

СРАВНЕНИЕ ПО ЧУВСТВИТЕЛНОСТ НА АКТИВНИ ФИЛТРИ С РАЗЛИЧНИ РЕАЛИЗАЦИИ

Христина Спиридонова
hristinaspiridonova@abv.bg

**ВТУ“Тодор Каблешков“ София, ул. „Гео Милев“ №158
БЪЛГАРИЯ**

Ключови думи: активни филтри, чувствителност, предавателна функция, коефициент на апроксимация

Резюме: Активните филтри намират широко приложение в редица области - радиотехника, автоматика, измервателна техника и др. Сред предимствата им са по-малки размери и възможност да се съчетава филтрацията с усилване на сигнала.

Чувствителността на филтрите към измененията на параметрите на елементите им е от особено значение за стабилността на техните характеристики. Обикновено активните филтри са по-чувствителни в сравнение с техните пасивни прототипи. Затова една от основните цели при проектирането им е минимизиране на чувствителността.

От практическа гледна точка интерес представлява сравнението на различни реализации на активни филтри по чувствителност. Сравнителният анализ на резултатите определя метода на реализация, който най-точно отговаря на изискванията към характеристиките на филтъра за дадения случай и е важен етап от проектирането на филтъра. Поради липса на универсален критерий обаче, тази задача няма решение в общ вид, а се решава в зависимост от конкретните условия и изисквания към филтъра.

В настоящата работа е направено сравнение по чувствителност на активни филтри с различни реализации. За целта са използвани коефициентите на апроксимация, като са сравнени чувствителностите на филтри от първи и втори ред. Получени и анализирани са резултати за влиянието на параметрите на елементите върху чувствителността на филтъра. Получените резултати могат да се използват при проектиране на активни филтри.

1. Въведение

Функционирането на реалните устройства зависи от множество фактори (параметри), които отразяват особеностите на отделните елементи и условията за тяхното функциониране (технически параметри и параметри на външната среда). Отклонението на параметрите на елементите от номиналните им стойности, предизвикано от въздействие на температурата, технологични предпоставки или други дестабилизиращи фактори, води до разлика на реалните характеристики от идеалните.

Универсална мярка за оценка на изменението на дадена функция или характеристика е чувствителността ѝ. Най-общо тя се определя като зависимост на

функцията от вариации на стойността на определен параметър. Функцията може да бъде изходно напрежение, предавателна функция, амплитудно-честотна или фазочестотна характеристика и др., а параметърът може да е на елемент от схемата, координати на полюсите или нулите на предавателната функция и т.н. Когато става въпрос за филтри, обикновено се търси чувствителност на предавателната функция, респ. амплитудно-честотната (АЧХ) или фазочестотната (ФЧХ) характеристики [1,2,4,5,6].

Активните филтри (АФ) са по-чувствителни към изменения на параметрите на елементите им в сравнение с техните пасивни прототипи. Това е и една от причините за разработване на нови схеми, както на отделни звена, така и на АФ от по-висок ред.

Сравнителният анализ по чувствителност на различни реализации на АФ е важен етап при проектирането им. Той помага при оценка на стабилността и настройката на филтъра.

Макар че в литературата има много публикации, свързани с чувствителност на АФ [3,4,7,8], няма универсален критерий за сравнение. Оценката се прави в зависимост от конкретната схема и изисквания към филтъра.

В настоящата работата са определени чувствителности на предавателната функция на АФ по отношение на коефициентите на апроксимация. Сравнени са чувствителностите на филтри от първи и втори ред. Получени и анализирани са резултати за влиянието на параметрите на елементите на нискочестотен АФ от втори ред.

2. Чувствителност на предавателната функция на АФ по отношение на коефициентите на апроксимация

Както е известно от теорията [3], относителната чувствителност на една функция F от вариации на параметър k се определя като:

$$(1) \quad S_k^F = \frac{k}{F} \cdot \frac{\partial F}{\partial k}$$

Чувствителността на коефициента на предаване $K(j\omega)$ на АФ по отношение на произволен параметър k , може да се представи като:

$$(2) \quad S_k(j\omega) = \frac{\partial |K(j\omega)|}{\partial k} \frac{k}{|K(j\omega)|} + j \frac{\partial \varphi(\omega)}{\partial k} k = S_k^{|K|}(\omega) + j Q_k^\varphi(\omega)$$

В (2) $S_k^{|K|}(\omega)$ е относителната чувствителност на АЧХ на веригата, а $Q_k^\varphi(\omega)$ е относителната чувствителност на ФЧХ, като $|K|$ е модулът на коефициента на предаване, а φ е аргументът.

Определянето на чувствителността на честотните характеристики на филтъра може да се раздели на два етапа.

Единият е свързан с типа апроксимация на зададената АЧХ на филтъра. Тогава се определя влиянието на вариациите на коефициентите на избраната апроксимация за дадения филтър.

Вторият етап е свързан с конкретната схемна реализация. Тогава се оценява чувствителността на коефициентите на апроксимация към измененията на параметрите на елементите на филтъра.

Както е известно [3], предавателната функция на АФ е от вида:

$$(3) \quad K(p) = \frac{A(p)}{B(p)} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i p^{n-1}}{\sum_{j=0}^m b_j p^{m-1}}, \quad n \leq m$$

където А и В са полиноми на Хурвиц [3].

При най-често използваните полиномиални апроксимации (Бътървурт, Чебишев [3]) числителят е константа, а знаменателят В(р) може да се разложи, така че в разложението да присъстват множители от вида:

$$(4) \quad B_1(p) = \frac{1}{1+b_0p}$$

$$(5) \quad B_2(p) = \frac{1}{1+b_1p+b_2p^2}.$$

Зависимост (4), която е от първи ред, представлява предавателна функция на пасивна RC-верига, а функцията от втори ред (5) може да се реализира като каскадно свързани звена.

3. Сравнение на чувствителностите на предавателната функция по отношение на коефициентите на апроксимация

Както е известно [1,3], в теорията на филтрите се прави нормиране по честота, при което изчисляването на различните типове филтри, се привежда към филтър-прототип, в качеството на който се приема обикновено нискочестотният филтър (НЧФ). Характеристиките на високочестотния филтър (ВЧФ), лентовия и режекторния се получават от тези на НЧФ чрез съответното преобразуване на честотата [3]. Поради това се разглеждат чувствителностите на НЧФ.

Чувствителността на предавателната функция на НЧФ от първи ред спрямо коефициента на апроксимация b_0 е:

$$(6) \quad S_{b_0} = -\frac{1}{1 + \frac{1}{b_0^2 \Omega^2}},$$

където Ω е нормираната честота.

От (6) се вижда, че чувствителността зависи от честотата и по абсолютна стойност не превишава единица.

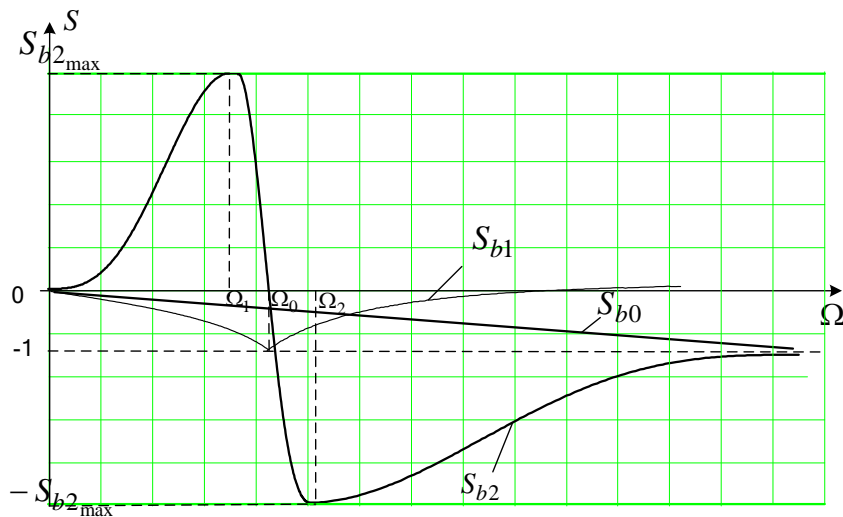
Чувствителността на АЧХ на НЧФ от втори ред, както се вижда от (5), зависи от два коефициента - b_1 и b_2 .

Спрямо коефициента b_2 тя се определя като:

$$(7) \quad S_{b_2} = \frac{b_2 \Omega^2 (1 - b_2 \Omega^2)}{(1 - b_2 \Omega^2)^2 + b_1^2 \Omega^2},$$

а спрямо b_1

$$(8) \quad S_{b_1} = -\frac{b_1^2 \Omega^2}{(1 - b_2 \Omega^2)^2 + b_1^2 \Omega^2},$$



Фиг. 1

На фиг. 1 са показани измененията на (6), (7) и (8) спрямо нормираната честота. Чувствителността S_{b2} достига максимум при честоти:

$$(9) \quad \Omega_1 = \frac{\Omega_0}{\sqrt{1 + \frac{2}{Q}}}, \quad \Omega_2 = \frac{\Omega_0}{\sqrt{1 - \frac{2}{Q}}}$$

където

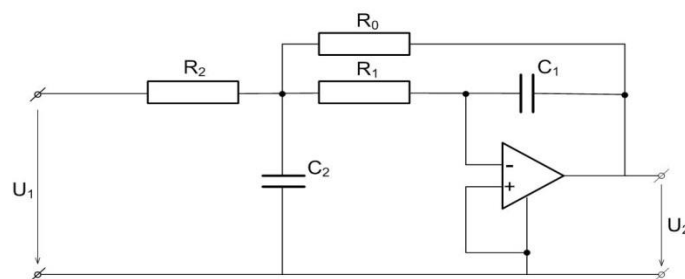
$$(10) \quad \Omega_0 = \frac{1}{\sqrt{b_2}},$$

$$(11) \quad Q = \frac{2\sqrt{b_2}}{b_1} \text{ е качествен фактор на НЧФ [3].}$$

При честота Ω_0 S_{b2} сменя знака си, а S_{b1} е максимална (по модул) и е равна на 1.

Получените зависимости за чувствителностите на предавателната функция на АФ по отношение на коефициентите на апроксимация могат да се използват като тегловни функции при изследване влиянието на параметрите на конкретни елементи от схемната реализация на филтъра.

Това е направено за НЧФ от втори ред с операционен усилвател (ОУ), даден на фиг.2.



Фиг.2.

Апроксимационните коефициенти в (5) за филтъра са:

$$(12) \quad b_1 = C_1 R_1 \left(1 + \frac{R_0}{R_1} + \frac{R_0}{R_2} \right)$$

$$(13) \quad b_2 = C_1 C_2 R_1 R_0$$

За опростяване коефициентът на усилване на ОУ е приет за безкрайно голям, поради което не участва в изрази (12) и (13).

Чувствителността на коефициенти (12) и (13) спрямо изменението на параметъра на всеки от елементите на филтъра е дадена в табл.1.

Табл.1.

λ	C_1	C_2	R_1	R_2	R_2
$S_{\lambda}^{b_1}$	1	0	$1 - \frac{\frac{R_0}{R_1}}{1 + \frac{R_0}{R_1} + \frac{R_0}{R_2}}$	$\frac{1 + \frac{R_0}{R_1}}{1 + \frac{R_0}{R_1} + \frac{R_0}{R_2}}$	$1 - \frac{1}{1 + \frac{R_0}{R_1} + \frac{R_0}{R_2}}$
$S_{\lambda}^{b_2}$	1	1	1	0	0

5. Изводи

От получените резултати могат да се направят следните изводи:

- абсолютната стойност на чувствителността на апроксимационните коефициенти на НЧАФ от втори ред е по-малка от единица;
- чувствителността на апроксимационния коефициент b_1 към изменение на активното съпротивление на резисторите зависи от тяхното съотношение и практически може да бъде намалена;
- за всеки от апроксимационните коефициенти има елемент от схемата, чийто параметър не влияе върху неговата чувствителност.

Литература

- [1.] Гехер К. Теория чувствительности и допусков электронных цепей. М.: Сов. радио, 1993.
- [2.] Prasad S.C., Singh R.P. Group delay sensitivity-its estimation and application. The Radio and Electronic Engineer, 2005
- [3.] Трифонов И.И. Расчет электронных цепей с заданными частотными характеристиками. - М.: Радио и связь, 1988.
- [4.] Чернева Г. Оптимална филтрация на сигнал, предаван в канал със случайни параметри. Научен семинар Комуникации, електроенергетика и информатика в транспорта 2016, сп. «Механика, транспорт, комуникации», ISSN 1312-3823, том 14, бр.3/2 2016, стр. XI 87- XI 95
- [5.] Cherneva G., Andonov A. Theoretical and probability Analysis of Frequency Selective Circuits, Journal Advances in Electrical and Electronic Engineering, Journal of the University of Zilina. ISSN 1336-1376, № 3/2008 p.437-439
- [6.] Чернева Г., А. Андонов. Чувствителност и динамична оптимизация на честотно-селективни електрически вериги, сп. „Механика, транспорт, комуникации”, ISSN 1312-3823,1/2008 , стр. 7.1-7.4
- [7.] Чернева Г., А. Андонов. Оценка на параметричната чувствителност на честотно-селективни електрически вериги чрез енергийните характеристики на

елементите им, сп. "Механика, транспорт, комуникации", ISSN 1312-3823, 2/2008 , стр.7.1-7.5

[8.] Чернева Г., А. Андонов. Инвариантни преобразувания и чувствителност на електрически вериги. IV Scientific Conference with International Participation SENS 2008, Bulgarian Academy of Sciences, 4-6.06.2008., стр.81-84

SENSITIVITY COMPARISON OF ACTIVE FILTERS WITH VARIOUS REALIZATIONS

Hristina Spiridonova
hristinaspiridonova@abv.bg

*Todor Kableshkov University of Transport
Geo Milev Str. 158, 1574 Sofia
BULGARIA*

Key words: *active filters, sensitivity, transmit function, coefficient of approximation*

Abstract: *Active filters are widely used in a number of areas - radio, automation, measuring equipment, and more. Among their advantages are smaller sizes and the ability to combine filtration with signal amplification. Sensitivity of filters to changes in the parameters of their elements is of particular importance for the stability of their characteristics. Typically, active filters are more sensitive than their passive prototypes. Therefore, one of the main goals in their design is to minimize sensitivity. From a practical point of view, it is interesting to compare different conversions of active sensitivity filters. The benchmarking of the results determines the realization method that most accurately meets the requirements of the filter for the given case and is an important stage in the design of the filter. However, due to the lack of a universal criterion, this task does not have a general solution but is decided according to the particular conditions and requirements of the filter. In this work, a sensitivity comparison of active filters with different conversions is made. The statistical properties of the amplitude-frequency response of several active filters in the sixth order were studied. For this purpose, the coefficients of approximation were used by comparing the sensitivity of the first and second order filters. Results on the influence of the parameters of the elements on the sensitivity of the filter are obtained and analyzed. The results obtained can be used in the design of active filters.*