

UTJECAJ NEIDENTIČNOSTI UNUTARNJIH FILTARA NA AMPLITUDNO-FREKVENCIJSKU I FAZNO- FREKVENCIJSKU KARAKTERISTIKU BARBEROVIH FILTARA NISKIH FREKVENCIJA

Gordana Lukić, Veselko Tomljenović

Sažetak

Pokazano je da neidentičnost vremenskih konstanti filtara u kanalima uzrokuje pojavu prijenosne funkcije na frekvenciji signala i „parazitne“ prijenosne funkcije. U „parazitoj“ prijenosnoj funkciji pojavljuju se dvostruke modulirajuće frekvencije. Dana je analiza prijenosne funkcije na frekvenciji signala. Nisu uočena znatna izobličenja u amplitudno-frekvencijskoj i fazno-frekvencijskoj karakteristici. S povećanjem reda filtra, amplitudno-frekvencijska i fazno-frekvencijska karakteristika su još točnije, to jest utjecaj neidentičnosti se još više smanjuje. Jasno je da „parazitni“ signal ovisi o obliku ulaznog signala. Upravo on predstavlja donju granicu dinamičkog dijapazona. „Parazitni“ signal je zapravo nivo vlastitih šumova na izlazu filtra. Zato se pri projektiranju mnogokanalnih filtara mora voditi računa o „parazitnom“ signalu jer se tu traži visoka podudarnost amplitudno-frekvencijskih i fazno-frekvencijskih karakteristika pojedinih Barberovih filtara niskih frekvencija.

Ključne riječi: *amplitudno-frekvencijska karakteristika, fazno-frekvencijska karakteristika, mnogokanalni filter, neidentičnost, red filtra*

1. UVOD

Stvaranje mnogokanalnih filtara s identičnim amplitudno-frekvencijskim i fazno-frekvencijskim karakteristikama i mogućnost sinkronog upravljanja njima je jedan od aktualnih problema u različitim oblastima znanosti i tehnike. Na primjer, u sustavima dinamičkih ispitivanja gdje iz širokog spektra smetnji treba izdvojiti koristan signal. Osim toga, široka primjena digitalne tehnike zahtijeva veću točnost karakteristika upotrijebljenih filtara, njihovu veću stabilnost, što je osobito važno u suvremenim mnogokanalnim mjernim sustavima.

Mnogokanalni filtri moraju zadovoljavati sljedeće osnovne zahtjeve:

1. identičnost parametara filtra (amplitudno-frekvencijske i fazno-frekvencijske karakteristike);
2. velika stabilnost.

Iz toga slijedi da zadatak realizacije mnogokanalnih filtara treba rješavati filtrima s vanjskim etalonima, budući da oni posjeduju visokostabilne karakteristike, što je određeno vanjskim etalom. U tu grupu spadaju i barberovi filtri niskih frekvencija, čija je blok shema predstavljena u [1].

2. PRIJENOSNA FUNKCIJA

Ako su unutarnji filtri neidentični [1], može se napisati da su im prijenosne funkcije

$$H_1(p) = \frac{k}{(1 + pT)^n}, \quad (1)$$

$$H_2(p) = \frac{k}{(1 + p\gamma T)^n}. \quad (2)$$

U tom slučaju za $k = 1$ dobiva se da je prijenosna funkcija barberovog filtra niskih frekvencija

$$\begin{aligned} Y(p) = & \frac{1}{j4} \{ [H_1(p - j\Omega) - H_1(p + j\Omega)] + [H_2(p - j\Omega) - H_2(p + j\Omega)] + \\ & + \frac{E(p - 2j\Omega)}{E(p)} \cdot [H_1(p - j\Omega) - H_2(p - j\Omega)] - \\ & - \frac{E(p + 2j\Omega)}{E(p)} \cdot [H_1(p + j\Omega) - H_2(p + j\Omega)] \}. \quad (3) \end{aligned}$$

Iz (3) se vidi da prijenosna funkcija barberovih filtara niskih frekvencija ima članove koji sadrže udvostručenu frekvenciju modulacije koju možemo nazvati "parazitnom" prijenosnom funkcijom. Prema tome, prijenosna se funkcija kod neidentičnih kanala može predstaviti kao zbroj prijenosne funkcije na frekvenciji signala i "parazitne" prijenosne funkcije, tj.

$$Y(p) = Y_1(p) + Y_{2H}(p). \quad (4)$$

2.1. Prijenosna funkcija na frekvenciji signala

Iz (3), uzimajući u obzir (1), (2) i (4), slijedi da je

$$\begin{aligned} Y_1(j\omega) = & \frac{1}{j4} \left\{ \frac{1}{[1 + (p - j\Omega)T]^n} - \frac{1}{[1 + (p + j\Omega)T]^n} + \right. \\ & \left. + \frac{1}{[1 + (p - j\Omega)\gamma T]^n} - \frac{1}{[1 + (p + j\Omega)\gamma T]^n} \right\}. \quad (5) \end{aligned}$$

Ako se uzme da je

$$\omega_N = \frac{\omega}{\Omega}, \quad (6)$$

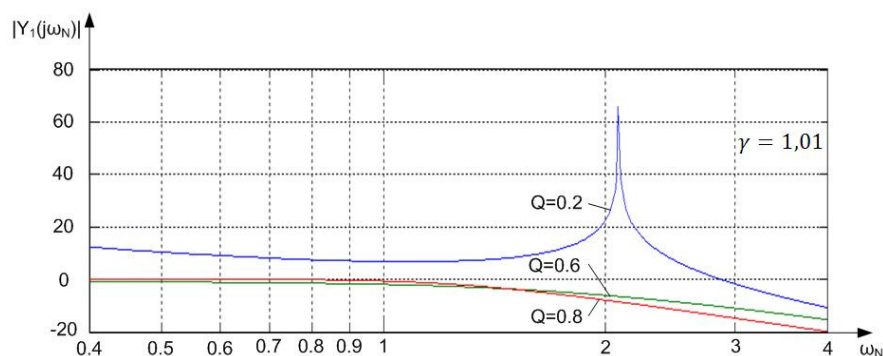
i

$$\Omega T = \sqrt{4Q^2 - 1}, \quad (7)$$

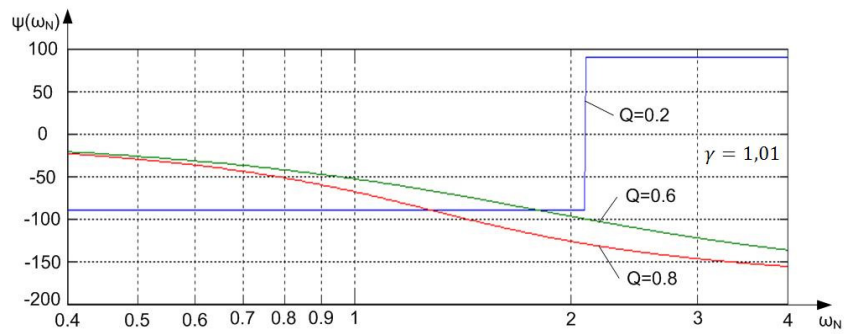
slijedi iz (5)

$$Y_1(j\omega_N) = \frac{1}{j^4} \left\{ \frac{1}{\left[1 + j\sqrt{4Q^2 - 1}(\omega_N - 1)\right]^n} - \frac{1}{\left[1 + j\sqrt{4Q^2 - 1}(\omega_N + 1)\right]^n} + \frac{1}{\left[1 + j\gamma\sqrt{4Q^2 - 1}(\omega_N - 1)\right]^n} - \frac{1}{\left[1 + j\gamma\sqrt{4Q^2 - 1}(\omega_N + 1)\right]^n} \right\}. \quad (8)$$

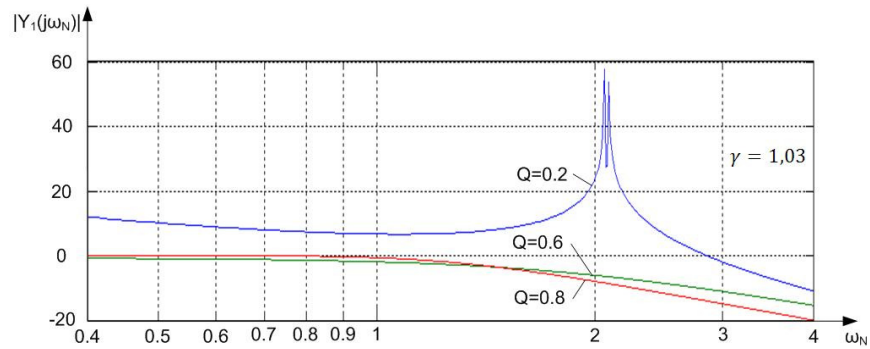
Za $n = 1$ iz (8) dobivaju se amplitudno-frekvencijske i fazno-frekvencijske karakteristike barberovog filtera niskih frekvencija drugog reda, koje su predstavljene na sl. 1 i sl. 2, za $\gamma = 1,01$ i $Q = 0,2$; $Q = 0,6$; $Q = 0,8$. Na sl. 3 i sl. 4 su amplitudno-frekvencijske i fazno-frekvencijske karakteristike za slučaj da je $\gamma = 1,03$.



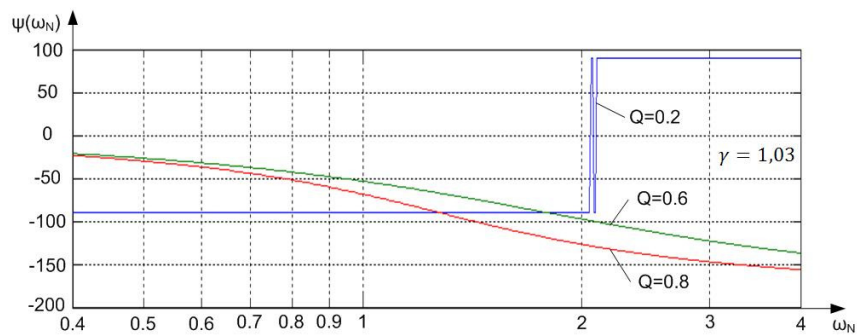
Slika 1.



Slika 2.

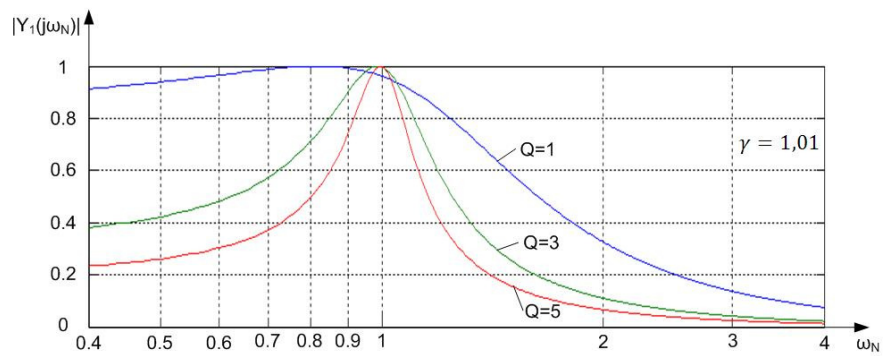


Slika 3.

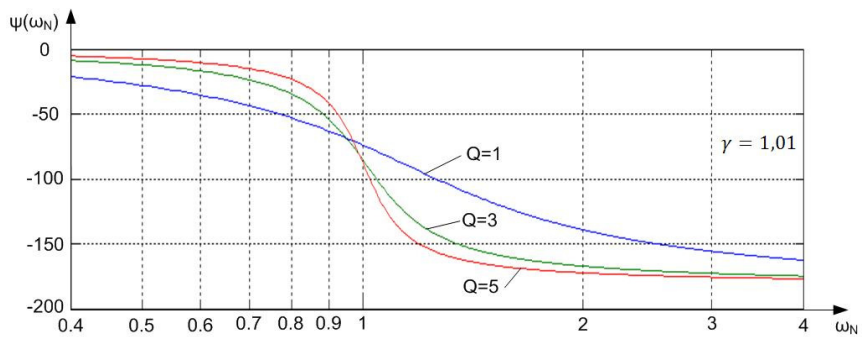


Slika 4.

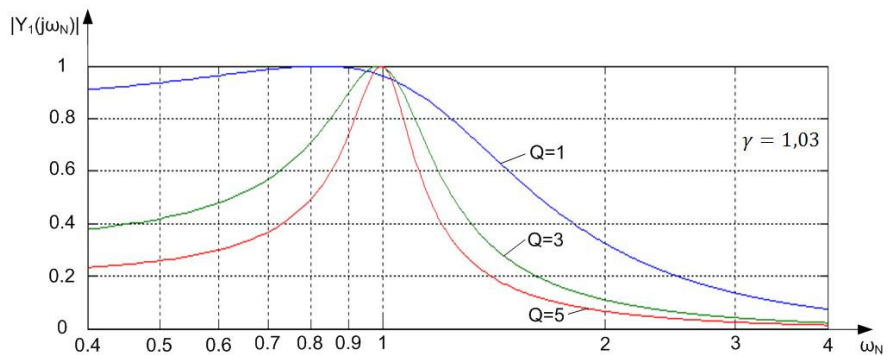
Na sl. 5 i sl. 6 pokazane su amplitudno-frekvencijske i fazno-frekvencijske karakteristike za $\gamma = 1,01$ i $Q = 1$; $Q = 3$; $Q = 5$. Za $\gamma = 1,03$ i $Q = 1$; $Q = 3$; $Q = 5$ pokazane su amplitudno-frekvencijske i fazno-frekvencijske karakteristike na sl. 7 i sl. 8.



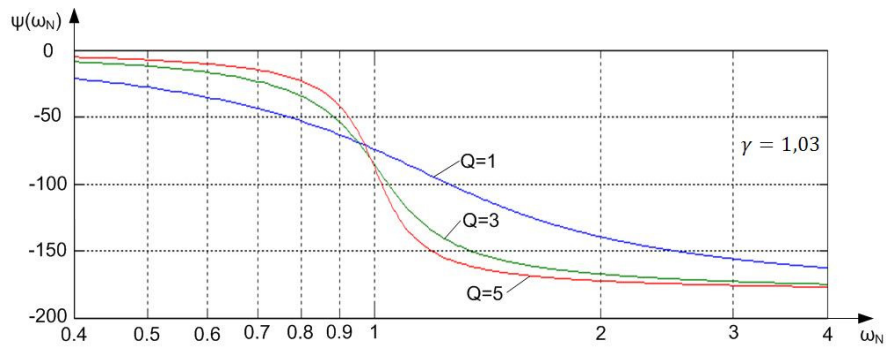
Slika 5.



Slika 6.

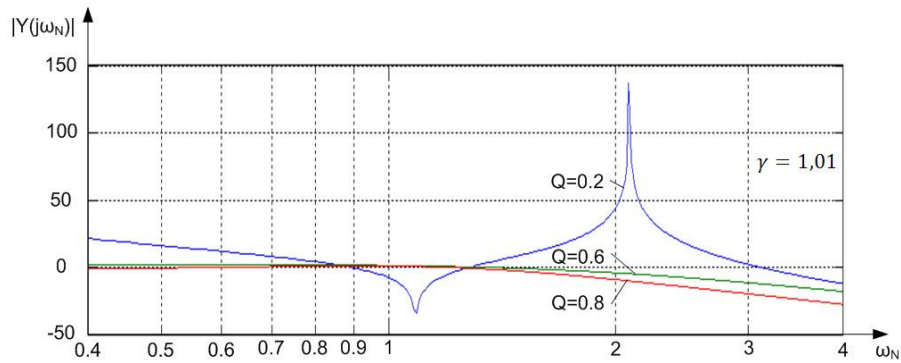


Slika 7.

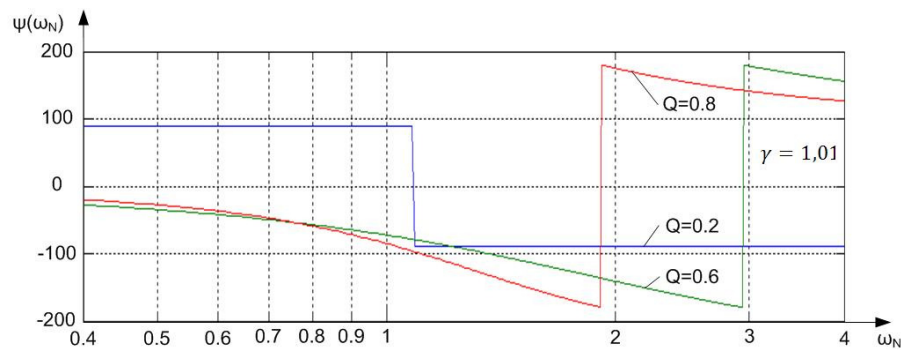


Slika 8.

Ako se uzme $n = 2$, dobiva se iz (8) prijenosna funkcija barberovog filtra niskih frekvencija četvrtog reda. Na sl. 9 i sl. 10 prikazane su amplitudno-frekvencijske i fazno-frekvencijske karakteristike barberovog filtra niskih frekvencija četvrtog reda za $\gamma = 1,01$ i $Q = 0,2$; $Q = 0,6$; $Q = 0,8$.

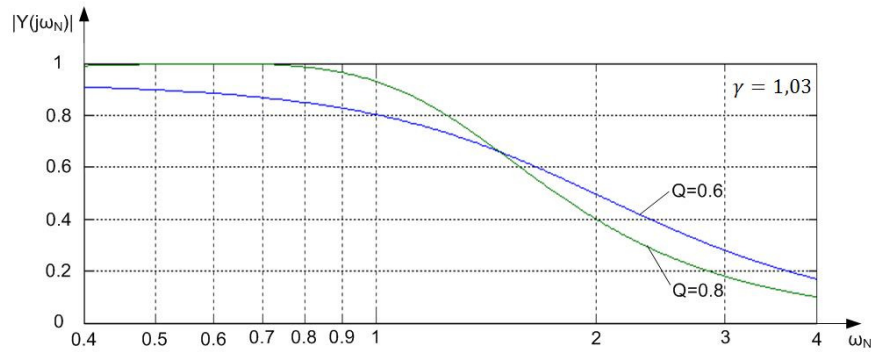


Slika 9.

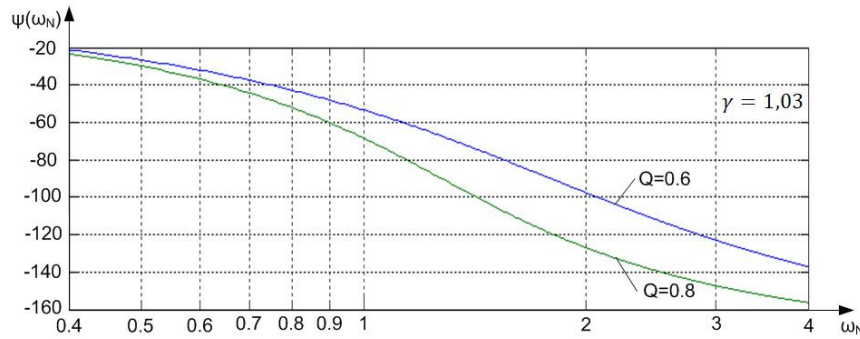


Slika 10.

Amplitudno-frekvencijske i fazno-frekvencijske karakteristike pokazane su na sl. 11 i sl. 12. za $\gamma = 1,03$ i $Q = 0,6$; $Q = 0,8$.

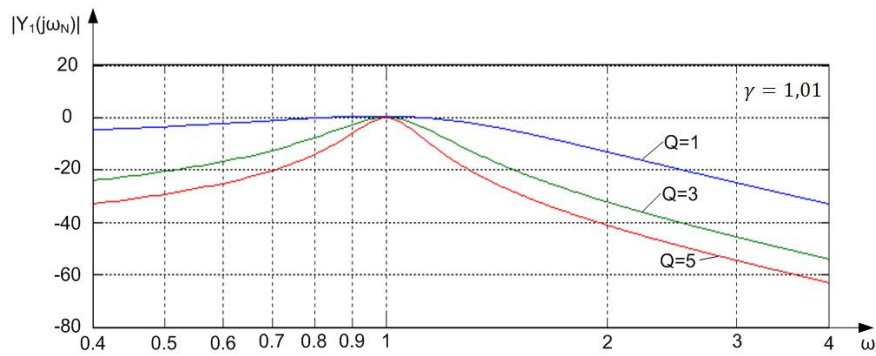


Slika 11.

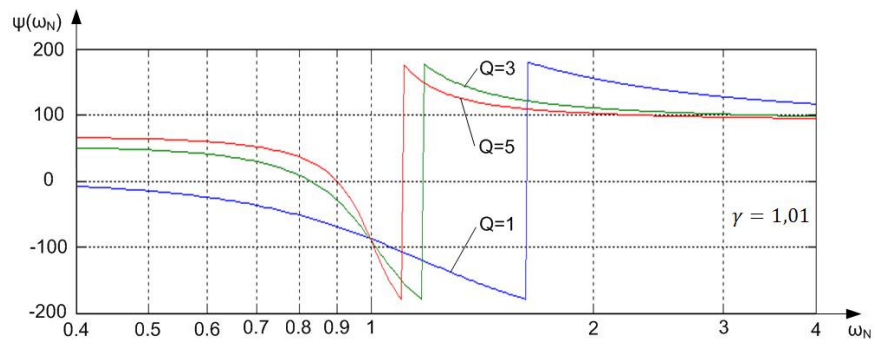


Slika 12.

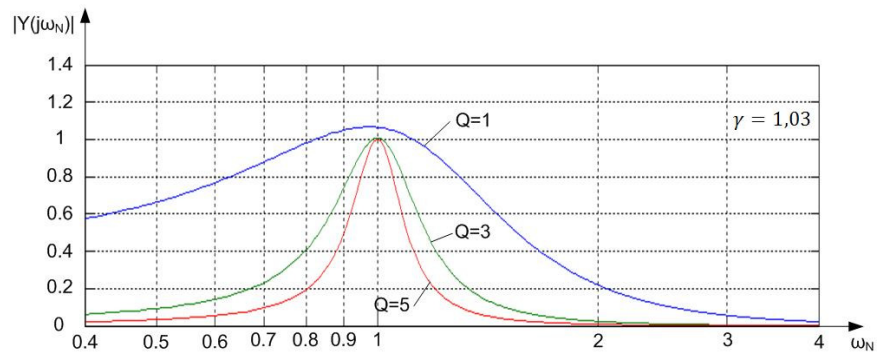
Na sl. 13 i sl. 14 su nacrtane amplitudno-frekvencijske i fazno-frekvencijske karakteristike za barberov filter niskih frekvencija četvrtog reda kada je $\gamma=1,01$ i $Q=1$; $Q=3$; $Q=5$. To isto je na sl.15 i sl. 16 u slučaju da je $\gamma=1,03$.



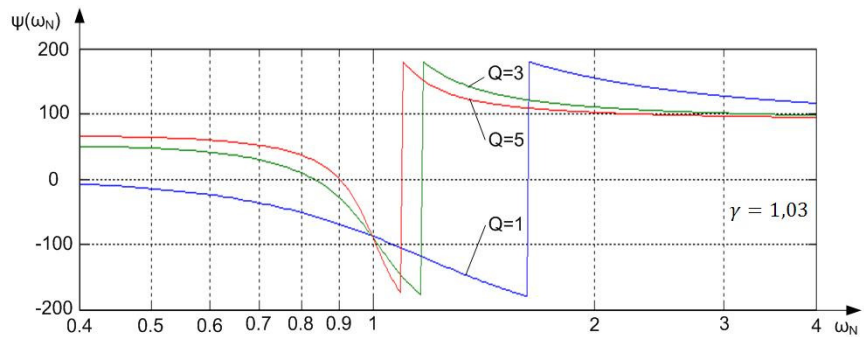
Slika 13.



Slika 14.

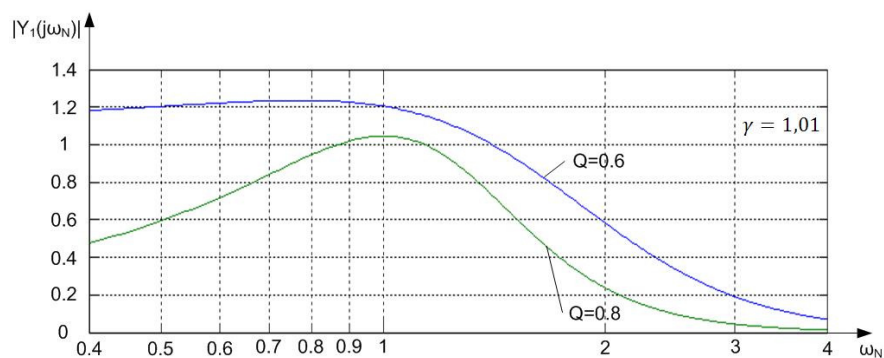


Slika 15.

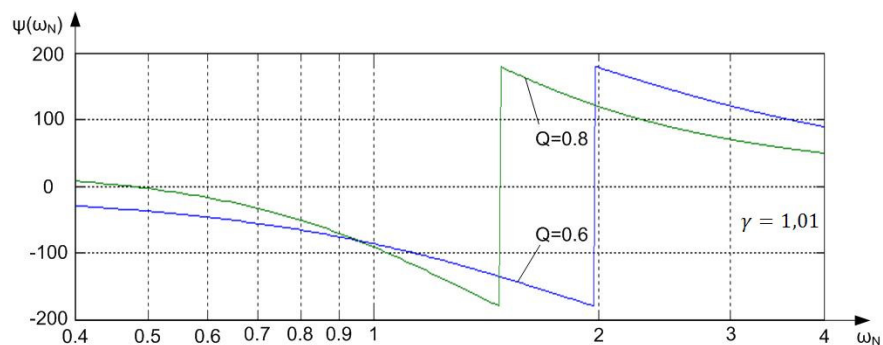


Slika 16.

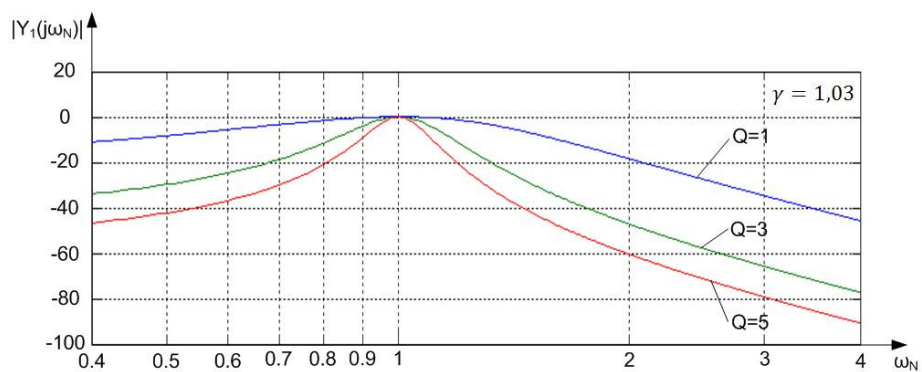
Na sl. 17 i sl. 18 pokazane su amplitudno-frekvencijske i fazno-frekvencijske karakteristike barberovog filtra šestog reda za $\gamma = 1,01$ i $Q = 0,6$ i $Q = 0,8$. To isto je prikazano na sl. 19 i sl. 20 za $Q = 1$; $Q = 3$; $Q = 5$.



Slika 17.

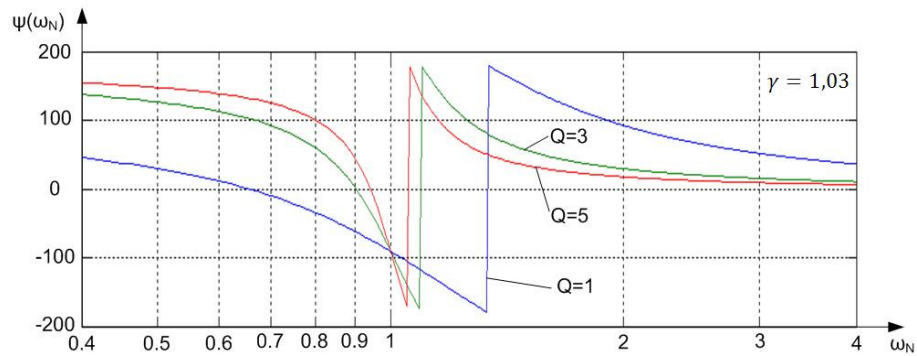


Slika 18.



Slika 19.

Analizirajući karakteristike vidi se da neidentičnost unutarnjih filtara ne unosi bitna izobličenja u amplitudno-frekvencijsku karakteristiku i fazno-frekvencijsku karakteristiku. Izobličenja koja se javljaju su posljedice dodatnih nula prijenosa čiji se utjecaj povećava porastom faktora Q i reda filtra.

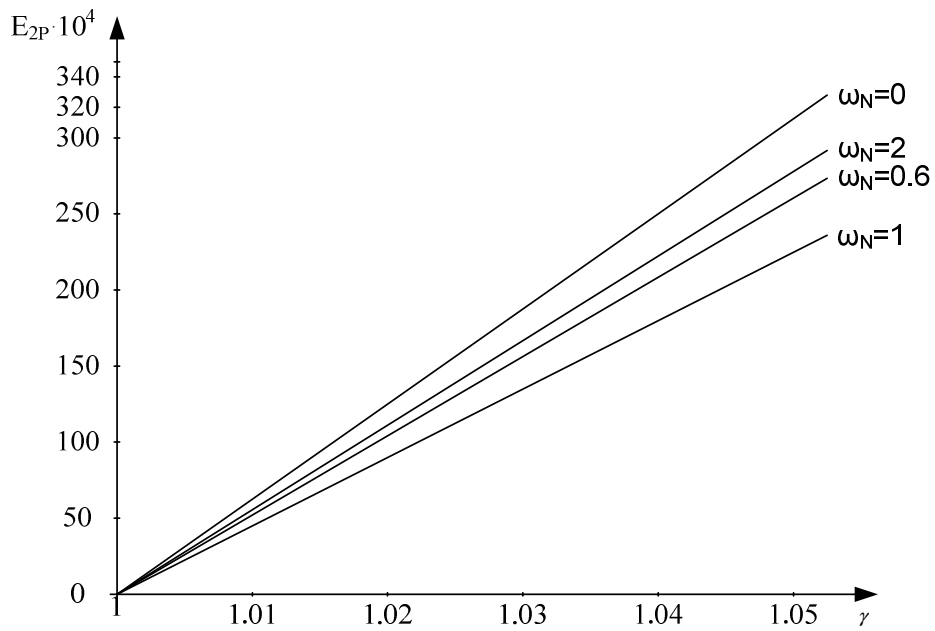


Slika 20.

2.2. "Parazitna" prijenosna funkcija

Iz (3) i (4) slijedi da je "parazitna" prijenosna funkcija

$$\begin{aligned}
 Y_{2H}(p) = & \frac{E(p - 2j\Omega)}{E(p)} \cdot [H_1(p - j\Omega) - H_2(p - j\Omega)] - \\
 & - \frac{E(p + 2j\Omega)}{E(p)} \cdot [H_1(p + j\Omega) - H_2(p + j\Omega)]. \quad (9)
 \end{aligned}$$



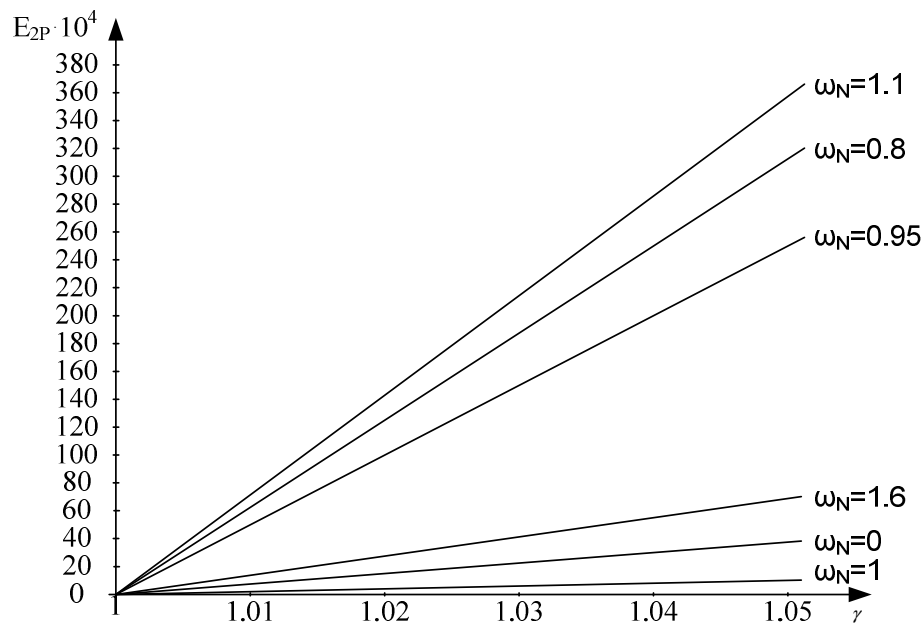
Slika 21.

Jasno je, iz (9) da "parazitna" prijenosna funkcija ovisi o obliku ulaznog signala.

Znajući ulazni signal, možemo iz (9) dobiti "paraziti" signal. Njegovo istraživanje se mora vezati uz određenu aplikaciju.

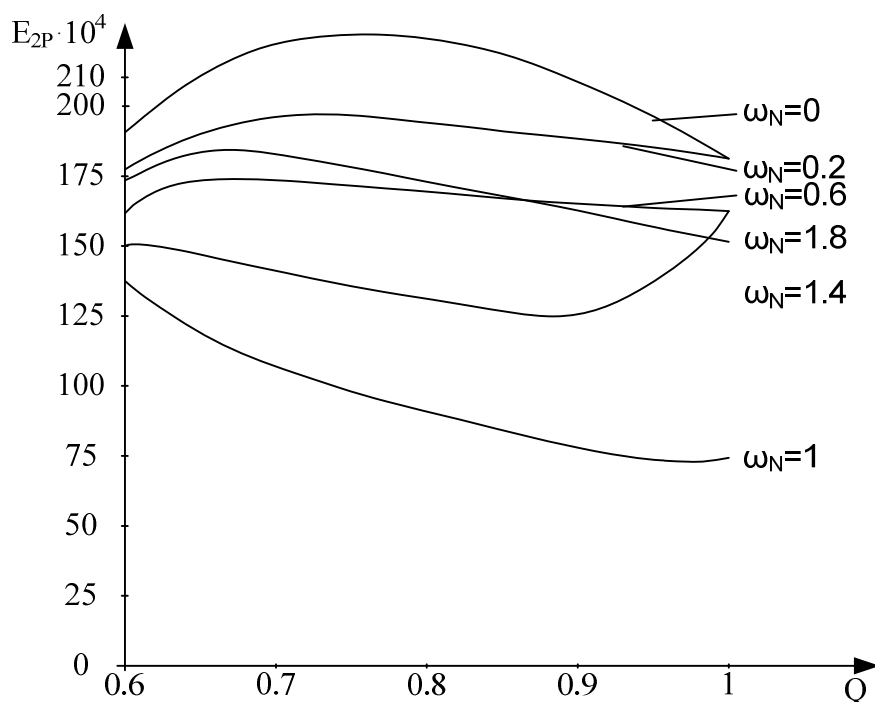
Ako je, na primjer, na ulazu sinusoidalni signal, tada će amplituda "parazitnog" signala ovisiti linearno o γ na svim frekvencijama bez obzira o kojem se redu filtra radi. Na sl. 21 prikazana je ovisnost "parazitnog" signala E_{2p} o γ barberovog filtra niskih frekvencija drugog reda pri $Q = 0,6$ i na raznim frekvencijama.

Analogna je situacija i za barberov filter niskih frekvencija četvrtog reda pri $Q = 3$, također na raznim frekvencijama, što je pokazano na sl. 22.



Slika 22.

Na sl. 23 pokazana je ovisnost amplitude "parazitnog" signala o faktoru Q pri $\gamma = 1,03$, gdje se vidi da je ta ovisnost manja nego u slučaju ovisnosti amplitude "parazitnog" signala o γ .



Slika 23.

3. ZAKLJUČAK

U slučaju neidentičnosti vremenskih konstanti amplitudno-frekvencijske i fazno-frekvencijske karakteristike imaju neznatne devijacije. Izobličenja do kojih dolazi nisu bitno uzrokovana neidentičnošću vremenskih konstanti. Međutim, zbog neidentičnosti vremenskih konstanti dolazi do pojave "parazitnog" signala. U njemu se pojavljuje udvostručena frekvencija modulacije. On ovisi o obliku ulaznog signala. Ako je ulazni signal sinusoidalan tada ovisnost "parazitnog" signala od neidentičnosti vremenskih konstanti je gotovo linearna. Osim toga, "parazitni" signal predstavlja donju granicu dinamičkog dijapazona. Poznavajući veličinu "parazitnog" signala, može se odrediti neidentičnost vremenskih konstanti, a time i točnost elemenata koji ih realiziraju. Polazeći od toga, moguće je zaključiti koliko ti elementi zadovoljavaju zahtjeve zadanog tehničkog zadatka, tj. može se provoditi izbor potrebnih elemenata.

Literatura

- [1] G. Lukić, V. Tomljenović, 2014. *Barberovi filtri niskih frekvencija*. Zbornik ELO
- [2] N.F. Barber, *Narrow band-pass filter using modulation*, *Wireless Eng.* 24, 132-134 May (1947).
- [3] O. V. Kustov, V. Z. Lundin, *Operacionnie usiliteli v lineinih cepiah*, Svjaz, Moskva, 108-111 (1978).