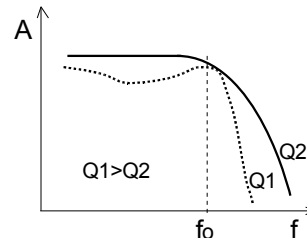
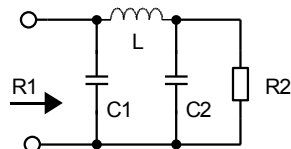


Dolnoprzepustowy filtr „PI” wynaleziony na początku ubiegłego wieku jest wciąż niezastąpionym ogniwnem filtrującym i dopasowującym w wielu układach wielkiej częstotliwości. Zapewnia szeroki zakres dopasowania impedancji przy jednoczesnym tłumieniu wyższych harmonicznych i dobrej sprawności.

## Układ filtru i podstawowe zależności.

Filtr „PI” składa się z indukcyjności szeregowej i dwóch pojemności równoległych. W tym układzie jest on filtrem dolnoprzepustowym. Filtr na schemacie jest obciążony rezystancją  $R_2$ , natomiast jego rezystancja wejściowa jest oznaczona jako  $R_1$ .



Od filtru „PI” wymagamy dopasowania określonych impedancji, na ustalonej częstotliwości (w określonym paśmie), z zachowaniem wymaganej sprawności i tłumienia harmonicznych. Wszystkie te dane musimy wziąć pod uwagę obliczając filtr.

Obliczenia rozpoczyna się od określenia dobroci roboczej  $Q$ . Musi być ona większa od wartości krytycznej  $Q_{kr}$  wynikającej ze wzoru:

$$Q \geq Q_{kr} = \sqrt{R_1 / R_2} - 1 \quad \text{dla } R_1 > R_2 \quad (1)$$

Dla wartości  $Q \approx Q_{kr}$  filtr zachowuje się jak filtr dolnoprzepustowy, a dla  $Q \gg Q_{kr}$ , jak obwód rezonansowy. Minimalna dobroć zależy od stopnia transformacji impedancji, nie jest jednak określona w sposób sztywny. Możemy ją wybrać uwzględniając inne istotne czynniki.

Od dobroci roboczej filtru, jak w każdym obwodzie rezonansowym, zależy jego sprawność, pasmo przenoszenia i co za tym idzie tłumienie harmonicznych.

Sprawność, definiowana jako stosunek mocy wydzielonej na obciążeniu do mocy doprowadzonej do filtru wyraża się wzorem:

$$\eta = (1 - Q / Q_0) \quad Q_0 - \text{dobroć własna} \quad (2)$$

Pasmo przenoszenia filtru:

$$B_{-3\text{dB}} = f_0 / Q \quad (3)$$

Tłumienie napięciowe  $n$ -tej harmonicznej:

$$A_n = n^3 (1 - 1 / n^2) Q \quad n - \text{numer harmonicznej} \quad (4)$$

Wybierając dobroć  $Q$  trzeba przeanalizować powyższe zależności. Im większą przyjmujemy dobroć, tym lepsze będą właściwości filtracyjne ale zwiększą się straty w filtrze. Często jedno ogniwo nie spełnia wymagań tłumienia harmonicznych, więc należy zastosować dwa lub więcej.

Dla wybranej ostatecznie dobroci roboczej  $Q$  możemy wyliczyć wartości elementów:

$$X_{C1} = R_1 / Q \quad (5)$$

$$X_{C2} = R_2 \sqrt{\frac{R_1 / R_2}{(Q^2 + 1) - R_1 / R_2}} \quad (6)$$

$$X_L = \frac{Q R_1 + (R_1 R_2 / X_{C2})}{Q^2 + 1} \quad (7)$$

$$C_{1,2} = \frac{1}{2\pi f_0 X_{C1,2}} \quad L = \frac{X_L}{2\pi f_0} \quad (8,9)$$

Filtr „PI”o tak obliczonych elementach transformuje rezystancję obciążenia  $R_2$  na zadaną rezystancję  $R_1$  na częstotliwości  $f_0$ . Zakres transformacji jest bardzo szeroki i możemy na wyjściu uzyskać rezystancję

wielokrotnie większą lub mniejszą od wejściowej. Przy częstotliwościach różnych od  $f_0$  impedancja wejściowa filtru nie jest już czysto rzeczywista. Im odstrojenie jest większe, tym większa jest reaktancja widziana na wejściu. Zmniejszenie dobroci filtru rozszerza jego pasmo czyli zmniejsza niedopasowanie dla tej samej odchyłki częstotliwości.

Jeśli układy dołączane do filtru mają pojemności wejściowe, to należy zmniejszyć obliczone pojemności filtru o ich wartość.

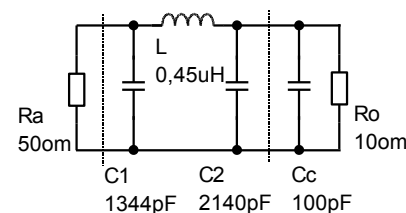
Korygując wartość dobroci Q możemy w pewnych granicach wpływać na wartości podzespołów i często osiągnąć dla indukcyjności i pojemności wartości z typowego szeregu.

Warto zauważyć, że po podstawieniu do zależności (6), wzoru (1) na dobroć krytyczną, wartość  $X_{C2}$  przyjmuje wartość nieskończenie dużą, co odpowiada zerowej pojemności C2. Wynika stąd, że dla dobroci krytycznej filtr „PI” przyjmuje postać ogniwa „L” (lub „Γ”, jak kto woli).

Podany sposób obliczania wartości elementów filtru „PI” wynika z kryterium dopasowania na określonej częstotliwości i nie jest optymalizowany na tłumienie poza pasmem. Filtr w takim samym układzie elektrycznym może być obliczany np. według wzorów Czebyszewa, aby uzyskać lepsze tłumienie. Dalsza poprawa filtracji wymaga zastosowania bardziej złożonych ogniw.

### Przykład.

Obliczyć filtr „PI” transformujący rezystancję anteny  $R_a=50\text{om}$  na wartość  $R_o=10\text{om}$  wymaganą dla obciążenia stopnia mocy nadajnika QRP, na częstotliwości  $f_0=7,1\text{MHz}$ . Sprawność filtru  $\eta > 90\%$ . Dobroć własna cewki  $Q_0=50$ . Tranzystor wyjściowy ma pojemność  $C_c=100\text{pF}$ .



$$Q_{kr} = \sqrt{50/10 - 1} = 2$$

dobroć krytyczna

(wz. 1)

$$Q = 3$$

wybrana wartość dobroci roboczej

$$\eta = 1 - \frac{3}{50} = 0,94 = 94\%$$

sprawność (założenie wstępne spełnione) (wz. 2)

$$X_{C1} = \frac{50}{3} = 16,7 \text{ om}$$

reaktancja pojemności C1 (wz. 5)

$$X_{C2} = 10 \sqrt{\frac{50/10}{(3^2 + 1)} - 50/10} = 10 \text{ om}$$

reaktancja pojemności C2 (wz. 6)

$$X_L = \frac{3 * 50 + (50 * 10 / 10)}{3^2 + 1} = 20 \text{ om}$$

reaktancja indukcyjności L (wz. 7)

$$C1 = \frac{1}{2 * 3,14 * 16,7 * 7,1 * 10^6} = 1344 \text{ pF}$$

pojemność C1 (wz. 8)

$$C2 = \frac{1}{2 * 3,14 * 10 * 7,1 * 10^6} = 2240 \text{ pF}$$

pojemność C2 (teoretyczna) (wz. 8)

$$C2' = C2 - Cc = 2240 - 100 = 2140 \text{ pF}$$

pojemność C2' do zastosowania

$$L = \frac{20}{2 * 3,14 * 7,1 * 10^6} = 0,45 \text{ uH}$$

indukcyjność L (wz. 9)

$$A_2 = 2^3 \left(1 - \frac{1}{2^2}\right) = 18 \text{ (25,1 dB)}$$

tłumienie drugiej harmonicznej (wz. 4)

$$A_3 = 3^3 \left(1 - \frac{1}{3^2}\right) = 72 \text{ (37,2 dB)}$$

tłumienie trzeciej harmonicznej (wz. 4)

Obliczone pojemności mają znaczne wartości, które mogą sprawić kłopot przy praktycznej realizacji. Z tego powodu w nadajnikach stosuje się na ogół transformatory szerokopasmowe, aby podnieść impedancję do wartości standardowej 50om, przy której realizacja filtrów jest łatwiejsza.

### Realizacja praktyczna.

W tabeli są przedstawione wartości L, C1, C2 dla symetrycznych filtrów „PI” (50om/50om), na poszczególnych pasmach amatorskich. Symbole A2 i A3 oznaczają tłumienie 2 i 3 harmonicznej. Z porównania kolumn tabeli widać, jak dobroć filtru rzutuje na wartości elementów i tłumienie harmonicznym. Z punktu widzenia sprawności można sobie pozwolić na dobroć w granicach aż do

Q=10 (dla dobroci cewek  $Q_0 \geq 100$ ) ale wtedy pojemności były by zbyt duże. Trzymanie się małej dobroci oznacza natomiast małe tłumienie harmonicznych. Dla typowych stopni wyjściowych nadajników w klasie C, druga harmoniczna ma teoretycznie poziom rzędu 50% (ok. -3dB) poziomu harmonicznej podstawowej. Dla nadajników o mocy do 5W (do 30MHz) wymagane jest tłumienie harmonicznych lepsze niż 30dB, więc filtr musi zapewnić min. 27dB tłumienia. Można to osiągnąć stosując 2 ogniwa „PI” o dobroci Q=1. W nadajnikach o mocy powyżej 5W tłumienie harmonicznych musi przekraczać 40dB, więc dobroć robocza musi być wyższa.

Cewki stosowane w filtrach „PI” nie muszą mieć dużej dobroci własnej. Wystarczy przyjąć dobroć dziesięciokrotnie większą od dobroci roboczej filtru, co daje umiarkowane, łatwe do uzyskania wartości.

Tabela wartości LC dla filtru „PI” R1=R2=50om						
f	Q=1		Q=3		Q=10	
	L	C1,C2	L	C1,C2	L	C1,C2
	uH	pF	uH	pF	uH	pF
1,85	4,30	1719	2,58	5157	0,85	17189
3,80	2,10	837	1,26	2511	0,41	8368
7,10	1,12	448	0,67	1344	0,22	4479
10,15	0,78	313	0,47	940	0,16	3133
14,35	0,55	222	0,33	665	0,11	2216
18,17	0,44	175	0,26	525	0,09	1750
21,45	0,37	148	0,22	445	0,07	1483
25,00	0,32	127	0,19	382	0,06	1272
29,70	0,27	107	0,16	321	0,05	1071
<b>Tłumienie</b>	A2=15,6dB, A3=27,6dB		A2=25,1dB, A3=37,2dB		A2=35,6dB, A3=47,6dB	

## Zastosowanie.

Filtry „PI” przez lata były podstawowym ogniwem wyjściowym lampowych wzmacniaczy mocy. Przy użyciu zmiennych kondensatorów i przełączanej indukcyjności umożliwiały dostrajanie anten na wielu pasmach. Przy obecnych, szerokopasmowych wzmacniaczach mocy i wyższych wymaganiach na emisję zakłóceń filtry wyjściowe muszą mieć bardziej złożoną budowę. Układ „PI” nadal jest jednak niezastąpiony jako obwód wyjściowy nadajników małej mocy lub ogniwo dopasowujące. Bywa też stosowany z powodzeniem w skrzynkach antenowych.

Marcin Świetliński, SP5JNW.

Dokument utworzony: 30.03.2006.

Modyfikacje:

Literatura:

[1] Metodika rozczepa  $\Pi$  kontura pieredatczika, K.Szulgin (UA3DA), Radio 5/1985,

[2] Sprawocznik Radiolubitiela Korotkovołnika, S.G.Bunin, Ł.P.Jailenko, Technika, Kiew 1984,

[3] AN721, Impedance Matching Networks Applied to RF Power Transistors, Freescale Inc, 2005.