Willmut Zschunke, DL9ZO:

Anpassung einer „Zufallsantenne“

In einem reinen Wohngebiet entstand aus einem Langdraht ein windschiefer Dipol, der auf keinem Band in Resonanz war. Dies sind die auf 50 Ω normierten Meßwerte:

f/MHz	R/50Ω	jX/50 Ω	SWR
1,81	0,16	-j1,56	22
3,65	0,09	-j0,24	12
7,05	2,44	-j0,12	2,45
10,121	0,172	+j0,5	7,5

Für diese festen Frequenzen wurden Anpassschaltungen gemäß

Eduard Schwarz, Archiv der Elektrischen Übertragung (AEÜ), Band 23, April 1969, S. 169–176

entworfen und aufgebaut. Man benötigt dazu die Formeln für die Antennenimpedanz bzw. -admittanz

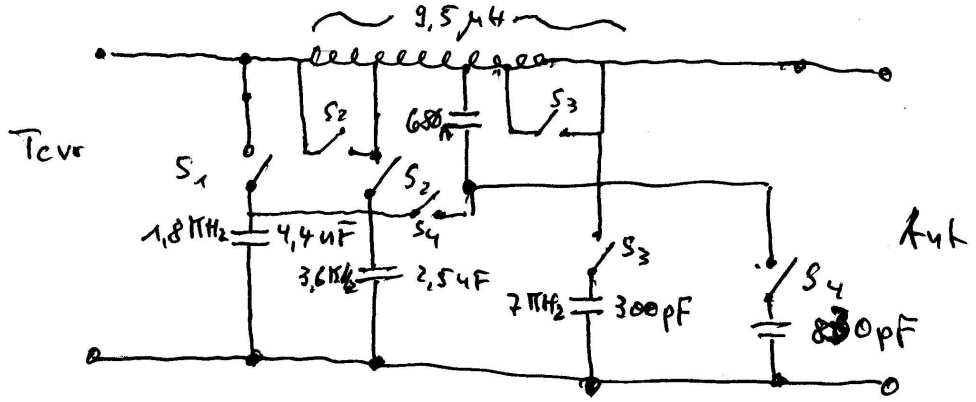
$$Z_A = R_A + jX_A \quad \text{oder} \quad \frac{1}{Z_A} = \frac{1}{R_A + jX_A} = \frac{R_A - jX_A}{R_A^2 + X_A^2}$$

$$Y_A = \frac{1}{Z_A} = G_A + jB_A$$

In einer Tabelle sind 8 Schaltungen je nach dem Wert von R_A, X_A oder G_A, B_A angegeben mit einer daraus errechenbaren Dimensionierung.

Es ergab sich folgende Schaltung für das Anpaßgerät I:

Schaltung Anpaßgerät I



S_1: 9,5 µH 4,4 uF

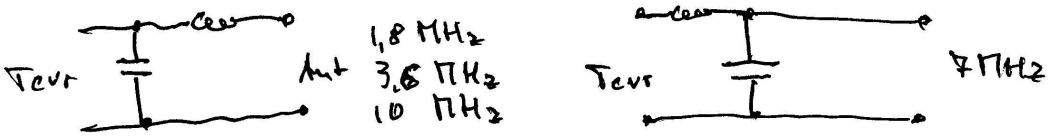
S_2: 1,3 µH 2,5 uF

S_3: 1,8 µH 300 pF

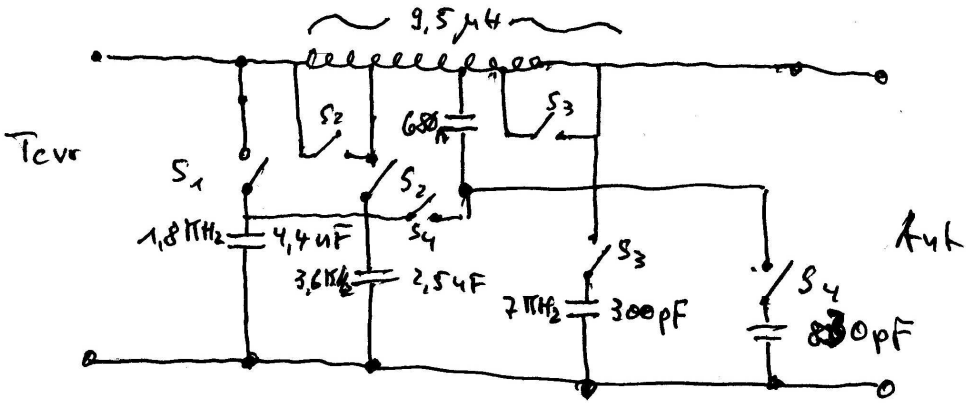
S_4: 0,8 µH (mit 680 pF in Reihe) 830 pF

Fazit: Toleranzen
Schaltkapazitäten und -induktivitäten
Paßt nur auf einer Frequenz

Prinzip:



Schaltung Anpaßgerät I



S_1: 9,5 µH 4,4 nF

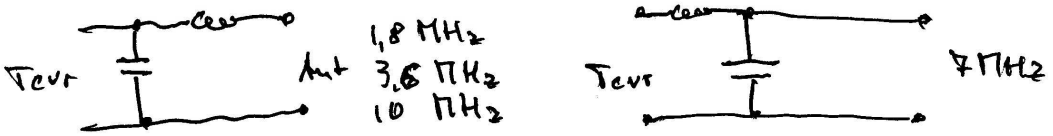
S_2: 1,3 µH 2,5 nF

S_3: 1,8 µH 300 pF

S_4: 0,8 µH (mit 680 pF in Reihe) 830 pF

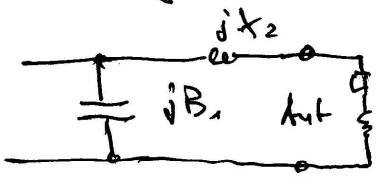
Fazit: Toleranzen
Schaltkapazitäten und -induktivitäten
Paßt nur auf einer Frequenz

Prinzip:



Anpassung bei 10.125 MHz

Schaltung 6:



$R_A/50\,\Omega = 0.126 = R_{AN}$

$jX_A/50\,\Omega = j0.228 = jX_{AN}$

$$B_1 = \sqrt{\frac{1}{R_{AN}} - 1} = 2.634$$

$$X_2 = R_{AN} B_1 - X_{AN} = 0.1038$$

$$2\pi f C_1 = \frac{B_1}{50\,\Omega} \rightsquigarrow C_1 = 828\ \text{pF}$$

$$2\pi f L_2 = X_2 \cdot 50\,\Omega \rightsquigarrow L_2 = 0.082\,\mu\text{H}$$

sehr klein

Bauertrick:

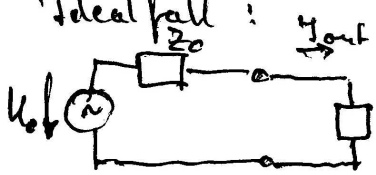
L_2 bekommt C in Reihe

$\rightsquigarrow$ L_2 wird größer

gewählt $C = 680$ pF. Damit $L_2 = 0{,}8\,\mu$H

Gibt es große Ströme und Spannungen bei der Anpassung?

Idealfall:



$U_{out} = \frac{U_0}{2}$ $\quad P_{out} = \frac{U_0^2}{4 Z_0}$

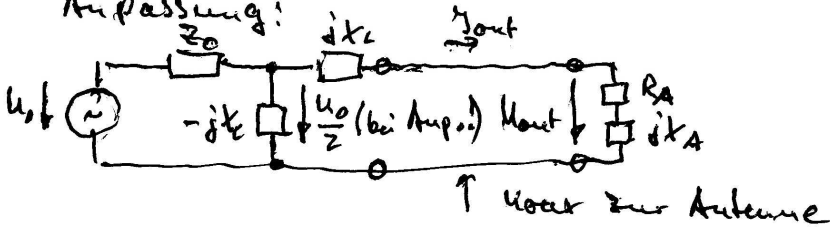
$I_{out} = \frac{U_0}{2 Z_0}$

Beispiel: $P_{out} = 1000\,W$ $\quad Z_0 = 50\,\Omega$

$U_0 = \sqrt{4 Z_0 P_{out}} = 447{,}2\,V$

$U_{out} = 223{,}6\,V$ $\quad I_{out} = 4{,}47\,A$

Anpassung:



Bedingung für Anpassung:

$$\frac{-jX_C\left(R_A + j(X_L + X_A)\right)}{R_A + j(X_L + X_A - X_C)} = Z_0$$

$$jX_C R_A + X_C(X_L + X_A) = Z_0 R_A + j(X_L + X_A + X_C) Z_0$$

$X_C(X_L + X_A) = Z_0 R_A$ (1) Realteil

$X_C R_A = (X_C - X_L - X_A) Z_0$ (2) Imaginärteil

Daraus ermitteln sich die Unbekannten X_C und X_L:

$$X_C = \frac{Z_0 \sqrt{R_A}}{\sqrt{Z_0 - R_A}} \qquad X_L = \sqrt{(Z_0 - R_A) R_A} - X_A$$

$$I_{out} = \frac{U_0}{2} \frac{1}{R_A + j(X_L + X_A)} \qquad U_{out} = I_{out}(R_A + jX_A)$$

$$|I_{out}| = \frac{U_0}{2\sqrt{Z_0 R_A}} \qquad |U_{out}| = \frac{U_0}{2} \frac{\sqrt{R_A^2 + X_A^2}}{\sqrt{Z_0 R_A}}$$

Beispiel 1: $R_A = Z_0/2 \quad X_A = \frac{Z_0}{4} \rightsquigarrow X_L = \frac{Z_0}{4}$

$X_C = Z_0$

$|I_{out}| = \frac{U_0}{\sqrt{2}\, Z_0}$ $\sqrt{2}$ größer als im Idealfall

$|U_{out}| = \frac{U_0}{2} \frac{Z_0 \sqrt{\frac{1}{4}+\frac{1}{16}}\,\sqrt{2}}{Z_0} \approx \frac{U_0}{2}$

Beispiel 2: $R_A = 0$ Antenne keinen reellen Anteil!

$X_C = 0 \rightsquigarrow \frac{1}{\omega C} = 0 \rightsquigarrow C = \infty$

$X_L = -X_A$

$|I_{out}| = \infty \quad |U_{out}| = \infty$ nicht anpassbar

Beispiel 3: R_A sehr klein: $R_A = 0{,}1\, Z_0$

$X_L = Z_0 \sqrt{0.9 \cdot 0.1} - X_A = 0.3\, Z_0 - X_A$

gewählt $X_A = 0.3\, Z_0$

$|I_{out}| = \frac{U_0}{2 Z_0 \sqrt{0{,}1}} = \frac{U_0}{2 Z_0} \cdot 3{,}16$ Faktor 3,16 höher als Idealfall

$|U_{out}| = \frac{U_0}{2} \sqrt{\frac{0.01+0.09}{0.1}} = \frac{U_0}{2}$

Fazit:

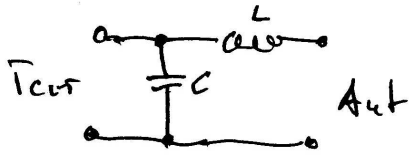
- Ströme und Spannungen sind bei halbwegs vernünftiger Antenne kein Problem.
- Stehende Wellen auf Koaxkabel?
  Ja! Reflexionsfaktor $r = \frac{R_A + jX_A - Z_0}{R_A + jX_A + Z_0}$
  Für Beispiel 3: $|r| = 0.83$
  $SWR = \left|\frac{1+|r|}{1-|r|}\right| = 10.76$

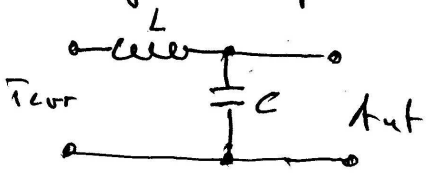
$\frac{1+|r|}{1-|r|}$ für I_{out} und U_{out} $\rightsquigarrow U_{Koax\,max} = 1.83\, U_{out}$

$I_{Koax\,max} = 1.83\, I_{out}$

Das Anpaßgerät I funktionierte so leidlich, aber nur bei einer festen Frequenz.
Da sich in der Bastelkiste ein Drehko mit 470 pF und eine Rollspule mit 20 µH befanden, wurde die Festspule durch die Rollspule ersetzt und die Festkondensatoren erhielten parallel den Drehko. Dieses Anpaßgerät funktioniert hervorragend. Insbesondere ist der Abgleich ohne langes Herrennen (im Gegensatz zur π-Schaltung) ganz schnell durchgeführt. Eine Erklärung hierfür folgt zum Schluß.

Jede Antenne läßt sich mit den folgenden Schaltungen anpassen:

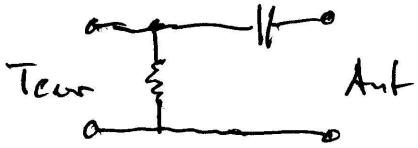


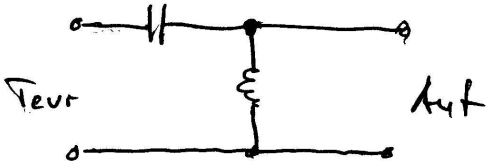


Vorteil:

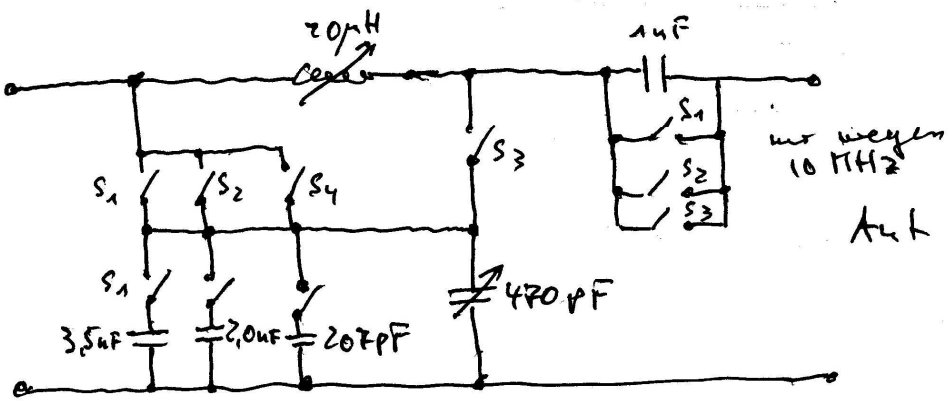
- Tiefpass
- C geerdet (Drehko Rotor)

Es geht auch





Variables Anpaßgerät



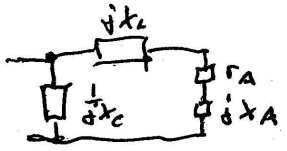
Fazit:
- Gleicht auf SWR = 1,0 ab im gesamten Frequenzbereich
- Schalter über 1µF könnten entfallen, aber Verluste in 1µF?
- Endgültiger Aufbau: Zusatz-Cs etwas anders als bei Brettschaltung (Leitungen, Koaranschlüsse?)
- ~~C~~ ersetzen durch feste Ls mit Rollspule in Reihe ??
  (Problem: Feste L hoher Güte)
- Vermutung: Käufliche Geräte hätten keine Anpassung gefunden (C)
- Kosten ≈ 0 €!

9.10.07 Geht der Abgleich auf SWR = 1 ohne Iteration?

Schaltelemente auf Z_0 (z.B. 50 Ω) normiert

$$\frac{R_A + jX_A}{Z_0} = r_A + jx_A \quad , \quad \frac{jX_L}{Z_0} = jx_L \quad , \quad \frac{1}{jX_C Z_0} = \frac{1}{jx_C}$$

$Z_e = 1 \rightarrow$



$$Z_e = \frac{1}{jx_C + \frac{1}{r_A + j(x_L + x_A)}} = 1 \Rightarrow \mathrm{Re}(Z_e) = 1, \quad \mathrm{Im}(Z_e) = 0$$

$$jx_C + \frac{r_A - j(x_L + x_A)}{r_A^2 + (x_L + x_A)^2} = 1 \quad \mathrm{Re}: \; 1 = \frac{r_A}{r_A^2 + (x_L + x_A)^2} \Rightarrow x_L = \sqrt{r_A(1 - r_A)} - x_A$$

$$\mathrm{Im}: \; 0 = x_C - x_L - x_A \Rightarrow x_C = \sqrt{r_A(1 - r_A)}$$

Kostenfunktion für Abgleich (mittleres Fehlerquadrat)

$$Q = \underbrace{\left(1 - \frac{r_A}{r_A^2 + (x_L + x_A)^2}\right)^2}_{Q_{Re}} + \underbrace{(x_C - x_L - x_A)^2}_{Q_{Im}} \rightarrow \min$$

s. $\frac{\partial Q}{\partial x_C}$ $\quad \frac{\partial Q}{\partial x_L} = 0$

$$\frac{\partial Q_{Re}}{\partial x_L} = 2 r_A \left(1 - \frac{r_A}{r_A^2 + (x_L + x_A)^2}\right) \cdot \frac{1}{(r_A^2 + (x_L + x_A)^2)^2}$$

hängt nur von x_L ab!

$$\frac{\partial Q_{Im}}{\partial x_C} = 2(x_C - x_C - x_A) = 0$$ hängt von x_C und x_L ab

Strategie: Mit x_L SWR (Q) auf Minimum bringen.

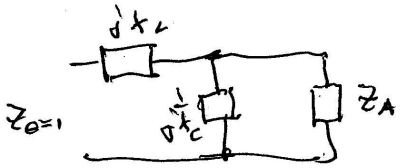
$$\frac{\partial Q_{Re}}{\partial x_L} = 0 = \frac{r_A - (r_A^2 + (x_L + x_A)^2)}{[r_A^2 + (x_L + x_A)^2]^3} \Rightarrow x_L = \sqrt{r_A(1 - r_A)} - x_A$$

richtiger Wert!

$$\frac{\partial Q_{Im}}{\partial x_C} = 0 = x_C - x_L - x_A \Rightarrow x_C = \sqrt{r_A(1 - r_A)}$$

Leider hängt SWR aber nichtlinear von Q_{Re} und Q_{Im} ab und nur SWR ist beobachtbar. Dennoch läßt sich der Abgleich fast immer ausgehend von L und dann C (1,8 MHz, 3,6 MHz und 10,1 MHz) bzw. mit C und dann L erreichen. Das liegt wohl daran, daß C bereits ziemlich gut stimmt

Andere Schaltung (7 MHz)



$$\frac{1}{Z_A} = \frac{r_A - jx_A}{r_A^2 + x_A^2} = g_A + jb_A$$

$$jx_L + \frac{1}{jx_C + g_A + jb_A} = 1$$

$$jx_L + \frac{g_A - j(x_C + b_A)}{g_A^2 + (x_C + b_A)^2} = 1$$

$$\frac{g_A}{g_A^2 + (x_C + b_A)^2} = 1 \rightsquigarrow x_C = \sqrt{g_A(1-g_A)} - b_A$$

$$x_L - x_C - b_A = 0 \rightsquigarrow x_L = \sqrt{g_A(1-g_A)}$$

$$Q = \underbrace{\left(1 - \frac{g_A}{g_A^2 + (x_C + b_A)^2}\right)^2}_{Q_{Re}} + \underbrace{(x_L - x_C - b_A)^2}_{Q_{Im}}$$

x_L und x_C vertauscht, $r_A \to g_A$

$\frac{\partial Q}{\partial x_C}$ Ableitung $= 0$ s. $\frac{\partial Q}{\partial x_L}$

$$\frac{\partial Q_{Re}}{\partial x_C} = 2 g_A \left(1 - \frac{g_A}{g_A^2 + (x_C + b_A)^2}\right) \frac{\quad}{(g_A^2 + (x_C + b_A)^2)^2} = 0$$

$$g_A^2 + (x_C + b_A)^2 = g_A \rightsquigarrow x_C = \sqrt{g_A(1-g_A)} - b_A$$

$$\frac{\partial Q_{Im}}{\partial x_L} = 2(x_L - x_C - b_A) = 0 \rightsquigarrow x_L = \sqrt{g_A(1-g_A)}$$

Strategie: Mit C SWR (Q) auf Minimum bringen, (s. Bemerkung vorherige Seite)