Механика
Транспорт
Комуникации
Научно списание

ISSN 1312-3823
брой 2, 2008 г.
статия № 0227
http://www.mtc-aj.com

ОЦЕНКА НА ПАРАМЕТРИЧНАТА ЧУВСТВИТЕЛНОСТ НА ЧЕСТОТНО СЕЛЕКТИВНИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ВЕРИГИ ЧРЕЗ ЕНЕРГИЙНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ЕЛЕМЕНТИТЕ ИМ

Галина Чернева, Антонио Андонов
cherneva@vtu.bg, andonov@vtu.bg

ВТУ "Т. Каблешков" - София 1574, БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: *Чувствителност, оптимизация, филтри, честотно селективни електрически вериги*

Резюме: *В настоящата работа се предлага един подход за оптимизация на показателите за ефективност на честотно селективни електрически вериги на база на количествена оценка на реактивната енергия на елементите им.*

1.Въведение

Енергийните функции на електрическите вериги (активни, реактивни мощности и енергии) са показател за ефективността на веригата и определят масата и габаритите на елементите им. Най-универсалният метод за анализ на енергийните функции е основан на теоремата на Теледжен [2]. Но съществува енергийната теория за чувствителността на електрическите вериги [1,4], съгласно която енергийните функции са свързани с параметричната чувствителност на веригата. В литературата са добре изследвани енергийните функции на реактивните двуполюсници [1,5], но на четириполюсниците и в частност на LC филтрите, е отделено по-малко внимание.

В настоящата статия се изследва връзката на реактивната енергия на елементите на честотно селективни електрически вериги с техните външни характеристики (предавателна функция, коефициент на отражение) с цел оптимизация на показателите за ефективност на веригата. Изследването е направено на база на LC пасивен филтър.

2. Връзка между параметрична чувствителност и енергийни характеристики

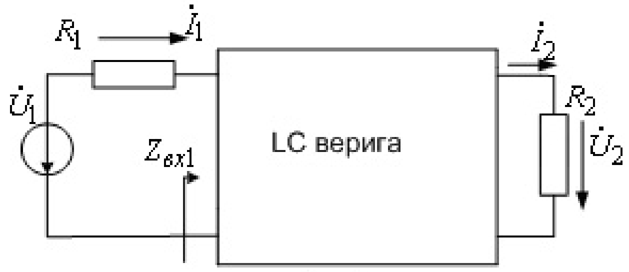
Съгласно [4,5] параметричната чувствителност на предавателната функция на натоварен реактивен четириполюсник, фиг.1, по отношение на реактивния елемент Z_k от LC веригата, се определя като:

(1) $\left|S_k(j\omega)\right| = \left|\dfrac{\partial H(j\omega)}{\partial Z_k}\dfrac{Z_k}{H(j\omega)}\right| = \dfrac{\omega}{2\left|H(j\omega)\right|}\sqrt{\dfrac{W_{k1}W_{k2}}{P_{1m}P_{2m}}}$,

където: W_{k1} и W_{k2} е енергията, натрупана в елемента при право и обратно включване;

$H(j\omega) = |H|e^{j\varphi(\omega)}$ е нормираната комплексна предавателна функция на четириполюсника с модул $|H|$ и е фазова характеристика $\varphi(\omega)$;

$P_{1m} = \dfrac{U_1^2}{4R_2}$ и $P_{2m} = \dfrac{U_1^2}{4R_1}$ са максималните средни мощности, предавани от източника към товара при право и обратно включване.



Фиг.1

За случая на симетричен четириполюсник: $W_{k1} = W_{k2} = W_k$; $R_1 = R_2$ и $P_{1m} = P_{2m}$. Тогава сумите от модулите на параметричната чувствителност за всеки вид от елементите на LC веригата от фиг.1 могат да се представят като:

(2) $\sum\limits_{k=1}^{N_L}\left|S_{L_k}\right| = \dfrac{\omega W_L}{4|H|P_{2m}}$; $\sum\limits_{k=1}^{N_C}\left|S_{C_k}\right| = \dfrac{\omega W_C}{4|H|P_{2m}}$,

където N_L и N_C са броят на съответните елементи, а W_L и W_C са съответните им сумарни реактивни енергии.

Въз основа на зависимости (1) и (2) следва, че сумата от чувствителностите на честотните характеристики по един вид елементи на честотно-селективната верига се определя от натрупаната в тях сумарна реактивна енергия.

На база на теоремата на Теледжен [2] за веригата от фиг.1 може да се запише:

(3) $I_1^*\dot{U}_1 = \sum\limits_k I_k^*\dot{U}_k = \sum\limits_k \left(U_k^* Y_k^*\right)\dot{U}_k = U_k^2 Y_k^*$,

където Y_k^* е комплексно спрегнатата проводимост а U_k е напрежението на на *к- ия* клон на честотно-селективната верига.

Уравнение (3) може да се преобразува във вида:

(4) $$I_1^2\left(Z_{вх1} + R_1\right) = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + j\omega\left[\sum_{i=1}^{N_L} I_i^2 L_i - \sum_{j=1}^{N_C} U_j^2 C_j\right] =$$
$$= I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + j\omega\left(W_L - W_C\right)$$

Приравнявайки реалните и имагинерни части на уравнение (4), се получава, че

(5) $$W_L - W_C = \frac{I_1^2 \operatorname{Im}\{Z_{вх1}\}}{\omega} = \frac{U_1^2 \operatorname{Im}\{Z_{вх1}\}}{\omega \left|R_1 + Z_{вх1}\right|^2} \quad .$$

Получената зависимост (5) показва, че разликата на магнитната и електрическа енергия на честотно-селективната верига се определя от реактивната съставяща на нейното входно комплексно съпротивление. При определени честоти (например в точките на съгласуване, когато $R_1 = Z_{вх1}$), имагинерната съставка на $Z_{вх1}$ става 0 и магнитната и електрическа енергии се изравняват.

Отново въз основа на теоремата на Теледжен за веригата от фиг.1, при въвеждане на комплексната честота $p = j\omega$, може да се запише:

(6) $$I_1^* \frac{d\dot{U}_1}{dp} + U_1^* \frac{d\dot{I}_1}{dp} = \sum_k \left[I_k^* \frac{d\dot{U}_k}{dp} + U_k^* \frac{d\dot{I}_k}{dp} \right] \quad .$$

Сумата в дясната част на уравнение (6) се развива за отделните елементи на веригата. За резистора R_1, може да се запише:

(7) $$I_1^* \frac{d\left(\dot{I}_1 R_1\right)}{dp} + I_1^* R_1 \frac{d\dot{I}_1}{dp} = 2 I_1^* R_1 \frac{d\dot{I}_1}{dp} \quad .$$

Аналогичен е изразът и за резистор R_2. За клоновете с индуктивности е в сила:

(8) $$I_i^* \frac{d\left(pL_i \dot{I}_i\right)}{dp} + I_i^* \left(-pL_i\right) \frac{d\dot{I}_i}{dp} = I_i^2 L_i \quad ,$$

а за капацитивните клонове:

(9) $$U_j^* \left(-pC_j\right) \frac{d\dot{U}_j}{dp} + U_j^* \frac{d\left(\dot{U}_j p C_j\right)}{dp} = U_j^2 C_j \quad .$$

Въз основа на (6), (7), (8) и (9) се получава:

(10) $$W = W_L + W_C = U_1^* \frac{d\dot{I}_1}{dp} - 2 I_1^* R_1 \frac{d\dot{I}_1}{dp} - 2 I_2^* R_2 \frac{d\dot{I}_2}{dp} \quad .$$

Като се има предвид, че

$$I_1^* = \frac{U_1^*}{R_1 + Z_{вх1}^*} \quad ,$$

то първите две събираеми на (10) могат да се преобразуват във вида:

(11) $$\frac{d\dot{I}_1}{dp}\left(U_1^* - 2 I_1^* R_1\right) = -\frac{d\dot{I}_1}{dp} U_1^* \left[\frac{R_1 - Z_{вх1}^*}{R_1 + Z_{вх1}^*} \right] = -\dot{U}_1 U_1^* \rho_1^* \frac{d}{dp} \left[\frac{1}{R_1 + Z_{вх1}} \right] .$$

където $Z_{вх1}^*$ е спрегнатият комплекс на входното съпротивление, а ρ_1^* е спрегнатият комплекс на коефициента на отражение

(12) $$\rho_1(j\omega) = \frac{R_1 - Z_{вх1}(j\omega)}{R_1 + Z_{вх1}(j\omega)} = \left|\rho_1\right| e^{j\varphi_1(\omega)} \quad .$$

Като се имат в предвид зависимости (11) и (12), след редица преобразувания, уравнение (10) се представя във вида:

(13) $$W_L + W_C = -\frac{U_1^2}{2R_1}\left[\rho_1^* \frac{d\rho_1}{dp} + H^* \frac{dH}{dp}\right] = -2P_{2m}\left[\left|\rho_1\right|^2 \frac{d\varphi_1}{d\omega} + \left|H\right|^2 \frac{d\varphi}{d\omega}\right].$$

Уравнения (5) и (13) дават възможност за определяне на сумарните реактивни енергии на елементите на честотно селективната верига.

3. Числен анализ на енергийните характеристики за класически LC филтри

На база на зависимости (5), (12) и (13) са получени изразите за реактивните енергии:

(14) $$W_C = -2P_{2m}\left[\left|\rho_1\right|^2 \frac{d\varphi_1}{d\omega} + \left|H\right|^2 \frac{d\varphi}{d\omega} + \frac{\mathrm{Im}\{\rho_1\}}{\omega}\right].$$

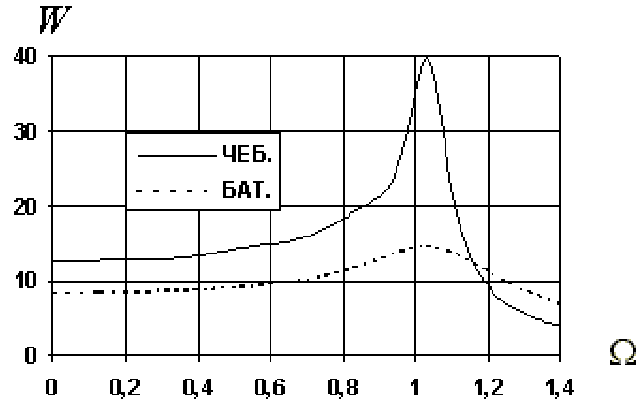
(15) $$W_L = -2P_{2m}\left[\left|\rho_1\right|^2 \frac{d\varphi_1}{d\omega} + \left|H\right|^2 \frac{d\varphi}{d\omega} - \frac{\mathrm{Im}\{\rho_1\}}{\omega}\right].$$

Въз основа на уравнения (14) и (15) са направени изчисления на максималните в лентата на пропускане нормирани реактивни енергии $\tilde{W}_L$ и $\tilde{W}_C$ на елементите за конкретни НЧФ [3]. Изчисленията са направени при двустранно съгласувано натоварване (R_1=R_2=1) и при нормирана максимална мощност, предавана от генератора към товара $P_{2m} = 1$. Резултатите са дадени в табл.1, а графичната зависимост на сумарната енергия $\tilde{W} = \tilde{W}_L + \tilde{W}_C$ от честотата за НЧФ от седми ред на Бътеруърт с неравномерност на затихването в лентата на пропускане Δa=1,25 dB и от осми ред на Чебишев с Δa=0,1 dB, е показана на фиг.1.

Табл.1

Филтър	□a, dB	a_0, dB	$\frac{d\tilde{\varphi}}{d\omega}$	$\tilde{W}_{Cm}$	$\tilde{W}_{Lm}$	$\tilde{W}_m$
ф. Бът., n=7	1.25	20	7.2	7.1	7.3	14.4
ф. Бът., n=13	1.25	41	15.9	15.4	16.4	31.8
ф. Чеб., n=8	0.1	43	17.55	17.7	17.4	35.1
ф. Чеб., n=12	0.1	77	40.4	40.3	40.5	80.8

От получените числени резултати могат да се направят следните изводи. Рреактивните енергии $\tilde{W}_L$ и $\tilde{W}_C$ на елементите на филтрите са приблизително еднакви и равни на $\frac{d\tilde{\varphi}}{d\omega}$. Максималните стойности на сумарната реактивна енергия съответстват на граничната честота Ω=1, като максимумът е извън областта на пропускане. С намаляване избирателността на филтъра (затихването a_0 в лентата на задържане при честота Ω=1,5 и реда *n* на филтъра), при едно и също Δa, намалява и реактивната енергия.



Фиг.1

4. Изводи

От изведените аналитични зависимости (2), (14), (15) и получените числени резултати следва, че реактивната енергия на елементите на честотно селективната верига по същество се определя от фазовите функции $\varphi(\omega)$ и $\varphi_1(\omega)$ и може да бъде изменена чрез тяхното вариране. Сумарната параметрична чувствителност за даден вид елементи може да се намали чрез минимизация на $\frac{d\varphi}{d\omega}$ на веригата. Минимизирането на реактивната енергия води до намаляване на сумарната параметрична чувствителност на веригата, т. е. до увеличаване на нейната устойчивост. По този начин въведеният в настоящата статия подход позволява реактивната енергия да се използва като комплексен показател за ефективността на честотно-селективната верига, определящ не само масата, и енергийни загуби, но и устойчивостта на честотните характеристики на веригата при параметрични вариации на нейните елементи.

Литература:

[1] Пенфильд П. и др**.** Энергетическая теория электрических цепей. / Пер. с англ. под ред. В.А. Говоркова. М.: Энергия, 1984

[2] Нейман Л.Р., К.С. Демирчян. Теоретические основы электротехники, 1,2 ч.. Л. Энергоизд., 1981

[3] Зааль Р. Справочник по расчету фильтров. / Пер. с нем. под ред. Слепова Н.Н.- М.: Радио и связь, 1983.

[4] Гехер К. Теория чувствительности и допусков электронных цепей. М.: Сов. радио, 1993.

[5] Prasad S.C., Singh R.P. Group delay sensitivity-its estimation and application. The Radio and Electronic Engineer, 1981

.