

## Elementy wzmacniacza mocy KF

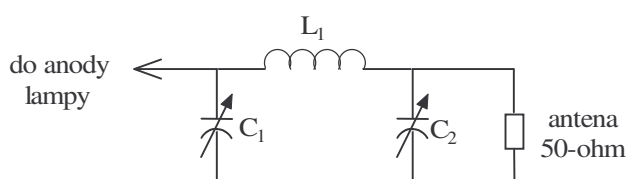
### Obwód wyjściowy lampowego wzmacniacza mocy

Układy typu  $\Pi$  (rys.1) składające się z indukcyjności (cewka) i pojemności (kondensatory zmienne), są używane w stopniach wyjściowych wzmacniaczy mocy w celu dopasowania oporności wyjściowej lampy do oporności obciążenia, którą jest antena wraz z linią zasilającą (feeder).

Za pomocą układów  $\Pi$  można przetransformować każde obciążenie czynne, jakie może przedstawiać sobą system antenowy, na każdą inną wartość oporności, jaka może być wymagana aby zamknąć linię zasilającą prawidłowym obciążeniem. Należy pamiętać, że dopasowujący układ reaktancyjny wprowadza przesunięcie fazowe, które może mieć dowolną żądaną wartość.

Jako linie przesyłowe zasilające, są powszechnie używane kable koncentryczne o oporności charakterystycznej (falowej) równej  $50\ \Omega$ . Jeśli linia o określonej długości jest zakończona opornością równą oporności charakterystycznej, mówi się, że linia jest dopasowana. Dopasowanie obciążenia (anteny) jest bardzo ważne. W przypadku dopasowania, nie występują odbicia na końcu linii. Brak jest w niej przepięć i przetężeń, a tłumienie linii (straty przez nią wnoszone) są najmniejsze i przeniesienie mocy ze wzmacniacza do anteny jest największe.

Układy typu  $\Pi$ , są układami które nie tylko dopasowują (transformują) oporności, ale też tłumią częstotliwości harmoniczne, które mogą być generowane przez wzmacniacz wraz z poprzedzającymi go stopniami. Tłumienie częstotliwości harmonicznych jest funkcją stosunku transformowanej impedancji i dobroci  $Q$  obwodu filtru. W układzie typu  $\Pi$  druga harmoniczna jest tłumiona około 35dB, trzecia 45 do 47dB a czwarta około 10dB więcej niż trzecia w stosunku do częstotliwości podstawowej (dla układu  $\Pi$  o dobroci  $Q=10$  i impedancji źródła około  $2500\Omega$ ).

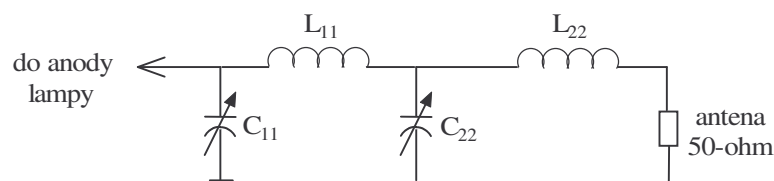


Rys. 1

Ponieważ układy typu  $\Pi$  były wielokrotnie opisywane w dostępnej literaturze krótkofalarskiej, w niniejszym artykule opiszę sposób obliczania układu typu  $\Pi$ -L (rys 2).

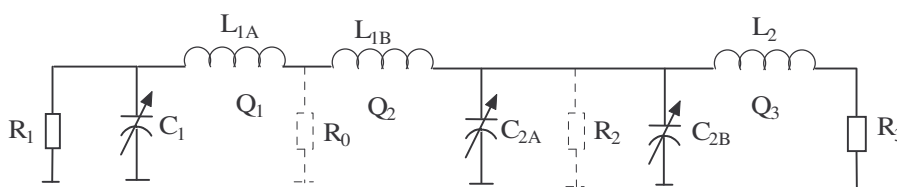
Obwód taki charakteryzuje się znacznie większym tłumieniem częstotliwości harmonicznych niż układ  $\Pi$  przy takiej samej dobroci obwodu i impedancji źródła. Druga harmoniczna tłumiona jest około 55dB, trzecia około 65dB a czwarta około 75dB w stosunku do

częstotliwości podstawowej. Jak ważny jest to element pracy wzmacniacza, mogą powiedzieć ci, którzy mają problemy z TVI i BCI u sąsiadów.



Rys. 2

W celu obliczenia elementów układu typu  $\Pi$ -L musimy podzielić go, na układ równoważny pokazany na rys. 3



Rys.3

Rozważany układ  $\Pi$ -L podzielony został na trzy składowe:  $L_{1A}$  i  $C_1$  oraz  $L_{1B}$  i  $C_{2A}$  połączone „back to back”, oraz układ L składający się z  $L_2$  i  $C_{2B}$ , gdzie kondensator  $C_{2A}$  i  $C_{2B}$  jest kondensatorem antenowym układu  $\Pi$ -L. Dopasowanie uzyskuje się poprzez transformację oporności  $R_1$  (oporność wyjściowa lampy) na wirtualną oporność  $R_0$  układu  $\Pi$ ,  $R_0$  na oporność przejściową  $R_2$  wybraną z zakresu 300 do 700  $\Omega$  i z  $R_2$  na obciążenie  $R_3$ , zwykle 50 $\Omega$  (antena).

Wartość oporności  $R_1$  można obliczyć ze wzoru:

$$R_1 = \frac{E}{2 \times I}$$

Gdzie:  $E$  = napięcie anodowe lampy w woltach

$I$  = prąd anodowy w amperach

Wzór jest słuszny dla pracy wzmacniacza w klasie C. W przypadku pracy wzmacniacza w klasie AB, wartość prądu anodowego mnożymy przez 1,6. W klasie A wartość prądu mnożymy przez 1,3 a w klasie B przez 1,7. Wynika to, z przybliżonego stosunku wartości skutecznej prądu w.cz. płynącego przez lampę przy optymalnym wysterowaniu do wartości prądu napięcia stałego zasilającego anodę lampy stopnia końcowego.

W dalszej kolejności określamy dobroć obwodu  $Q_1$ , która jest dobrocią obwodu anodowego i zwykle zawiera się w przedziale od 10 do 20. Od wielkości tej wartości zależy sprawność obwodu oraz wielkość tłumienia częstotliwości harmoniczných. Im mniejsze  $Q$  tym sprawność układu jest

większa, lecz tłumienie częstotliwości harmonicznych gorsze. Wybór wartości  $Q$  jest kompromisem pomiędzy sprawnością a tłumieniem harmonicznych. Znajac  $R_1$  i  $Q_1$  można obliczyć reaktancję pojemnościową kondensatora anodowego  $C_1$ :

$$X_{C_1} = \frac{R_1}{Q_1}$$

A także oporność wirtualną  $R_0$  z:

$$R_0 = \frac{R_1}{Q_1^2 + 1}$$

Następnie obliczamy reaktancję indukcyjną  $X_{L_{1A}}$  indukcyjności  $L_{1A}$  ze wzoru:

$$X_{L_{1A}} = R_0 \times Q_1$$

I na tym kończymy obliczanie reaktancji pierwszego obwodu.

Przed procedurą obliczenia drugiej sekcji obwodu zawierającą  $L_{1B}$  i  $C_{2A}$ , musimy wybrać wartość oporności przejściowej  $R_2$  ( założona wartość  $R_2$  jest zwykle większe niż  $R_0$  i  $R_3$ ). Możliwe też, jest obliczenie wartości  $L_{1B}$  i  $C_{2A}$  przez wybranie wielkości  $Q_2$  (dobroć drugiego obwodu), ale jednak lepsze z punktu widzenia projektowania układu , jest obliczenie wartości oporności  $R_2$  jako dopasowania do napięcia pracy i pojemności kondensatora  $C_{2A}$ .

A zatem  $R_2$  obliczamy ze wzoru:

$$R_2 = \frac{E^2}{P}$$

Gdzie:

$E$  = wartość skuteczna napięcia w.cz. na oporności  $R_2$

$P$  = moc wyjściowa wzmacniacza w watach

Ponieważ napięcie występujące na kondensatorze jest napięciem szczytowym ( 1.41 razy napięcie skuteczne), oraz musi być założony pewien współczynnik bezpieczeństwa, to najlepiej określić  $E_2$ , jako połowę napięcia przebicia kondensatora. Można bezpiecznie założyć, że dla wzmacniacza o mocy do 1kW wystarczy, że  $E^2$  ma wartość z przedziału od 1000V do 2000V.

Moc wyjściową wzmacniacza, możemy określić przez założenie sprawności pracy wzmacniacza. Przy pracy cw, (klasa C) sprawność można założyć w wysokości 75% a w przypadku pracy liniowej (klasa AB i B) wzmacniacza - 60 %.

Mając obliczone  $R_2$ , możemy obliczyć  $Q_2$  z:

$$Q_2 = \sqrt{\frac{R_2}{R_0}} - 1$$

Oraz obliczamy  $X_{C2A}$  (reaktancja pojemnościowa  $C_{2A}$ ) z:  
Następnie obliczamy  $X_{L1B}$  (reaktancja indukcyjna  $L_{1B}$ ) z:

$$X_{C2A} = \frac{R_2}{Q_2}$$

$$X_{L1B} = R_0 \times Q_2$$

Mając obliczone powyższe, wyliczamy reaktancję pojemnościową i indukcyjną dla obwodu zawierającego  $C_{2B}$  i  $L_2$ . Po pierwsze, obliczamy  $Q_3$  jako dobroć trzeciego obwodu z:

$$Q_3 = \sqrt{\frac{R_2}{R_3}} - 1$$

Gdzie  $R_3$  jest opornością obciążenia wzmacniacza, i jest to zwykle  $50 \Omega$  (linia zasilająca antenę).  
Oporność ta może być dowolna, ale niższa niż  $R_2$ .

I teraz obliczamy  $X_{C2B}$ , tj. reaktancję pojemnościową  $C_{2B}$  ze wzoru:

$$X_{C2B} = \frac{R_2}{Q_3}$$

Potem obliczamy  $X_{L2}$ , reaktancję indukcyjną  $L_2$  z:

$$X_{L2} = R_3 \times Q_3$$

Indukcyjności  $L_{1A}$  i  $L_{1B}$  są połączone szeregowo, stanowiąc jedną cewkę  $L_1$ . Reaktancja indukcyjna cewki  $L_1$  jest równa sumie reaktancji:

$$X_{L1} = X_{L1A} + X_{L1B}$$

Podobnie, dwie pojemności  $C_{2A}$  i  $C_{2B}$  są połączone równolegle tworząc jeden kondensator.  $C_2$ .

$$X_{C2} = \frac{X_{C2A} \times X_{C2B}}{X_{C2A} + X_{C2B}}$$

Reaktancja pojemnościowa kondensatora  $C_2$  jest określona przez  $X_{C2}$ :

Mając obliczone reaktancje pojemnościowe i indukcyjne możemy bardzo łatwo obliczyć potrzebne wartości pojemności kondensatorów oraz indukcyjności cewek dla dowolnej częstotliwości pracy wzmacniacza:

gdzie:

$$C = \frac{10^6}{2 \pi f X_c}$$

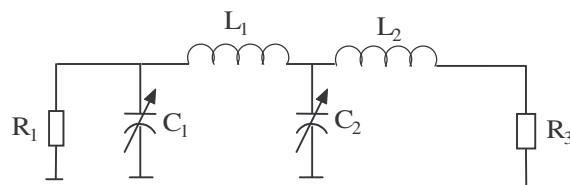
$$L = \frac{X_L}{2 \pi f}$$

C – pojemność w pF

L – indukcyjność w  $\mu\text{H}$

F – częstotliwość w MHz

Obwód wyjściowy wzmacniacz typu  $\Pi$ -L pokazany jest na rysunku 4.



Rys. 4

Pewną niedogodnością stosowania układu  $\Pi$ -L jest konieczność zastosowania jeszcze jednej sekcji przełącznika zakresów dla cewki  $L_2$ . Wymagania co do jakości tej sekcji przełącznika, nie są tak duże jak dla sekcji przełącznika cewki  $L_1$ , ponieważ występują tu znacznie mniejsze prądy i napięcia aniżeli w sekcji przełącznika cewki  $L_1$ .

Wszystkie obliczenia można zautomatyzować używając programu kalkulacyjnego np. EXCEL, w którym wszystkie powyższe wzory wpisane do programu pozwalają na uzyskanie natychmiastowych wyników, gdzie tylko podajemy wartości Q, częstotliwości pracy układu, wartość prądu i napięcia anodowego. W tabeli 1 są podane wyliczone wartości układu  $\Pi$ -L przy trzech różnych przykładowych wartościach oporności wyjściowej lampy wzmacniacza dla zadanych wartości Q obwodu równej 10, 12 i 17.

Tabela 1

		dla Q=10			dla Q=12			dla Q=17		
	Pasmo/ $R_1$	1500	2000	2500	1500	2000	2500	1500	2000	2500
$C_1$	160m	589	440	352	703	528	422	997	747	598
	80m	303	227	182	364	273	218	515	387	309
	40m	152	114	91	182	136	109	258	193	155
	30m	105	79	63	126	95	76	179	134	107
	20m	76	57	45	91	68	55	129	97	77
	17m	59	44	35	70	53	42	100	75	60
	15m	51	38	30	61	45	36	86	64	52
	12m	43	32	26	51	38	31	72	54	43
	10m	38	28	23	45	34	27	64	48	39
$C_2$	160m	1457	1273	1152	1710	1499	1354	2364	2065	1861
	80m	749	658	596	884	775	700	1223	1068	962
	40m	375	329	298	442	388	350	611	534	481
	30m	260	228	206	306	269	243	424	370	333
	20m	187	165	149	221	194	175	306	267	241
	17m	145	127	115	171	150	136	237	207	186
	15m	125	110	99	147	129	117	204	178	160
	12m	105	93	84	124	109	98	172	150	135
	10m	94	82	74	111	97	88	153	133	120

<b>L<sub>1</sub></b>	<b>160m</b>	17,72	22,45	27,17	14,90	19,00	23,00	10,74	13,70	16,60
	<b>80m</b>	9,11	11,61	14,05	7,71	9,82	11,89	5,55	7,09	8,58
	<b>40m</b>	4,56	5,80	7,02	3,85	4,91	5,95	2,78	3,54	4,29
	<b>30m</b>	3,16	4,02	4,87	2,67	3,40	4,12	1,92	2,46	2,97
	<b>20m</b>	2,28	2,90	3,51	1,93	2,46	2,97	1,39	1,77	2,15
	<b>17m</b>	1,77	2,25	2,72	1,49	1,90	2,30	1,08	1,37	1,66
	<b>15m</b>	1,52	1,93	2,34	1,28	1,64	1,98	0,93	1,18	1,43
	<b>12m</b>	1,28	1,63	1,98	1,08	1,38	1,67	0,78	1,00	1,27
	<b>10m</b>	1,14	1,45	1,76	0,96	1,23	1,49	0,69	0,89	1,07
<b>L<sub>2</sub></b>	<b>160m</b>	6,37	6,37	6,37	6,37	6,37	6,37	6,37	6,37	6,37
	<b>80m</b>	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30
	<b>40m</b>	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
	<b>30m</b>	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
	<b>20m</b>	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82
	<b>17m</b>	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
	<b>15m</b>	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
	<b>12m</b>	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
	<b>10m</b>	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41

Należy pamiętać, że w skład pojemności anodowej układu  $C_1$  wchodzi: pojemności montażu oraz pojemność wyjściowa użytej lampy. Pojemności te, należy dodać do najmniejszej pojemności kondensatora anodowego, i z tabeli wybrać wartość pojemności  $C_1$  dla pasma 10m (uwzględniając ewentualnie 15m i 12m) dla wybranej wartości  $Q$ , tak aby suma powyższych pojemności była w rezultacie nieco mniejsza od wybranej z tabeli. Pojemność montażową, można szacunkowo określić w zależności od wykonania i rozmieszczenia elementów układu jako 10 do 20pF.

Na zakończenie, dla tych, którzy nie lubią obliczeń arytmetycznych, a chcieliby poeksperymentować i przerobić układ II-filtru na II-L filtr w swoim wzmacniaczu. Metoda ta jest szacunkowa, ale daje dość dobre wyniki.

Na rysunku 2 pokazano układ filtru typu II-L, w którym kondensator  $C_{11}$  jest kondensatorem anodowym filtru II. (kondensator  $C_1$ ) i pozostaje bez zmian. Natomiast cewka  $L_{11}$  oraz kondensator  $C_{22}$  ulegają modyfikacji przez zmianę ich wartości w stosunku do używanego filtru II (cewka  $L_1$  i kondensator  $C_2$ ) i oczywiście dodana jest dodatkowa cewka  $L_{22}$ . Obciążenie II-L filtru pozostaje bez zmian i jest to linia zasilająca o impedancji falowej równej 50  $\Omega$ .

Pojemność  $C_{22}$  ma mieć wartość około jedną drugą do jednej trzeciej pojemności  $C_2$  wymaganej dla II filtru. Napięcie pracy kondensatora  $C_{22}$  może być trzy lub cztery razy niższe niż wymagane dla  $C_2$ . Indukcyjność cewki  $L_{11}$  musi być większa od  $L_1$  o około 25%. Czyli należy przeliczyć i przewinać cewkę w swoim II-filtrze. Indukcyjność  $L_{22}$ , której brak jest w typowym II filtrze, ma mieć indukcyjność około jedną trzecią do jednej drugiej indukcyjności  $L_{11}$ . Prąd płynący w cewce  $L_{11}$  jest taki sam jak w  $L_1$ , więc średnica drutu zastosowanego w II filtrze będzie równie

dobrze dla układu  $\Pi$ -L. Prąd płynący w cewce  $L_{22}$  jest mniejszy niż w  $L_{11}$ , tak więc, użyty drut może być trochę cieńszy. Na przykład, jeżeli cewka  $L_{11}$  wykonana jest z drutu  $\varnothing 4\text{mm}$ , to cewka  $L_{22}$  może być zrobiona z drutu  $\varnothing 2\text{mm}$  lub  $\varnothing 1.6\text{mm}$ .

Jacek Sieroń SP8BAI

sp8bai@arrl.net