити процес вимірювання ЧХ електричних кіл, підвищити точність вимірювання частотних амплітудних та фазових характеристик а із застосуванням тестових сигналів спеціальної форми (розроблених під конкретний випадок) і сучасних методів цифрової обробки сигналів ефективність даного підходу значно зростає. Слід зазначити, що збудження вимірювальних схем сигналами з одночасно сконцентрованими в часовій і частотній областях, дає змогу визначати частотні властивості електричних кіл на етапі встановлення режиму, що для рекурсивних схем іншими методами практично реалізувати неможливо.

Література

1. Сиберт У.М. Цепи, сигналы, системы: Учебное пособие для вузов В 2-х частях. Ч.1: Пер. з англ. – М.: Мир, 1988. – 336 с., ил. Ч.2: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 360 с., ил
2. Г.Н. Бочков, К.В. Горохов Полиспектральный анализ и синтез сигналов: Учебно-методический материал, Нижний Новгород, 2007, 113 с.
3. А. И. Тяжев Оптимизация цифровых детекторов в приемниках по минимуму вычислительных затрат: Учебное пособие, Самара, ПО Самвен, 1994. – 129 с.
4. Рекурсивные фильтры на микропроцессорах А.Г. Остапенко, А.Б. Сушков, В.В. Бутенко, В.И. Акимов, А.З. Завадовський. – М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.: ил.

References

1. Sybert U.M. Tsepy, syhnaaly, systemy: Uchebnoe posobyie dlia vuzov V 2-kh chastiakh. Ch.1: Per. z anhl. – М.: Myr, 1988. – 336 s., yl. Ch.2: Per. s anhl. – М.: Myr, 1988. – 360 s., yl. . [in Russian]
2. H.N. Bochkov, K.V. Horokhov Polyspektralnyi analiz y syntezy syhnalov: Uchebno-metodycheskyi materyal, Nyzhnyi Novhorod, 2007, 113 s. . [in Russian]
3. A. Y. Tjazhev Optymyzacyja cyfrovyykh detektorov v pryemnykakh po mynymumu vychyslytel'nykh ztrat: Uchebnoe posobyie, Samara, PO Samven, 1994. – 129 s. . [in Russian]
4. Rekursyvnye fyl'try na mykroprocessorakh A.Gh. Ostapenko, A.B. Sushkov, V.V. Butenko, V.Y. Akymov, A.Z. Zavadvoskyyj. – М.: Radyo y svyazj, 1988. – 128 s.: yl. . [in Russian]