

ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ ФІЛЬТРІВ ІЗ ЗАДАНИМИ ЧАСТОТНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Юрчик Ю.К., магістрант, Тимохін О.В., ст. викл.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

Вступ. Для забезпечення стабільності та ефективності процесів виробництва, розподілу та споживання електроенергії у сучасній енергетиці використовується велика кількість автоматичних та автоматизованих систем. До таких систем відносяться: релейний захист, дистанційно кероване комутаційне обладнання, системи оперативного диспетчерського контролю, тощо. Для сумісної роботи даних пристроїв необхідним елементом є організація каналів зв'язку між цими пристроями, які дозволяють їм працювати сумісно (релейний захист) та, у разі необхідності, бути керованими людиною (диспетчерський контроль) [1].

Існуючі на наш час способи організації каналів зв'язку можуть бути умовно поділені на два типи: використання окремого каналу зв'язку (Ethernet, оптоволокно, радіорелейні канали, GSM та GPRS мережі, тощо) та організація каналу зв'язку шляхом використання вже існуючих комунікацій (ЛЕП, кабелі розподільчих мереж). На наш час використання у якості каналу зв'язку ЛЕП вважається неефективним через, відносно, меншу надійність (при обриву ЛЕП канал зв'язку стає непридатним, що особливо небезпечно для систем релейного захисту) та, зазвичай, через невеликі швидкості передачі даних. Проте, зі зменшенням класу напруги, зростає кількість вузлів та обладнання, що робить економічно неефективним побудову окремого каналу зв'язку. Також існують випадки (наприклад, збір інформації з лічильників розташованих у житлових будинках) коли побудова окремого каналу зв'язку є не лише економічно не вигідною, але й фізично це неможливо реалізувати. У цьому випадку використання у якості каналу передачі даних вже прокладених кабельних мереж є доцільним, оскільки не передбачає суттєвих і вартісних змін у самому обладнанні та може працювати без змін вже існуючої мережі (не потрібно прокладати нові інформаційні кабелі) [2].

Особливістю мереж низького класу напруги є значний рівень завад, тобто наявність високочастотних складових, які створюють суттєву перешкоду під час передавання сигналу. Вплив цього фактору може бути зменшений шляхом використання широкосмугових сигналів, які передбачають для передачі інформації не окремо виділену конкретну частоту, а спектр частот. Таке рішення суттєво збільшує завадостійкість відповідного типу сигналів і дозволяє передавати дані навіть у середовищі з великим рівнем завад [3].

Оскільки АЧХ та ФЧХ середовища нелінійні, то перед тим як обробляти сигнал, його необхідно корегувати так званим фазочастотним коректором. Цей пристрій є певним електричним ланцюгом, АЧХ та ФЧХ якого задані наперед.

Мета роботи. Провести огляд основ побудови фільтрів із заданими наперед частотними характеристиками.

Матеріали дослідження. Під час проектування ланцюгів із заданими частотними характеристиками, зазвичай, необхідно, щоб АЧХ такого ланцюга залишалась частото незалежною (або, іноді, лінійною) в той час як ФЧХ змінювалася у заданому частотному діапазоні за певною функцією $\varphi(x)$. Ця функція визначається наперед і є, фактично, основним критерієм побудови пристрою [4].

Такі пристрої можуть бути реалізовані у вигляді лінійних електронних ланок, передатні функції $K(p)$ яких визначаються залежністю

$$K(p) = \frac{HV(-p)}{V(p)}, \quad (1)$$

де H – постійний коефіцієнт; $V(p)$ – поліном Гурвіца.

Таким чином, найвищий степінь цієї функції, фактично, визначається максимальним степенем поліному Гурвіца, що використовується.

Відому передатну функцію (1) можна фізично реалізувати шляхом використання електричної ланки типу RC чи LC. До того ж електрична ланка певного степеню n може бути фізично реалізовано шляхом каскадного з'єднання ланок меншого степеню. У даному випадку передатні функції кожної з каскадно-з'єднаних ланок будуть перемножуватися між собою, тому передатну функцію (1) можливо представити у вигляді

$$K(p) = \frac{a_0 - p}{a_0 + p} \prod_{i=1}^r \frac{a_0 - a_{1i}p + p^2}{a_0 + a_{1i}p + p^2}. \quad (2)$$

Таким чином, можна стверджувати, що кожний співмножник представляє окрему електричну ланку RC чи LC типу і буде реалізований ланкою першого (для множника $\frac{a_0 - p}{a_0 + p}$) чи другого (для множника $\frac{a_0 - a_{1i}p + p^2}{a_0 + a_{1i}p + p^2}$) порядку.

Параметри електричних елементів для ланки першого порядку визначаються за формулами

$$L_a = \frac{R}{a_0}, \quad C_b = \frac{1}{a_0 R}, \quad (3)$$

де a_0 – коефіцієнти полінома Гурвіца першого степеню; R – опір навантаження, зазвичай постійний заданий наперед.

Схема такої ланки першого порядку наведена на рис. 1.

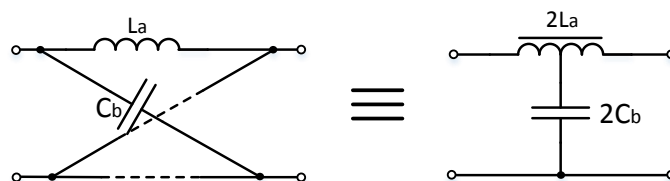


Рисунок 1 – Фазні контури 1-го порядку

Параметри електричних елементів для ланки другого порядку аналогічні попереднім, формули для розрахунку параметрів елементів

$$L_a = \frac{a_1 R}{a_0}, C_a = \frac{1}{a_1 R}, L_b = \frac{R}{a_1}, C_b = \frac{a_1}{a_0 R}. \quad (4)$$

Схеми фазних контурів наведені на рис. 2.

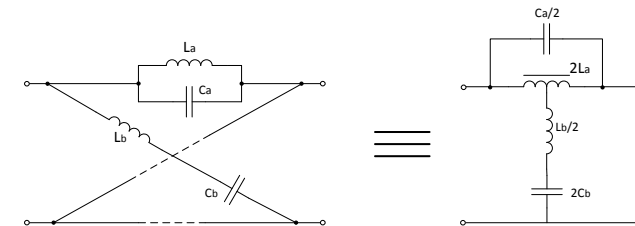


Рисунок 2 – Фазні контури 2-го порядку

Таким чином, побудований фільтр є каскадним з'єднанням окремих ланок, кожна з яких це один з наведених вище фазних контурів першого чи другого порядку.

Схему зводять до фазних контурів саме першого чи другого порядку, оскільки зі збільшенням порядку суттєво зростає складність ланки (фазного контуру) та кількість елементів у ній. Кількість ланок у наведеному фільтрі визначається степенем поліному Гурвіца, оскільки зі збільшенням степеню цього полінома збільшується кількість множників при його розкладанні, як показано у формулі (2). Зі збільшенням степеню полінома Гурвіца збільшується кількість точок у характеристиці ФЧХ фільтру, а значить точніше ФЧХ цього фільтру може повторити функцію $\varphi(x)$. Проте зі збільшенням степеню полінома Гурвіца, як вказано вище, зростає і кількість елементів фільтру і, як наслідок, його складність і вартість. Тому необхідно використовувати поліном найменшого з можливих степенем не порушуючи критерій максимально близького відтворення функції $\varphi(x)$.

Ступінь достовірності відтворення поліномом функції $\varphi(x)$ визначається шляхом обчислення загальної похибки.

У задачах синтезу електронних кіл найбільшого розповсюдження знайшли методи рівномірного чисельного наближення заданих залежностей функціями певного класу. Дана обставина зумовлена тим, що саме ці методи дозволяють або розрахувати електронне коло визначеного наперед ступеню складності що буде відтворювати задані характеристики з мінімальними відхиленнями, або задовільними заданим вимогам щодо мінімальності числа елементів.

З огляду на це, вищезазначена задача про найкраще рівномірне наближення може бути сформульована наступним чином. Нехай на відріжку $[a, b]$ задана неперервна функція $\Psi(x)$. Потрібно знайти такі значення компонентів вектора $c = [c_1, c_2, \dots, c_n]$ функції $f(x, c)$ заданого класу, при котрих на відріжку $[a, b]$ найбільше відхилення значення зваженої різності було б мінімальне з можливих. Значення зваженої різності може бути знайдене за формулою (5).

$$\Delta(x, c) = W(x)[f(x, c) - \Psi(x)]. \quad (5)$$

У формулі (5) коефіцієнт $W(x)$ – певний ваговий коефіцієнт, що може приймати різні невід'ємні значення. Постановка задачі при $W(x) = 1$ є

прикладом так званої Чебишевської апроксимації. Розглянемо процес синтезу електронного кола за допомогою апроксимації даного типу на конкретному прикладі.

Нехай потрібно розрахувати лінію затримки, у якій в полосі частот

$0 \leq \omega \leq 2\pi 3.4 * 10^3$; $\tau = 147,06$ мкс допустима величина відхилення ФЧХ від лінійної $\Delta\theta_m = 0,03$ рад.

Знаходимо нормовану крутизну фази:

$$\omega_0 t_0 = \frac{\omega_0 \tau_0}{2} = \pi * 3,4 * 10^3 * 147,06 * 10^{-6} = 1,5708.$$

Та допустиму величину відхилення:

$$L \leq tg \frac{\Delta\theta_m}{2} = tg 0,015 = 0,01.$$

Використовуючи графіки [3, с. 44, рис. 2.11] знаходимо, що мінімальна ступінь поліному (2) повинна бути рівна 2. Згідно цих даних може бути вирішена задача апроксимації. Оберемо систему точок: $x_{11} = 0,285$; $x_{21} = 0,775$; $x_{31} = 1$.

Для подальшого розрахунку необхідними є значення нулів поліному Гурвіца. Для їх знаходження можуть бути використані табличні значення [3, с. 45 – 46, табл. 2.2]. Знаючи, що степінь поліному рівна 2 та прийнявши $\omega_0 t_0 = 1,6$ знайдемо значення нулів поліному $\Lambda_{1,2} = -0,743794 \pm j0,651771$.

Знаходимо границю полоси частот:

$$\omega'_0 = \frac{2\omega_0 t_0}{\tau} = 21,76 * 10^3.$$

Нулі поліному Гурвіца $V(\Lambda)$ у даному випадку будуть:

$$p_{1,2} = \omega'_0 \Lambda_{1,2} = (-1,6185 \pm j1,41825) * 10^4.$$

За коренями поліному знаходимо остаточний поліном:

$$V(p) = 4,63098 * 10^8 + 3,2370 * 10^4 p + p^2.$$

За допомогою формул (3) та (4) знаходимо значення елементів LC ланок, що і є остаточним рішенням поставленої задачі.

Висновки. Нелінійність частотних характеристик РЕМ (0,4...10) кВ потребує застосування додаткових засобів для зменшення їх впливу на процес розповсюдження інформаційних сигналів РЕМ (0,4...10) кВ, одним з яких можуть бути коригуючі фільтри із заданими частотними характеристиками. Аналіз показав можливість побудови фільтрів із заданими частотними характеристиками за допомогою полінома Гурвіца. Схемна реалізація фільтра можлива при приведенні поліному до ряду (2), кожен з елементів якого реалізується схемним рішенням, параметри якого легко розраховуються на основі коефіцієнтів полінома.

Перелік посилань

1. Ильин В. А. Телеуправление и телеизмерение / В. А. Ильин. – М., «Энергоиздат», 1982. – 560 с.
2. Микулицкий Г. В. Высокочастотная связь полиниам электропередач / Г. В. Микулицкий, В. С. Скитальцев – М., «Энергия», 1969. – 448 с.
3. Трифонов И. И. Расчет электронных цепей с заданными частотными характеристиками / И. И. Трифонов – М., «Радио и связь», 1988. – 304 с.
4. Барабашов Б. Г. Широкополосные системы связи и сигналы / Б. Г. Барабашов, М. М. Анишин – Ростов на дону, «Южный федеральный университет», 2008.