

Antennenkoppler

Von
Wolfgang, DG0SA

Distrikttreffen am 05.10.2013 in Klink

Selten hat eine Antenne 50Ω

1. Realteil R
(ohmscher Teil)

Ist immer positiv,
Wertebereich von
wenigen Ohm bis
mehrere Kiloohm

2. Imaginärteil X
(Blindanteil)

Positive Werte = induktiv,
Negative Werte = kapazitiv

$$Z = R + jX$$

Die Impedanz kann man sich denken als eine
Reihenschaltung aus Widerstand und
Kondensator oder Spule

Selten hat eine Antenne 50Ω

1. Realteil R

Ist immer positiv, Wertebereich von wenigen Ohm bis mehrere Kiloohm

Muss an 50Ω angepasst werden

Mit Spulen und Kondensatoren oder selten auch mit Transformatoren

2. Imaginärteil X

positiv = induktiv,
negativ = kapazitiv

Muss kompensiert, beseitigt werden

Mit einem Kondensator wird die induktive Komponente beseitigt, mit einer Spule die kapazitive Komponente beseitigt

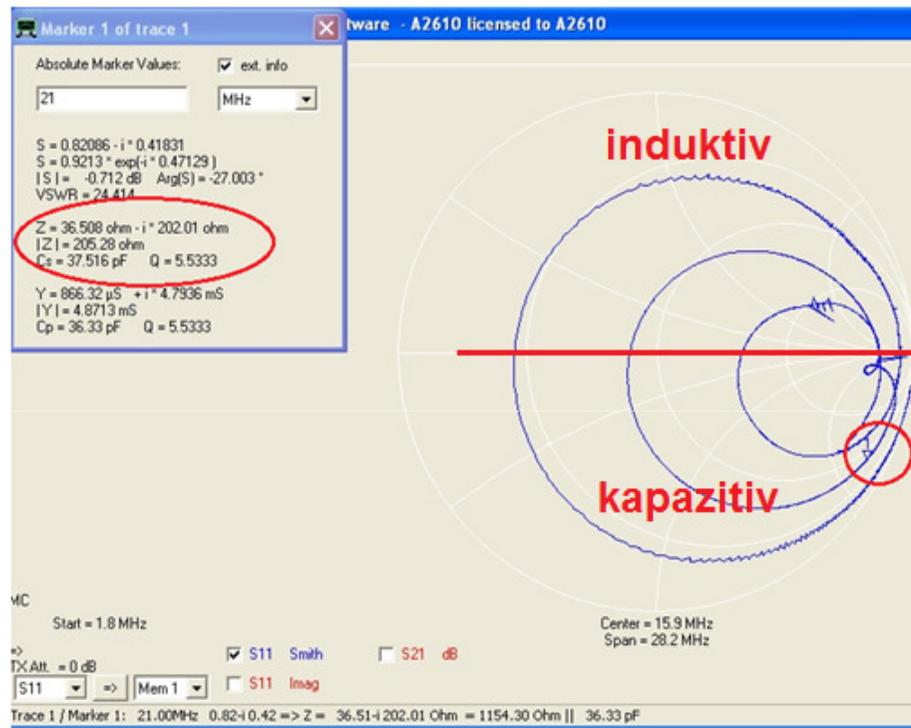
Selten hat eine Antenne 50Ω

Meine Antenne ist ein mittengespeister Dipol mit 14 m Spannweite, 11 m hoch und 8 m Hühnerleiter.

Am Ende der Hühnerleiter habe ich mit einem VNWA, das ist ein vektorieller Netzwerkanalysator, die Werte $Z = R$ und jX festgestellt:

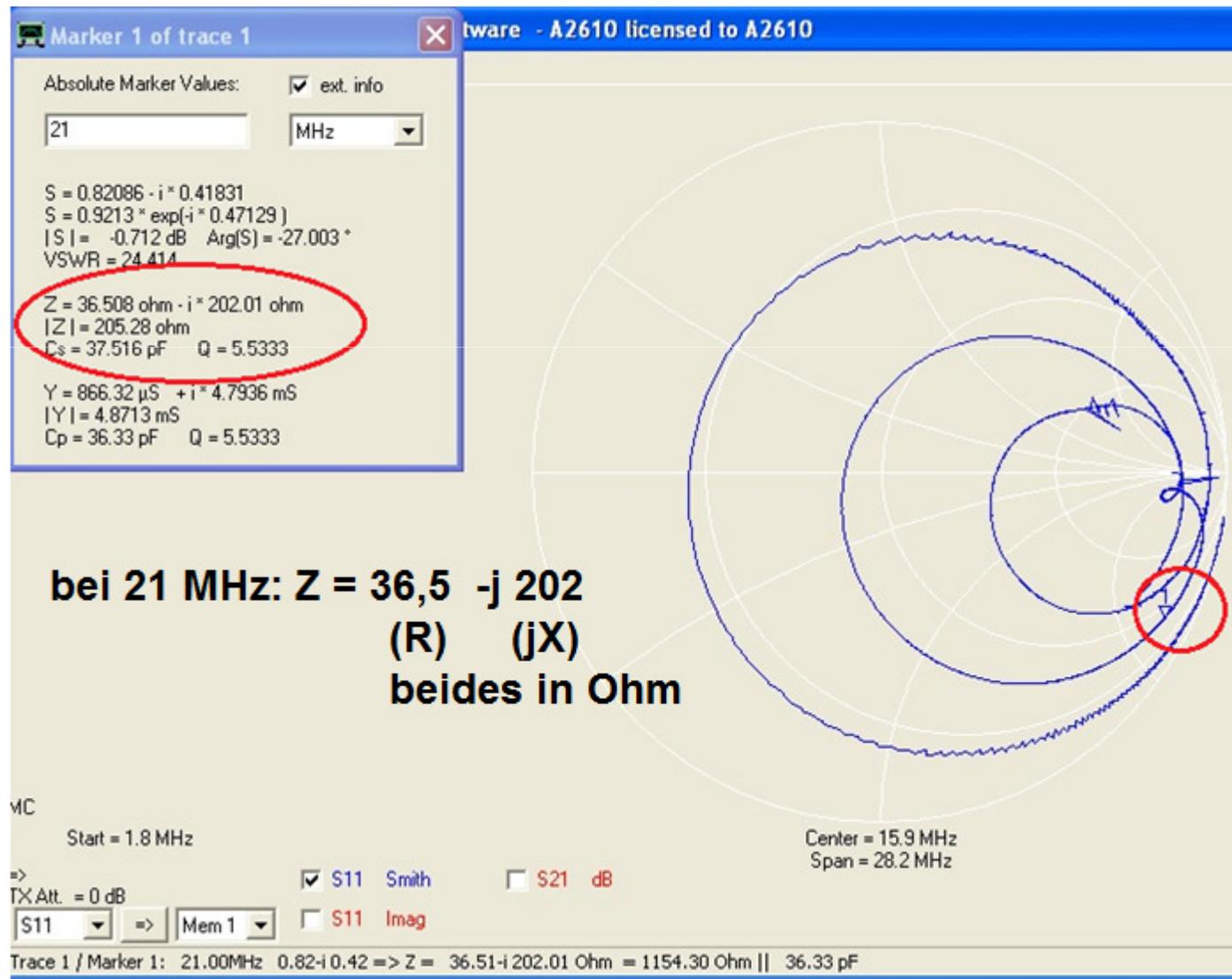


Bestimmung der Antennenimpedanz $Z = R + jX$

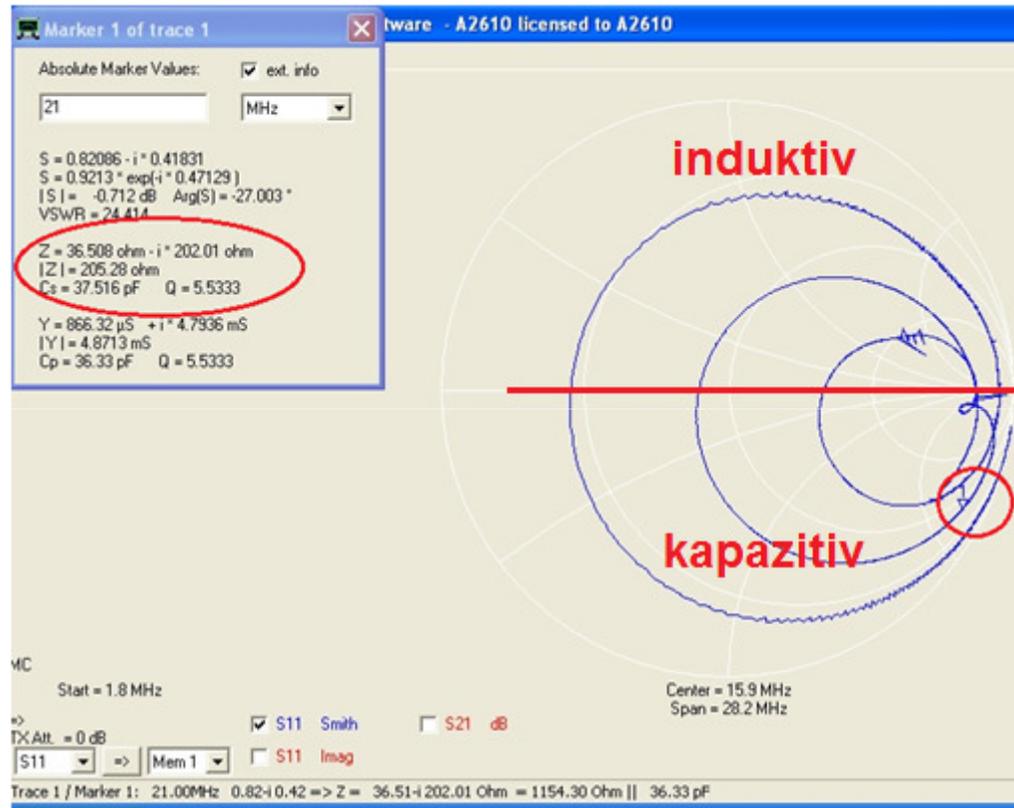


Der vektorielle Netzwerkanalysator „VNWA“ wird an das untere Ende der Hühnerleiter angeschlossen. Mit nur einer Messung von 1,8 MHz bis 30 MHz wird die **Impedanz Z** bestimmt. Das Smith-Diagramm zeigt eine Kurve, oberhalb der roten Linie ist der Blindanteil positiv, also induktiv, unterhalb negativ, also kapazitiv.

Bestimmung der Antennenimpedanz



Bestimmung der Antennenimpedanz

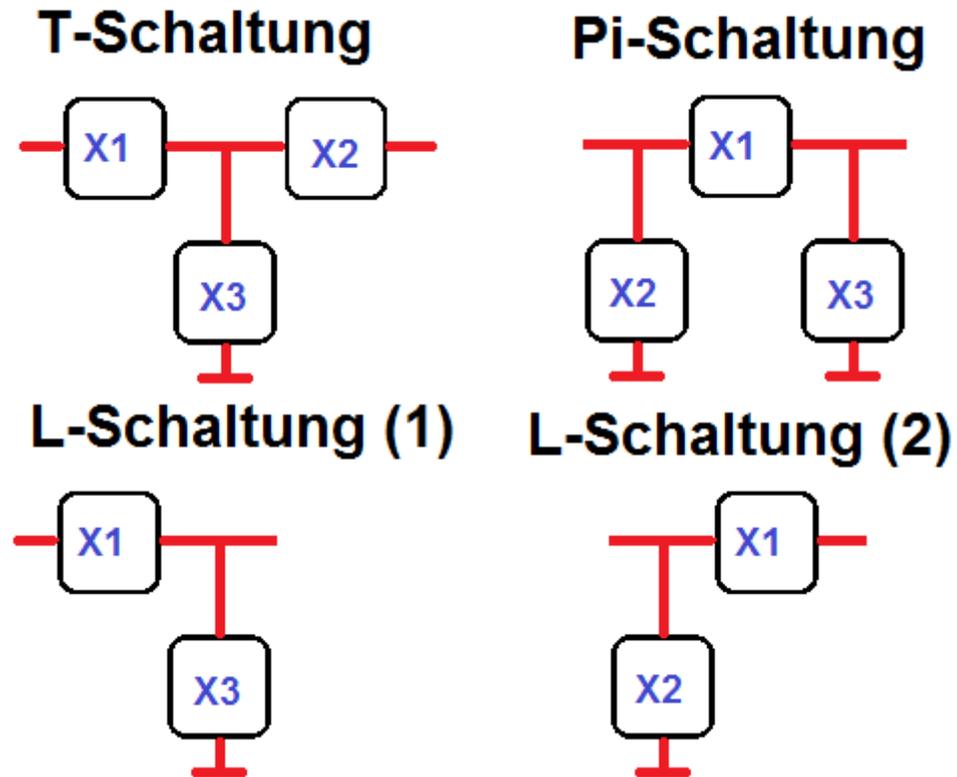


Mit dem Marker (kleiner Kreis rechts im Bild) wird die Kurve untersucht. Man gibt im Menü die gewünschte Frequenz ein und liest die Werte für die Impedanz ab (rot gekennzeichnet links im Bild).

Impedanz $Z = R + jX$ bei DG0SA

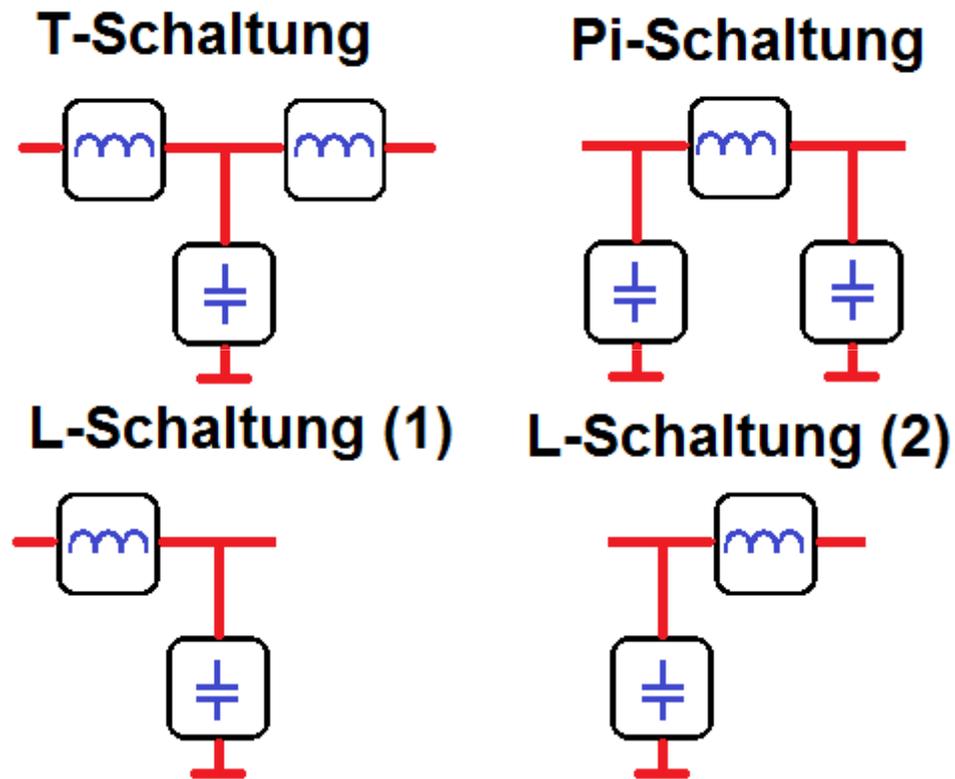
Frequenz	Realteil R	Imaginärteil X
1,8	2,4	-775
2,0	2,2	-681
3,5	7,1	-301
3,8	7,0	-252
7,0	101	+343
7,2	141	+424
10,1	179	-513
14,0	200	+163
14,4	342	+257
18,1	345	-597
21,0	36,5	-202
21,4	33,7	-168
24,95	103	+133
28,0	246	-346
28,9	138	-265
29,7	91,4	-200

Kopplerschaltungen



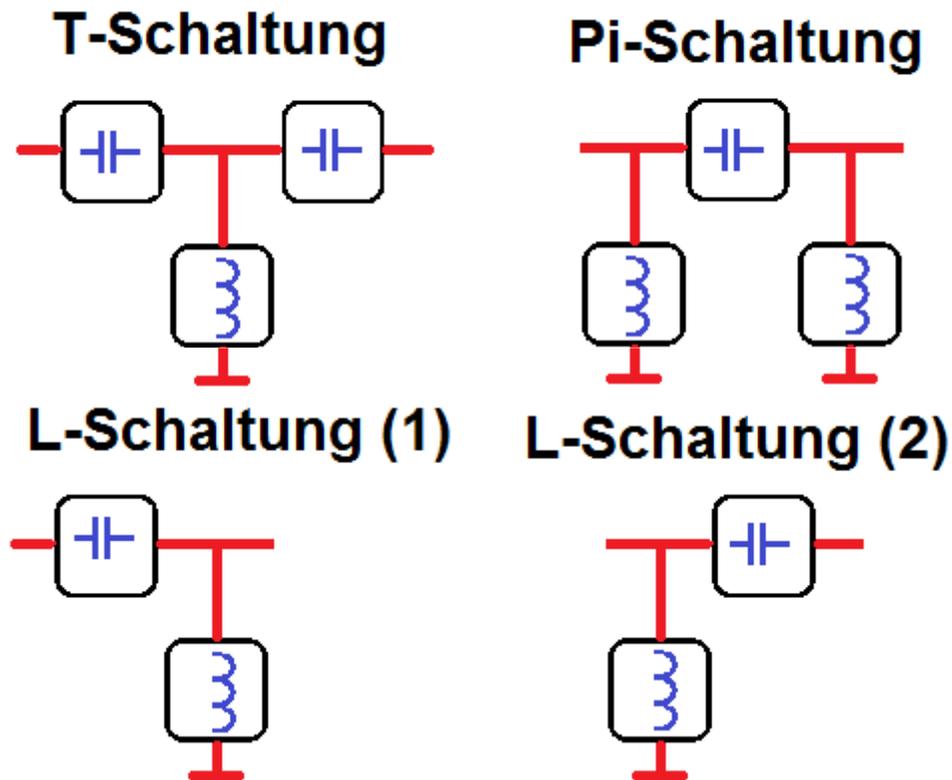
Dies sind die vier Antennenkopplerschaltungen, die in unserer Praxis vorkommen

Tiefpass-Kopplerschaltungen



Tiefpass-Kopplerschaltungen erkennt man an den Spulen im Längszweig, sie unterdrücken die Frequenzen besonders oberhalb der Nutzfrequenz.

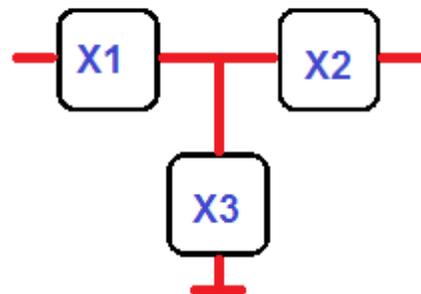
Hochpass-Kopplerschaltungen



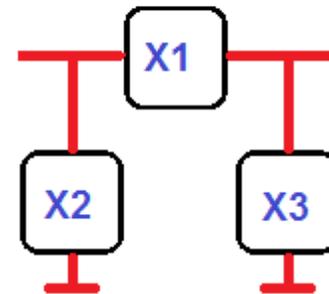
Hochpass-Kopplerschaltungen an den Kondensatoren im Längszweig, sie unterdrücken besonders die Frequenzen unterhalb der Nutzfrequenz.

Kopplerschaltungen

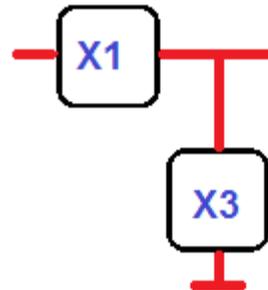
T-Schaltung



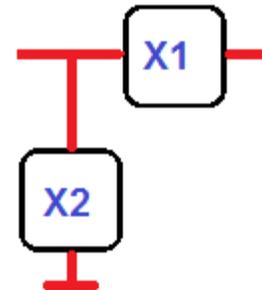
Pi-Schaltung



L-Schaltung (1)

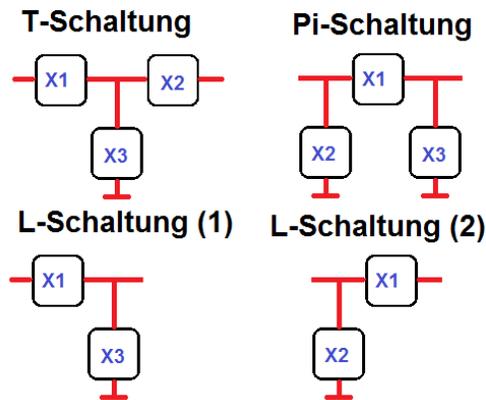


L-Schaltung (2)



Welche Schaltung ist die Beste?

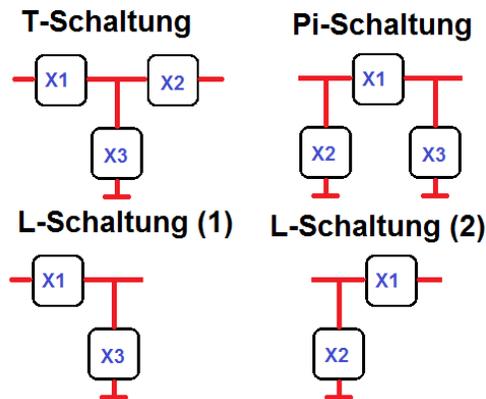
Kopplerschaltungen



Bei der T-Schaltung und bei der Pi-Schaltung lassen sich **sehr viele Einstellungen** finden, die zu einem SWR nahe 1 führen. Dabei gibt es Einstellungen, die mehr oder weniger die Sendeenergie in den Verlustwiderständen der Spulen und Kondensatoren „verbraten“ und **nur eine Einstellung hat den besten Wirkungsgrad**. Aber welche ist es?

Ein altbewährter Trick ist die Antennenstrommessung, z.B. mit Lämpchen in der Speiseleitung. Die Einstellung mit der größten Helligkeit der Lämpchen ist die Richtige. **Das ist sehr umständlich**.

Kopplerschaltungen



Bei der L-Schaltung (1) und bei der L-Schaltung (2) lassen sich jeweils nur eine Einstellung finden, die zu einem SWR nahe 1 führen. Es funktioniert nur eine der beiden Schaltungen. **Diese eine Einstellung hat den besten Wirkungsgrad.**

Und das ganz automatisch und ohne Trick.

Die beiden L - Schaltungen werden realisiert mit **nur zwei Blindelementen**, X1 ist fest verdrahtet und ein zu beiden Seiten hin schaltbares X ersetzt X2 und X3.

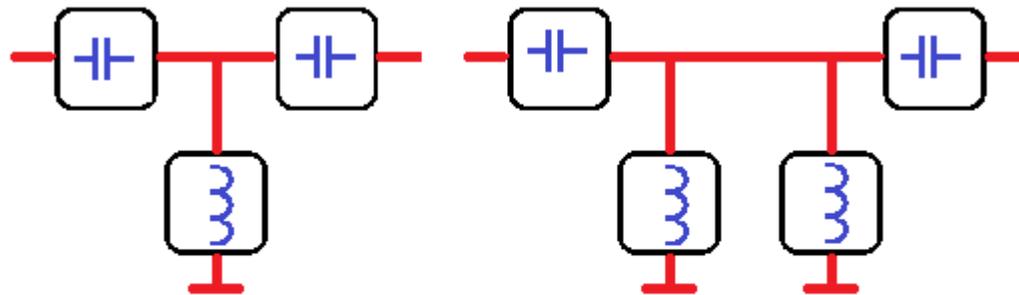
T-Schaltung

Frequenz
21,0

Realteil R
36,5

Imaginärteil X
-202

Eine T-Schaltung kann man sich als Kombination der L-Schaltung (1) und L-Schaltung (2) vorstellen. Zunächst wird der Imaginärteil -202Ω mit einer Spule kompensiert, dann wird der verbleibende Widerstand $36,5 \Omega$ durch die eine L-Schaltung zunächst auf z.B. 200Ω hinauf transformiert. Anschließend wird durch die andere L-Schaltung auf 50Ω hinab transformiert.



T-Schaltung = L-Schaltung (1) + (2)

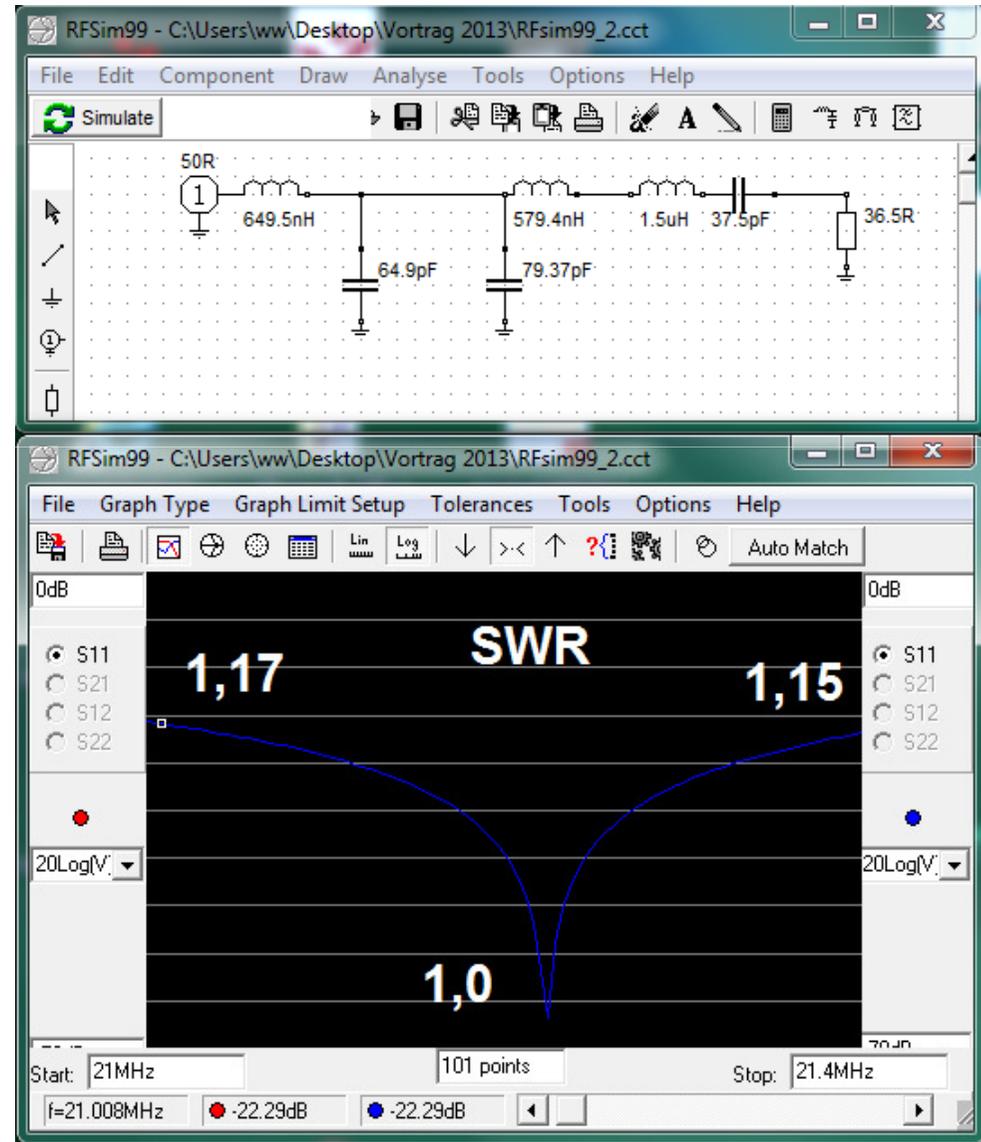
Anpassung mit T-Schaltung

verlustfreie Bauelemente

Bei Abstimmung auf Bandmitte wird auch an den Bandenden ein gutes SWR erreicht.

RFsim99, ein kostenloses Simulationsprogramm hier herunter zu laden:

<http://elektronikbasteln.pl7.de/rfsim99-filter-berechnung.html>



Anpassung mit T-Schaltung

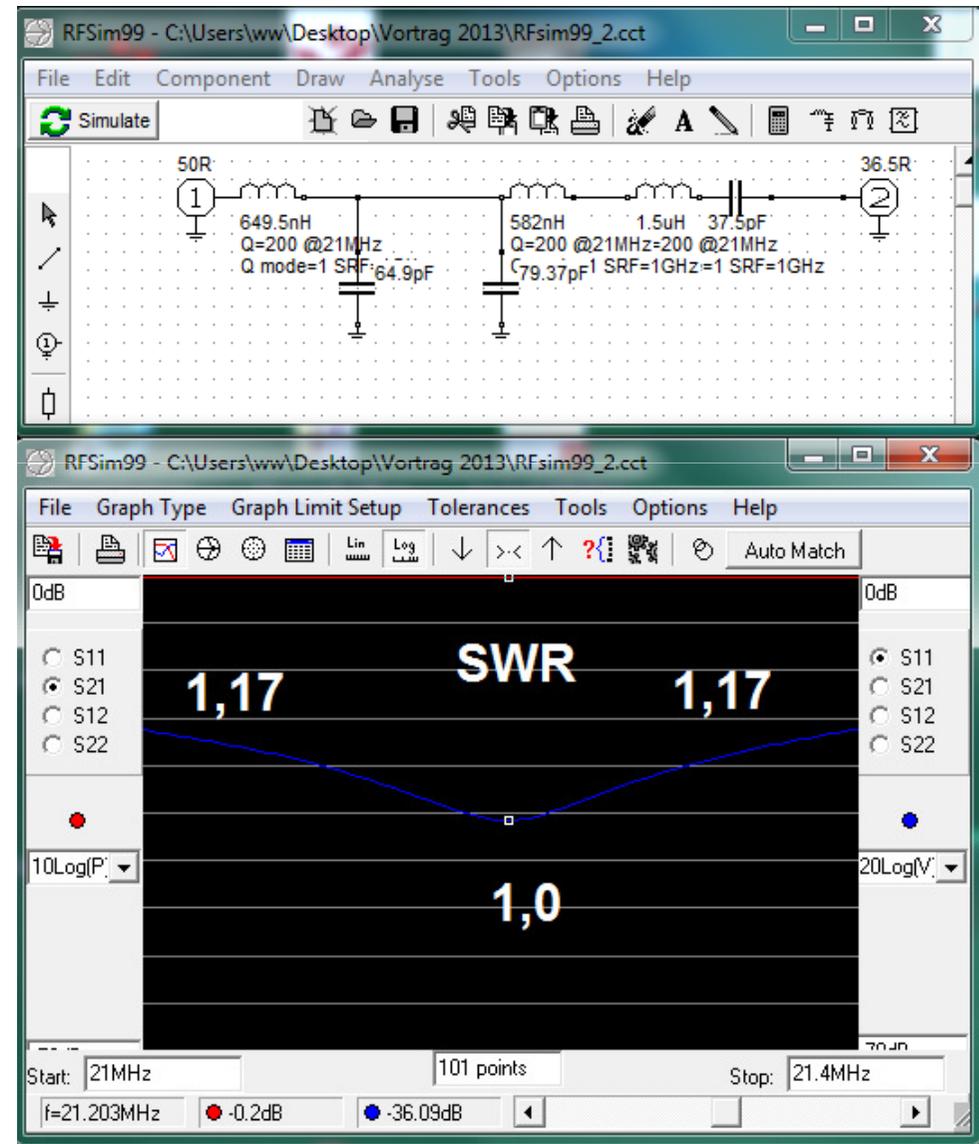
verlustbehaftete Bauelemente, es reicht, nur die Spulen zu berücksichtigen, Kondensatoren haben 10 mal höhere Güte.

Spulengüte $Q = 200$

Bei Berücksichtigung der Spulengüte ergibt sich ein **Durchgangsverlust 0,2 dB.**

(bei 100 Watt -> 4,5 Watt)

Werden die Spulen zu dicht an das Metallgehäuse montiert (kleinerer Abstand als der Spulendurchmesser) **so sinkt die Spulengüte drastisch und die Verluste steigen an.**



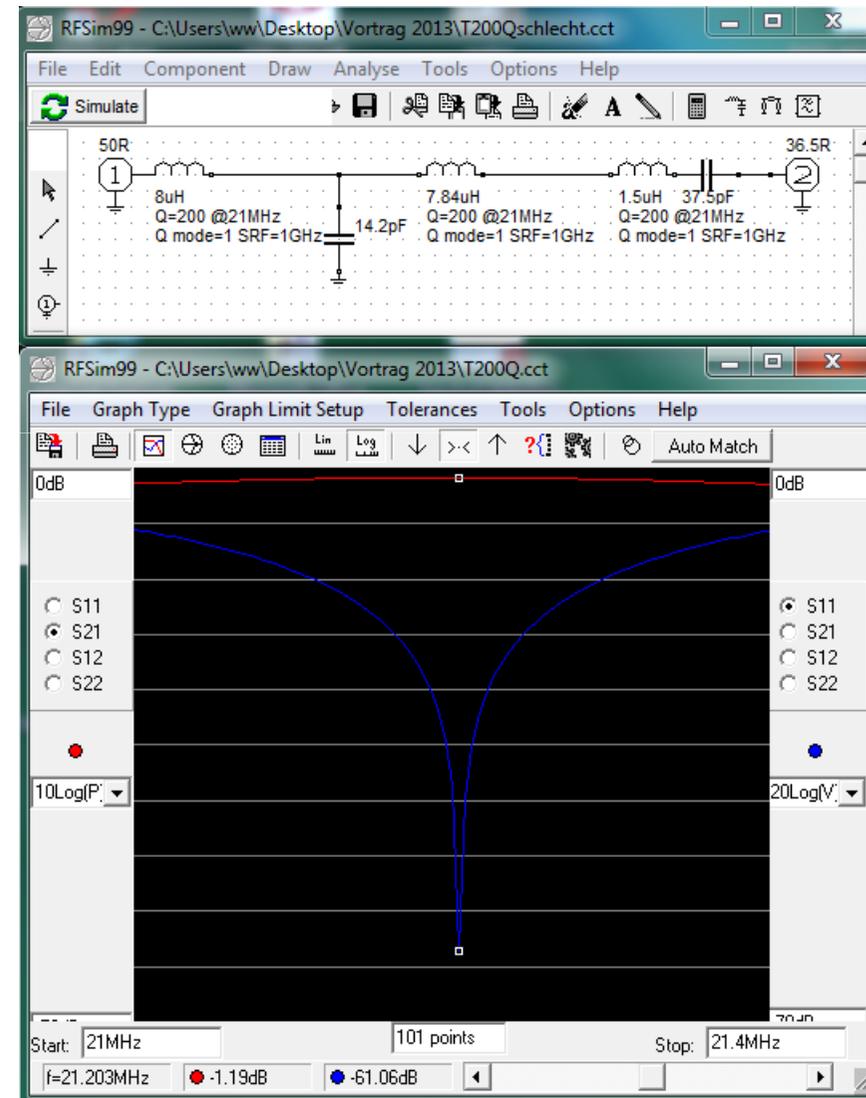
Verlustreichere T-Schaltung

Spulengüte $Q = 200$ und **ungünstige Einstellung**

Diese Schaltung hat 1,19 dB Verlust, das sind **24 Watt** bei 100 Watt

Achte auf die Kurve, sie ist sehr „spitz“

Die Werte für die beiden Rollspulen sind durchaus „normal“ mit ca. $8 \mu\text{H}$

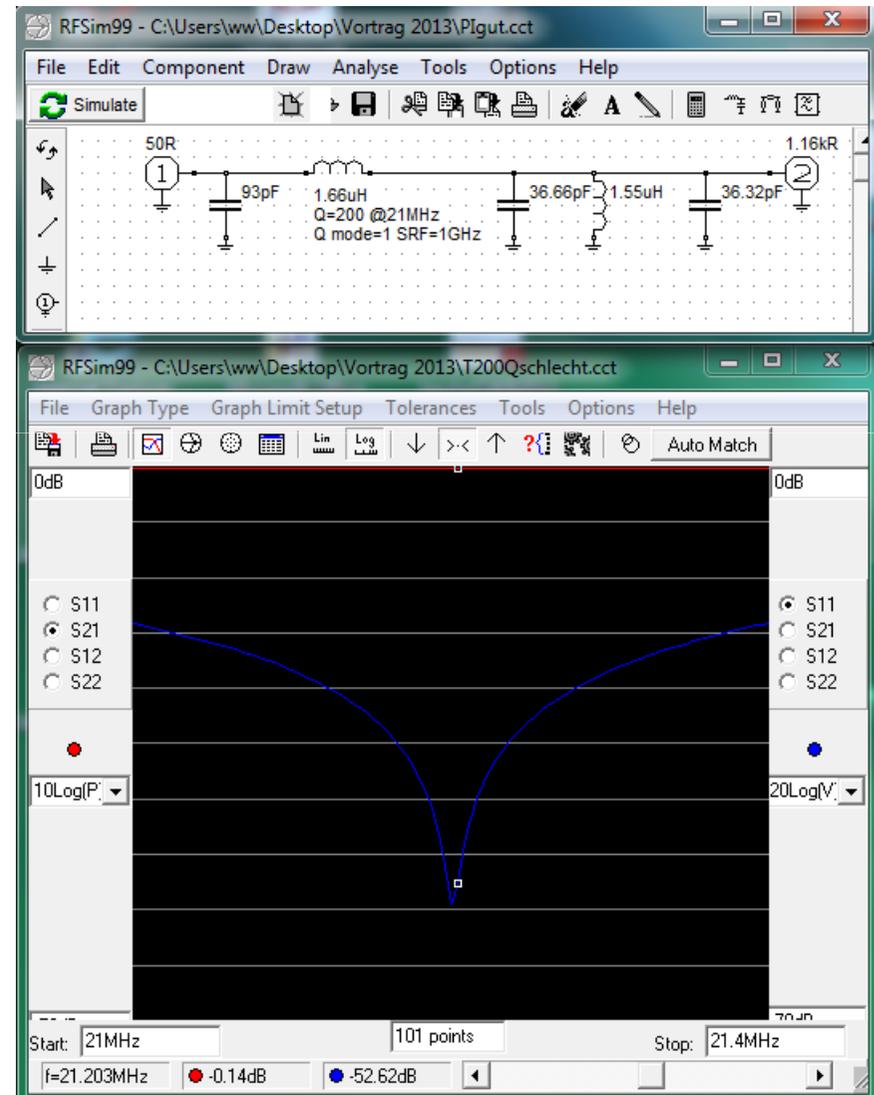


Verlustarme Pi-Schaltung

Spulengüte $Q = 200$ und sehr
günstige Einstellung

(Trick: man rechnet die
Serienschaltung $Z = 36,5 \Omega - j 202 \Omega$
in eine Parallelschaltung um:
 1160Ω parallel $36,32 \text{ pF}$)

diese Einstellung hat $0,14 \text{ dB}$
Verluste, $3,9 \text{ Watt}$ bei 100 Watt

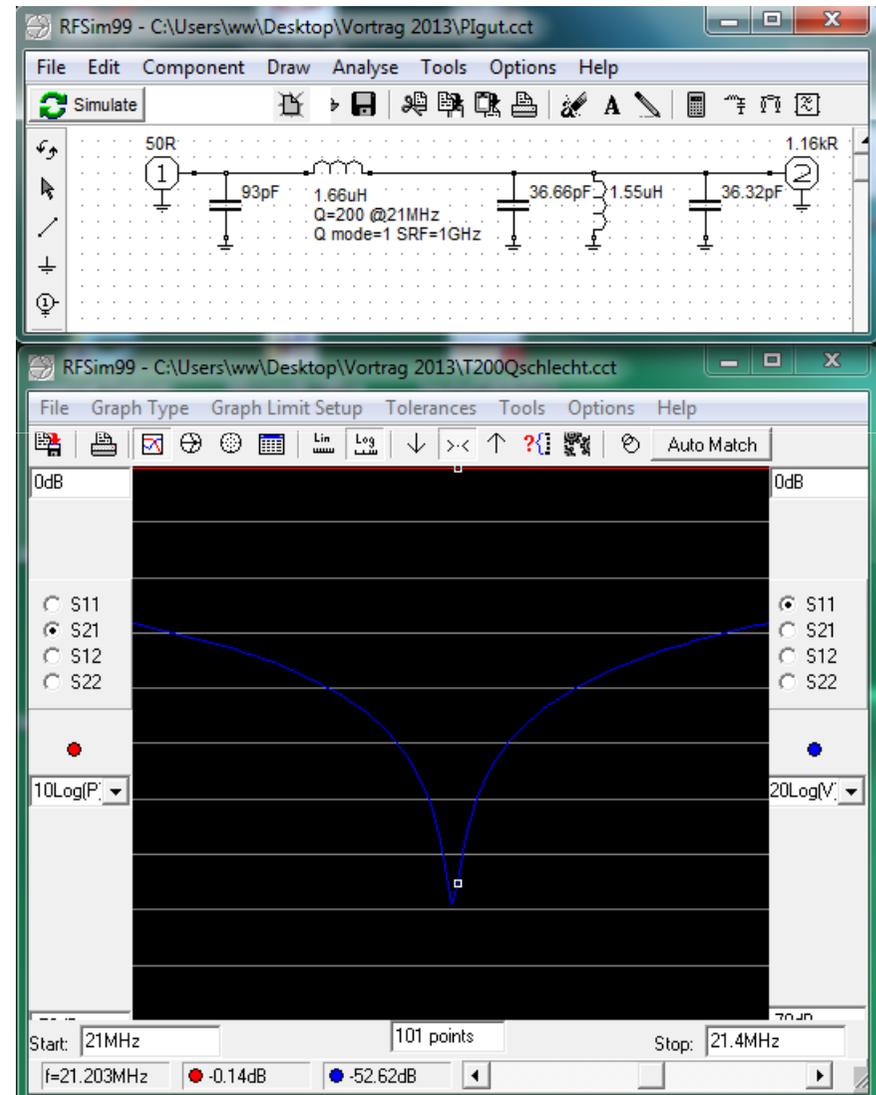


Verlustarme Pi-Schaltung

Spulengüte $Q = 200$ und sehr günstige Einstellung

Der Kondensator $36,66 \text{ pF}$ und die Spule $1,55 \text{ }\mu\text{H}$ ergeben Resonanz auf der Nutzfrequenz und können deshalb entfallen.

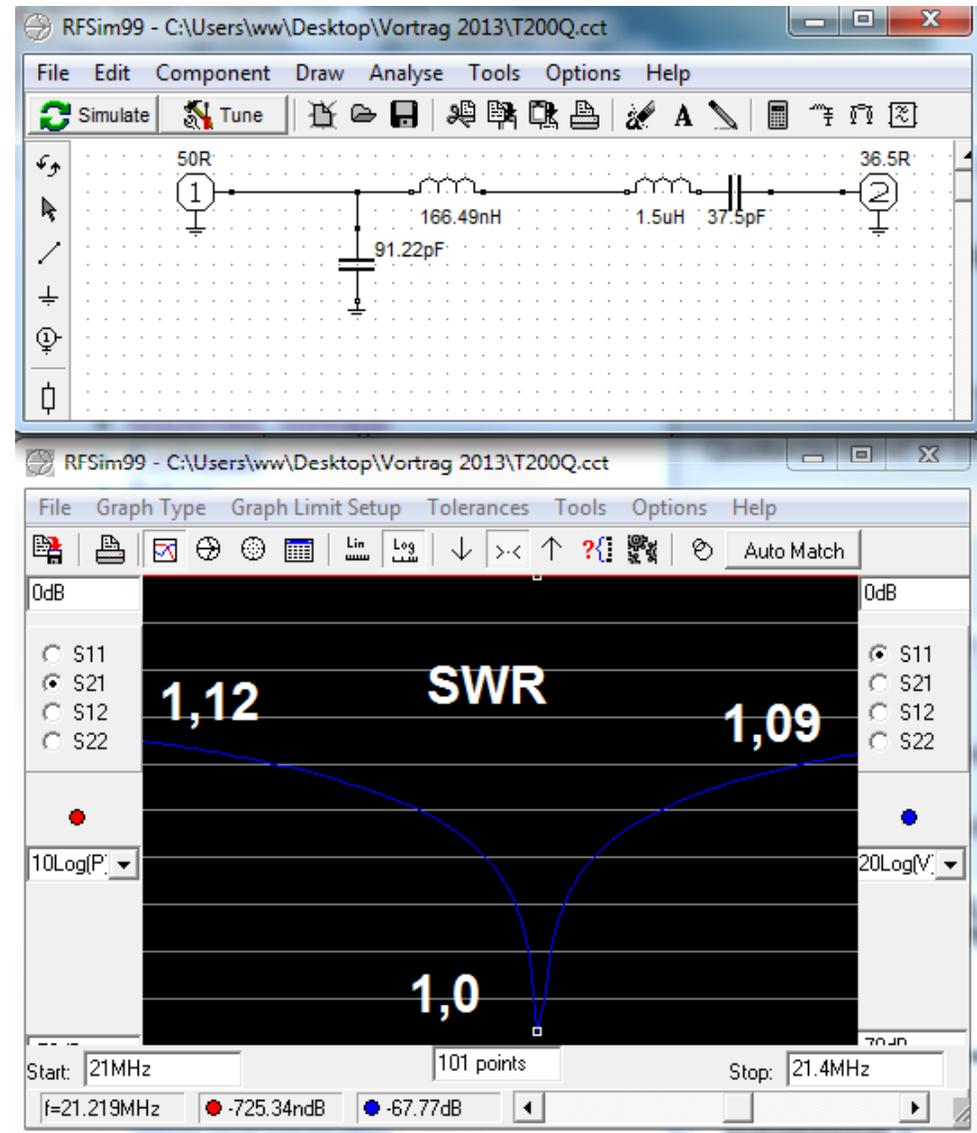
Was bleibt ist ein **L-Glied** !



Anpassung mit L-Schaltung

verlustfreie Bauelemente

im Vergleich mit der T-Schaltung erreicht die L-Schaltung eine **breitbandigere Anpassung** und damit bessere Werte an den Bandenden



Anpassung mit L-Schaltung

Spulengüte $Q = 200$

Die Durchgangsverluste sind **0,13 dB**, die T-Schaltung mit der recht günstigen Einstellung hatte dagegen 0,2 dB, die mit der ungünstigen sogar 1,19 dB.

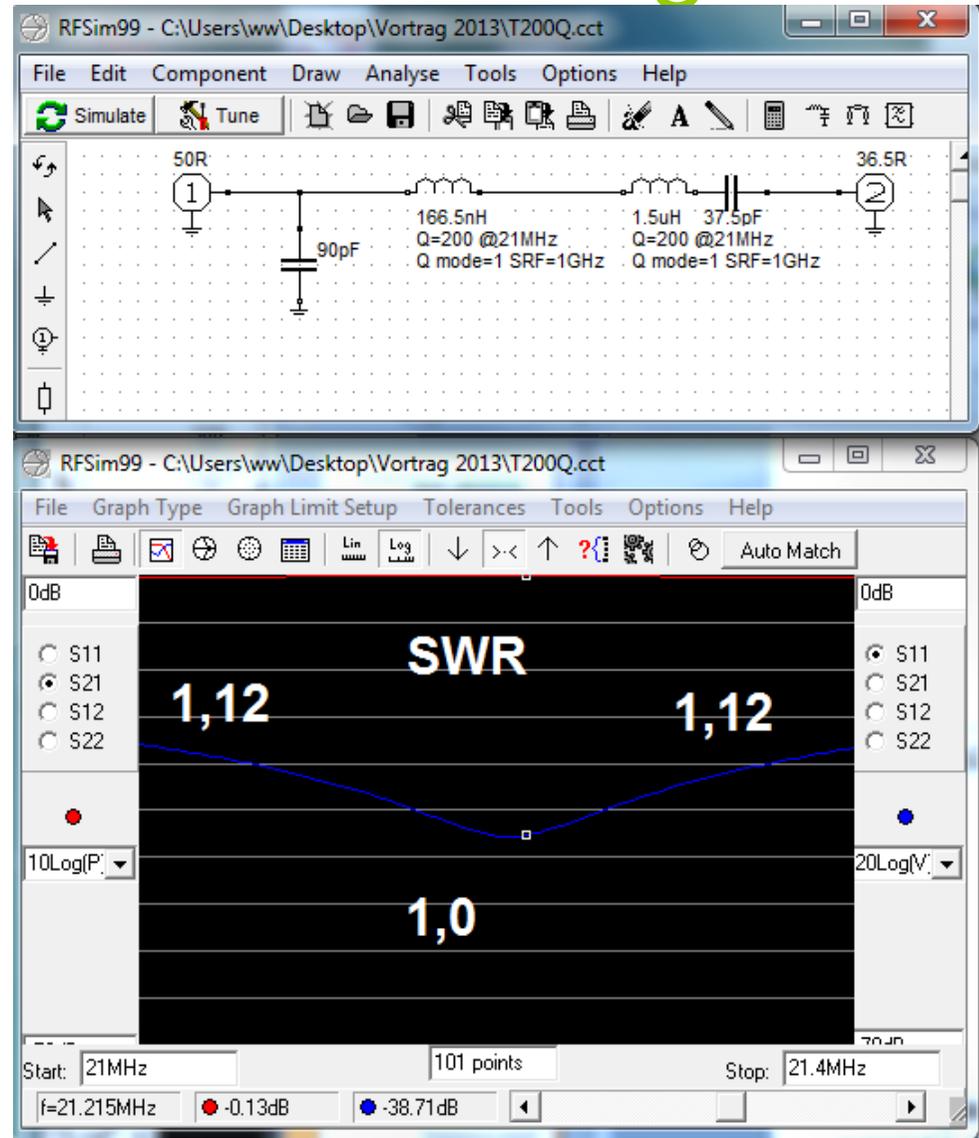
Das bedeutet bei 100 Watt:

L-Schaltung 3,0 Watt Verluste

T-Schaltung (1) 4,5 Watt Verluste

T-Schaltung (2) **24 Watt Verluste**

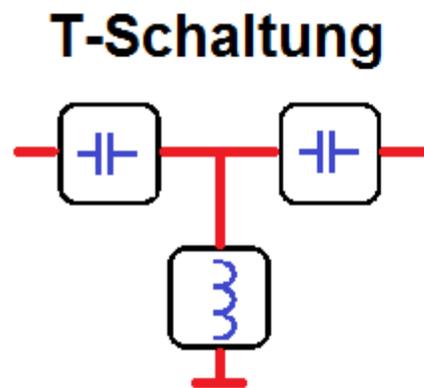
auch mit der Pi-Schaltung können bei ungünstiger Einstellung hohe Verluste entstehen!



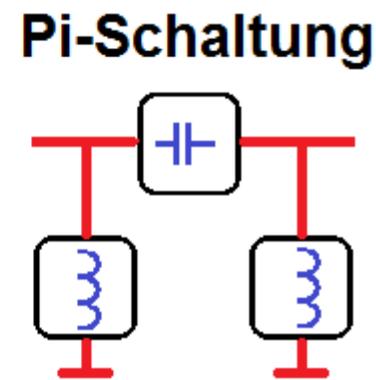
Hochpass-Kopplerschaltungen

Wenn man bei der T- oder Pi-Schaltung die **geringsten Verluste** haben will, muss man sie wie eine L-Schaltung betreiben.

Legt man Wert auf zusätzliche Selektion, dann wählt man bewusst die verlustreichere Einstellung.



Einen Drehkondensator auf Maximum stellen

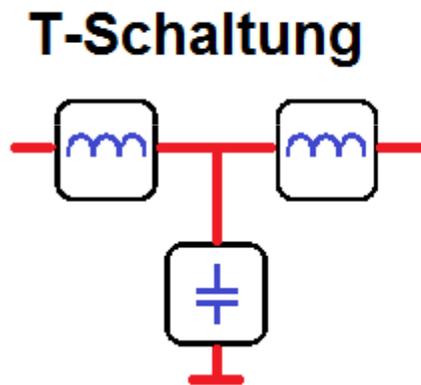


Eine Rollspule auf Maximum stellen

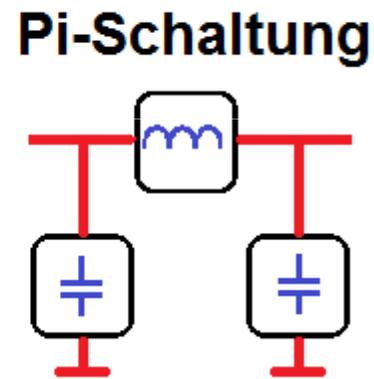
Tiefpass-Kopplerschaltungen

Wenn man bei der T- oder Pi-Schaltung die **geringsten Verluste** haben will, muss man sie wie eine L-Schaltung betreiben.

Legt man Wert auf zusätzliche Selektion, dann wählt man bewusst die verlustreichere Einstellung.



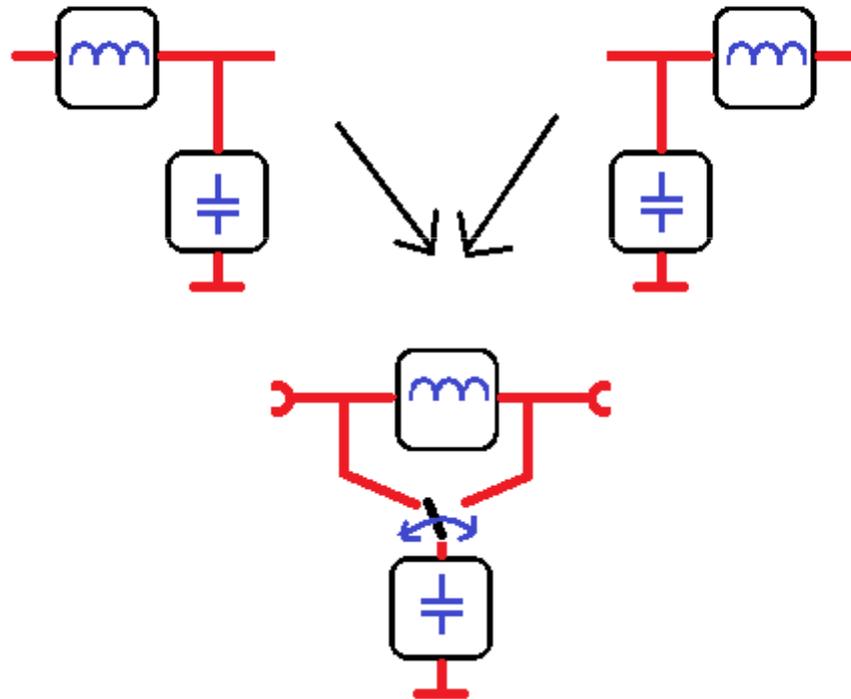
Eine Rollspule auf
Minimum stellen



Einen Drehkondensator
auf Minimum stellen

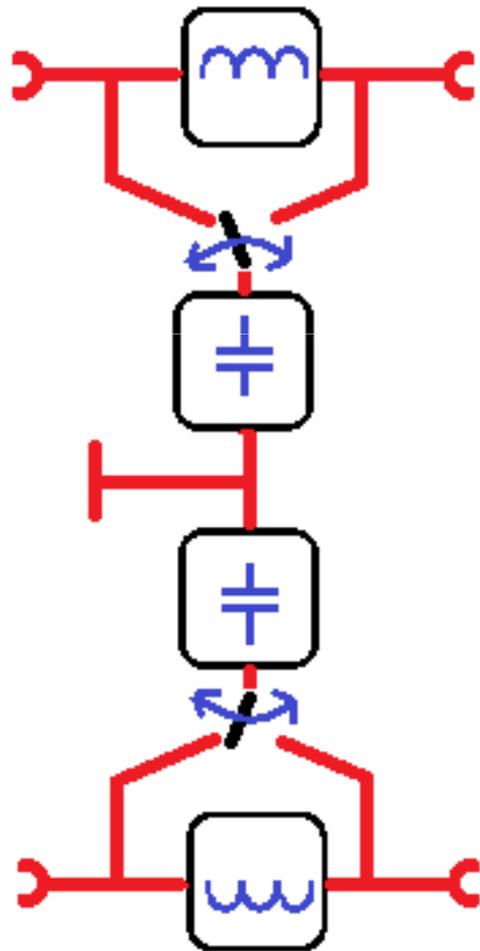
L - Kopplerschaltungen

L-Schaltung (1) L-Schaltung (2)



Mit dieser Schaltung „erschlägt“ man die meisten Anpassungsprobleme

Symmetrischer Aufbau?

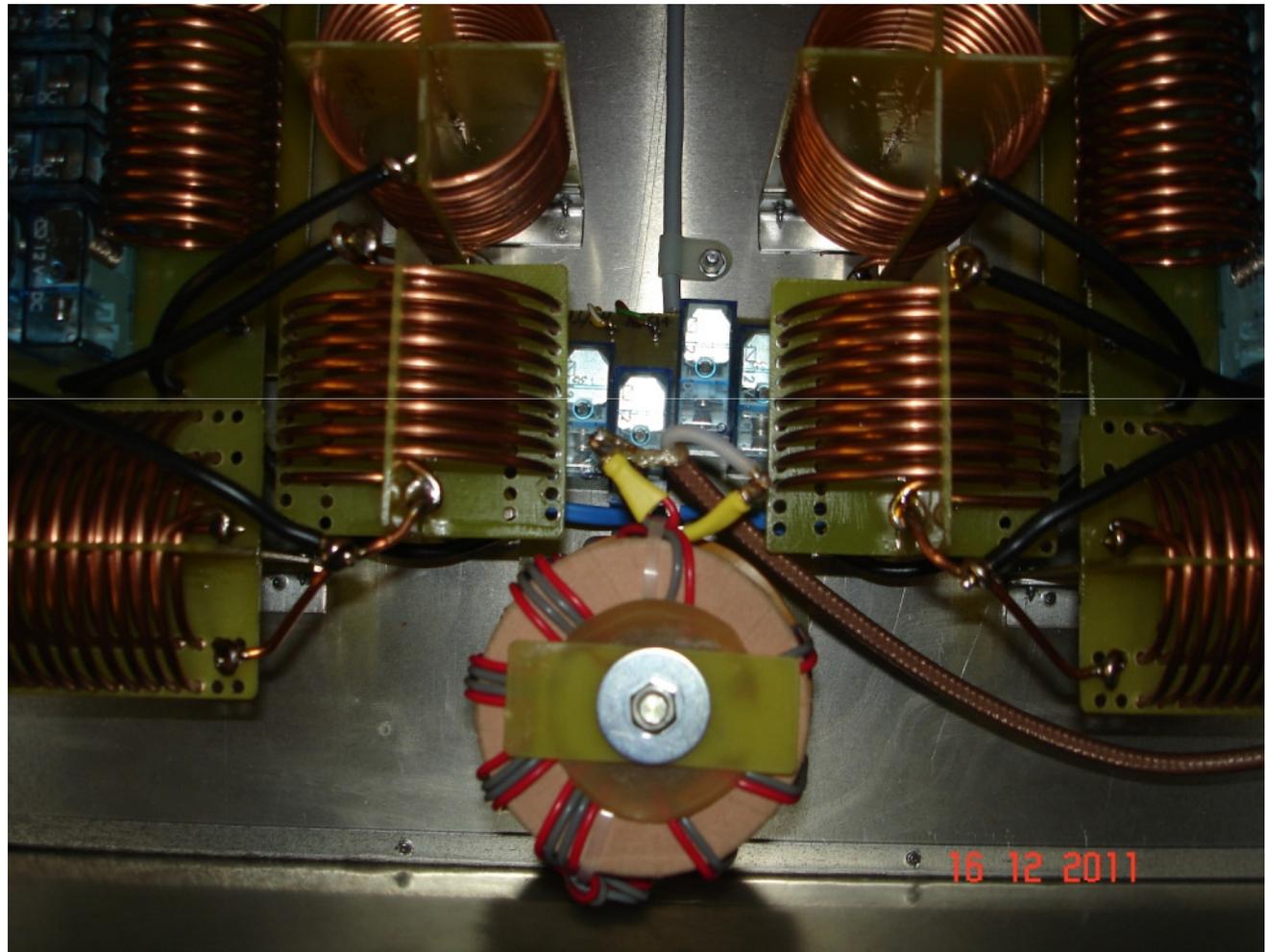
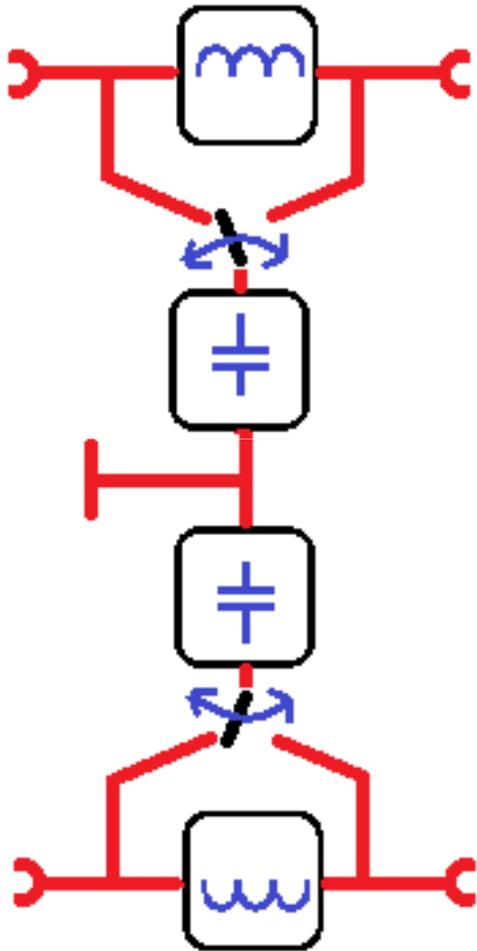


Lohnt sich ein symmetrischer Aufbau des Kopplers?
In unserem Fall braucht man zwei Rollspulen, einen Doppeldrehkondensator und einen doppelten Schalter. Das lohnt wirklich nur an einer **symmetrischen Antenne mit Hühnerleiter**.

Im Übergang vom symmetrischen Koppler zum Koaxialkabel sitzt ein **Hybrid-Balun**. Das ist eine Kombination aus Symmetrieglied und Sperrglied.

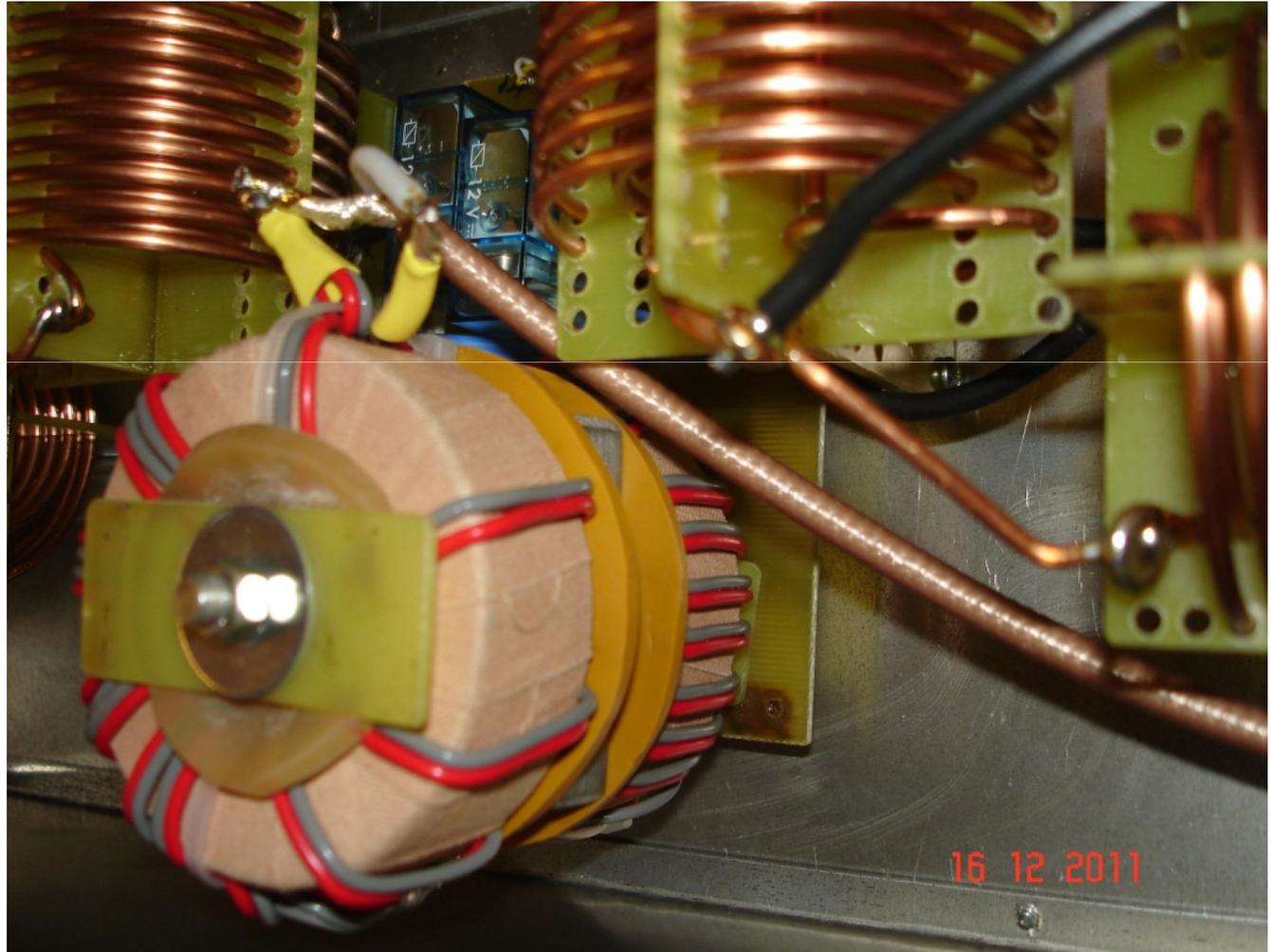
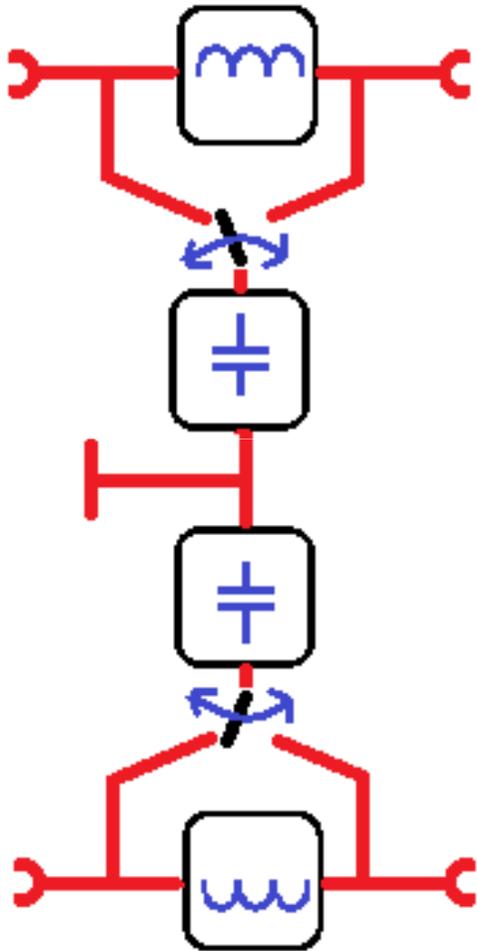
Das Sperrglied funktioniert immer besser mit wachsender Frequenz, das Symmetrieglied mit sinkender Frequenz. In Kombination werden sehr gute Werte für die **Dämpfung unerwünschter Mantelwellen** erreicht.

Aufbau Emil, DL8JJ



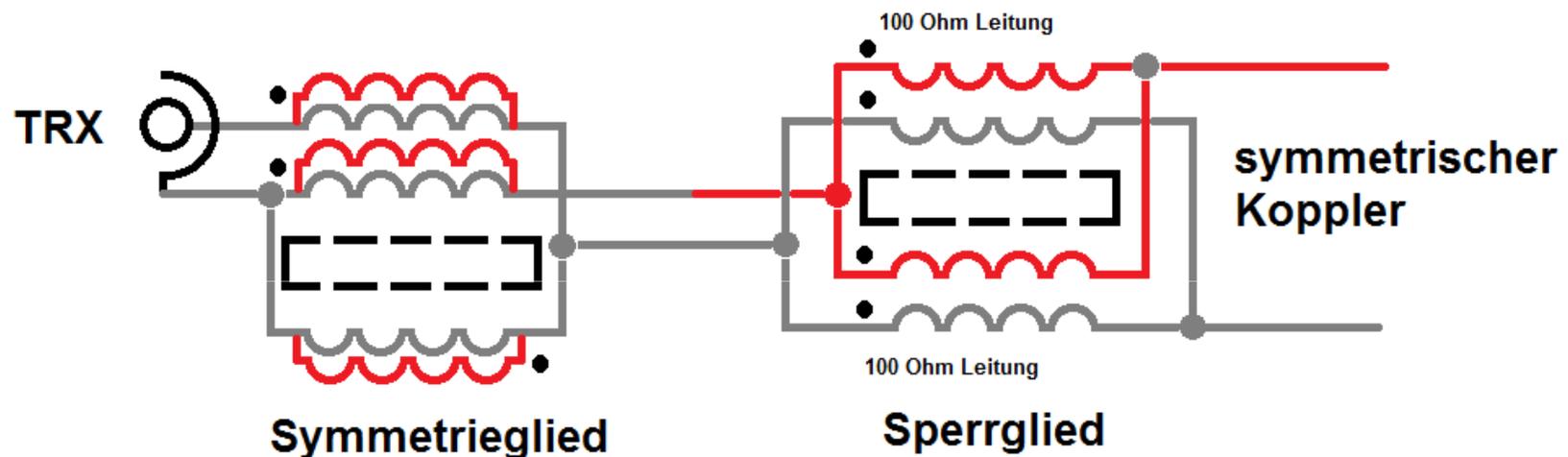
Hybridbalun im „Christiankoppler“

Aufbau Emil, DL8JJ



Der verträgt mehr als 750 Watt....

Hybridbalun



Eine Kombination aus Symmetrie- und Sperrglied bringt optimale Ergebnisse im symmetrisch aufgebautem Koppler. Die Ringkerne haben 60 mm Durchmesser und 20 mm Höhe. Beide Kerne werden mit AWG18, PTFE-isolierter Litze (19 Adern, Kupfer, versilbert, 0,9 mm²) bewickelt.

<http://dg0sa.de/symba800kurz.htm>

Hybridbalun

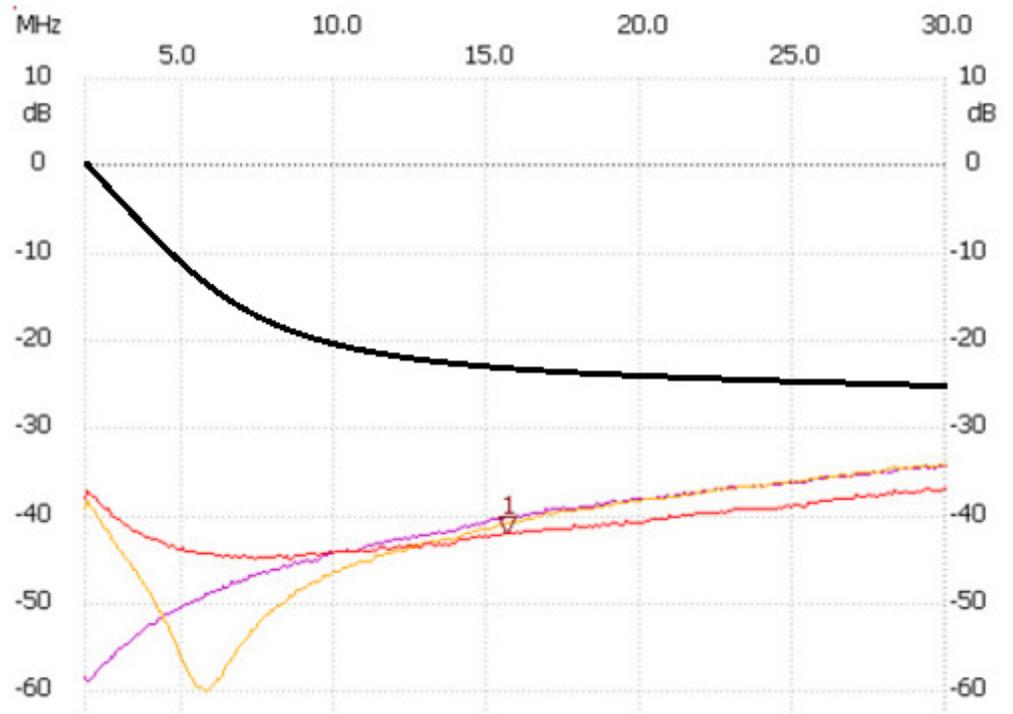
Ein Sperrglied (schwarze Kurve) allein hat bei tiefen Frequenzen Probleme bei der Unterdrückung von Gleichtaktströmen. Mit dem Symmetrieglied zusammen werden gute Ergebnisse erreicht (35dB und mehr).

Blaue Linie: symmetrische Last
rote/grüne Linie: unsymm. Last

NWT 4 Linux & Windows 20 Mai 2010, 11:07

Startfrequenz: 1.800000 MHz; Endfrequenz: 30.000185 MHz; Schrittweite: 94.315 kHz

Messpunkte: 300; Zwischenzeit: 0 uSek

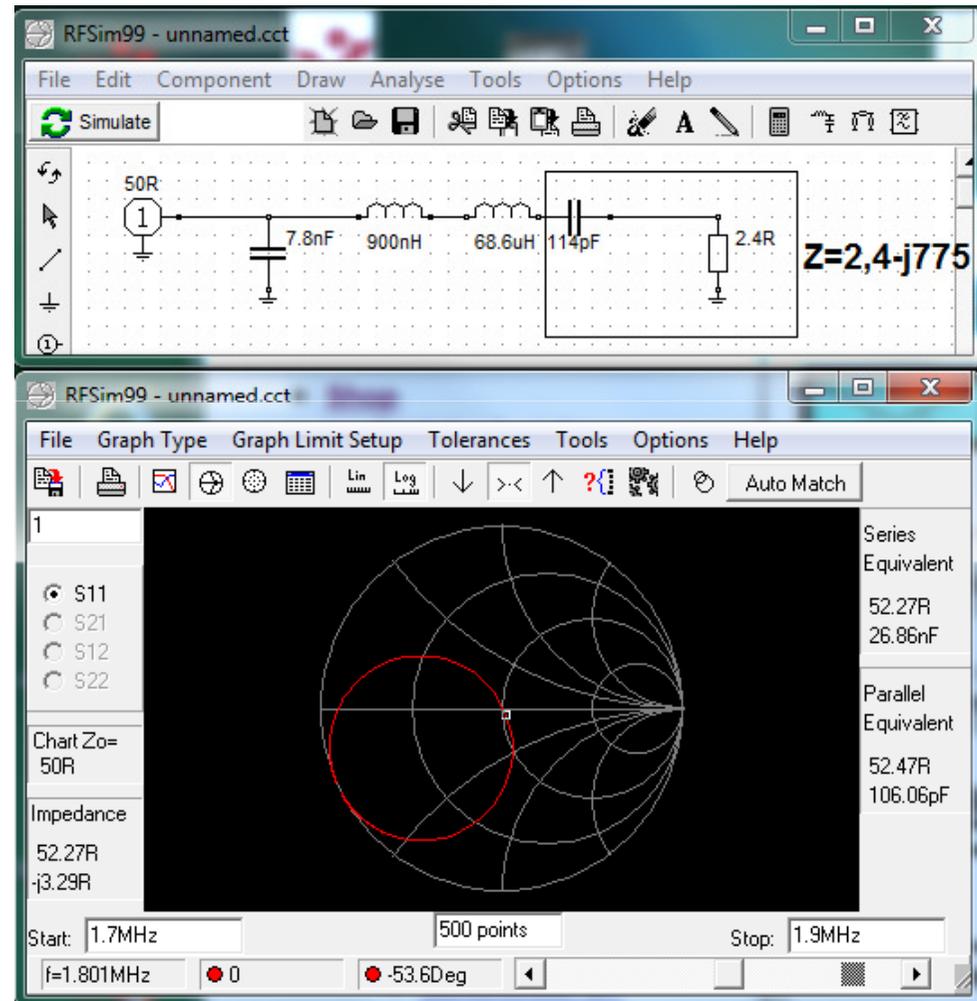


Werte ermitteln für L-Glied

Frequenz 1,8 MHz Realteil $R = 2,4 \Omega$ Imaginärteil $X = -775\Omega$

$C = 7,8 \text{ nF}$ gegen Masse an der TRX-Seite

$L = 69,5 \mu\text{H}$ in Reihe in Richtung Antenne.
(900 nH und $68,6 \mu\text{H}$ werden zusammengefasst)

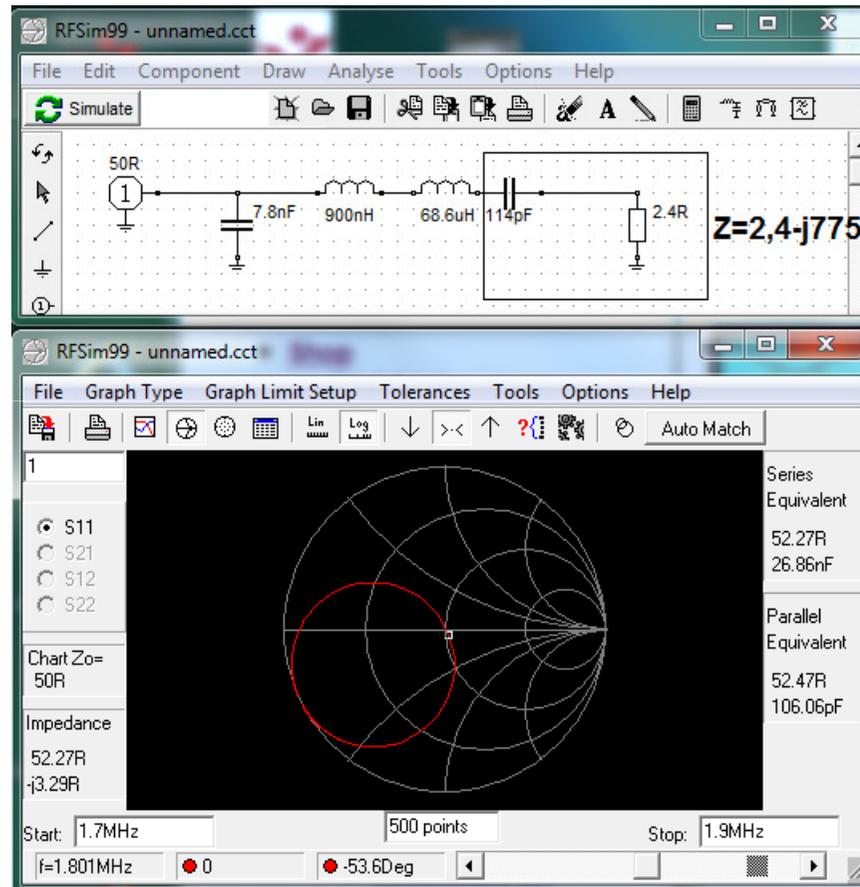


Mit RFSim99 und etwas Rechenkunst kommt man zu diesem Ergebnis

Werte ermitteln für L-Glied

Frequenz 1,8 MHz Realteil $R = 2,4 \Omega$ Imaginärteil $X = -775 \Omega$

Was auffällt:
zur Transformation werden
 $0,9 \mu\text{H}$ benötigt.
Zur Kompensation des
Blindanteils $68,6 \mu\text{H}$.
Das bedeutet, die
Beseitigung des Blindanteils
erfordert eine Spule, die bei
einer Güte von 200 bereits
einen Verlustwiderstand von
 $3,9 \Omega$ hat, mehr als der
Realteil der Antenne $2,4 \Omega$.



Zwei Drittel der Sendeenergie schluckt bereits die Spule, das Band kann ich mit meiner Antenne „vergessen“.

Werte der Bauelemente ermitteln

Einfacher geht es mit einem kleinen Rechenprogramm auf meiner Seite <http://dg0sa.de>

Es werden die Werte aus der Tabelle eingegeben und aus den vier Möglichkeiten der L-Anpassung jene herausgesucht, die

- Keine negativen Werte aufweisen
- „Brauchbare“ Werte aufweisen

Balun, Splitter, Combiner, Filter - Mozilla Firefox

www.dg0sa.de

Balun, Splitter, Combiner, Filter

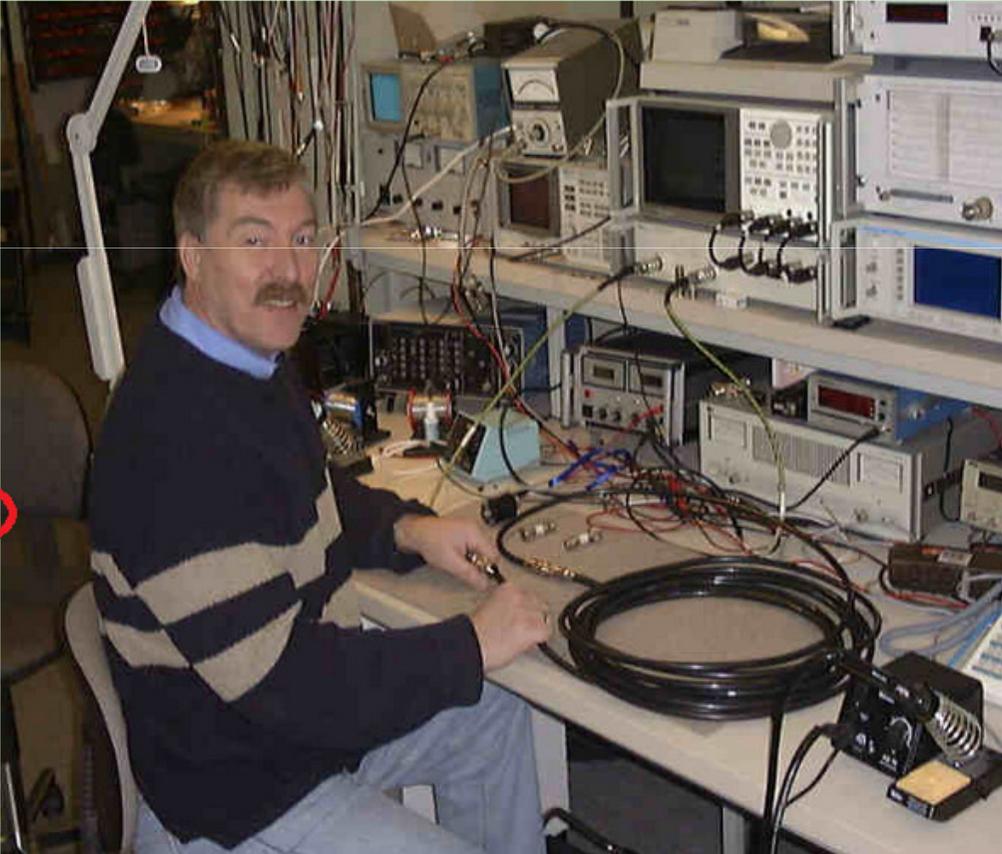
- [Shop](#)
- [ins Gästebuch eintragen](#)
- [Gästebuch ansehen](#)
- [Dateien herunterladen](#)
- [interessante Links](#)
- [Nützliches, Vorträge](#)
- [Fuchsjagd](#)
- [Balune](#)
- [Splitter und Combiner](#)
- [Antennen](#)
- [Schwingkreise](#)
- [LC-Filter, Weichen](#)
- [Anpaßschaltungen](#)
- [Kabel und Leitungen](#)
- [Meßschaltungen, -zubehör](#)
- [Allerlei](#)

Besucher Statistik

» 1 Online
» 14 Heute
» 208 Woche
100 M...

 **e-mail an DG0SA**  **über mich** [Neu: Ferrite auf Stromleitungen](#)

Hallo, schöne Grüße von der Küste! Ich freue mich über Deinen Besuch auf meiner Seite und wünsche Dir Anregungen für eigene Gedanken. Viel Spaß beim Stöbern.

 **Warnung: Auf dieser Seite ist nur technischer Kram!**
Diese homepage ist für den Zweck eingerichtet, mit Bastlern und Funkfreunden ins Gespräch zu kommen, die sich für den Selbstbau technischer Geräte interessieren. Vieles stammt aus der Literatur und wurde von mir nur amateurfreundlich aufbereitet.
Was ist ein Bastler?
Einer, der mit völlig unzureichenden Mitteln etwas herstellt, was keiner braucht.
Was ist ein Profi?
Einer, der mit hohem Aufwand etwas herstellt, was viele brauchen.
Und ein Amateur, so wie ich?
Er liegt wohl irgendwo dazwischen, seine bescheidenen Mittel erlauben ihm die Herstellung von Dingen, die ab und zu jemand braucht.
Das Bild links zeigt mein Traumlabor, willst Du die [Realität](#) sehen?

Werte der Bauelemente ermitteln

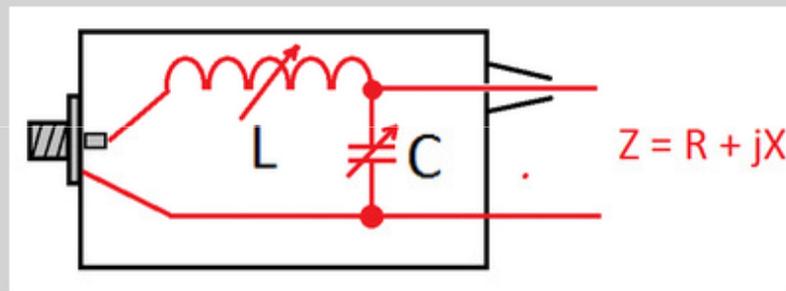
- [Dateien herunterladen](#)
- [interessante Links](#)
- [Nützliches, Vorträge](#)
- [Fuchsjagd](#)
- [Balune](#)
- [Splitter und Combiner](#)
- [Antennen](#)
- [Schwingkreise](#)
- [LC-Filter, Weichen](#)
- **Anpaßschaltung**
 - [Anpassen komplexe Last](#)
 - [Hochpaß-L](#)
 - [Tiefpaß-L](#)
 - [Collinsfilter](#)
 - [T-Filter](#)
 - [Resonanztre](#)
 - [Breitbandtre](#)
 - [Anpassung mit SGS](#)
 - [Doppel-L-Pa](#)
 - [Spezial-LC-Netzwer](#)

Realteil R der Last in Ω Imaginärteil X der Last in Ω Frequenz in MHz **Antennentuner**

2.4 -775 1.8

L und C ermitteln

Tiefpass-Ausführung



L in μH C in pF Spannungsüberhöhung V

312.743 -89.09 70.75

bei negativem Wert oder "NaN" schaue in die andere Zeile, achte auf die Lage des Kondensators!

69.471 7875.46



Werte der Bauelemente ermitteln

[Suchen](#)
[Herunterladen](#)

[Zusätzliche](#)

[:hes.](#)
[ge](#)
[jagd](#)

[r und](#)
[iner](#)
[nen](#)

[ngkreise](#)
[ter,](#)
[nen](#)

Beispielschaltungen:

[Anpassen](#)
[komplexe](#)
[Last](#)

[Hochpaß-L](#)
[Tiefpaß-L](#)
[Collinsfilter](#)

[T-Filter](#)
[Resonanztr](#)
[Breitbandtr](#)

[Anpassung](#)
[mit SGS](#)
[Doppel-L-P](#)

[Spezial-](#)
[LC-Netzwer](#)
[Anzapfung](#)

[LC-Kreis](#)
[und](#)
[gen](#)

[haltungen.](#)
[rör](#)

bei negativem Wert oder "NaN" schaue in die andere Zeile, achte au

69.471	7875.46	
--------	---------	--

Hochpaß-Ausführung

L in µH	C in pF	Spannungst
56.212	25	70.75

bei negativem Wert oder "NaN" schaue in die andere Zeile, achte au

0.993	-115.68	
-------	---------	--

Diese beiden
 Möglichkeiten
 gibt es:

(Hochspannung
 am Ausgang!)

Tiefpass-L
 69,4 µH, 7,8 nF

Hochpass-L
 56,2 µH, 25 pF
 5 kV bei 100 Watt
 am Kondensator!

Werte der Bauelemente ermitteln

Freq.	R	X	L	C	V	C zum/zur
1,8	2,4	-775	69 μH	7,8 nF	71	TRX
2,0	2,2	-681	55 μH	7,4 nF	65	TRX
3,5	7,1	-301	14 μH	2,2 nF	16	TRX
3,8	7,0	-252	11 μH	2,1 nF	13	TRX
7,0	101	+343	5,6 μH	150 pF	5	Antenne
7,2	141	+424	5,8 μH	129 pF	5	Antenne
10,1	179	-513	4,4 μH	27 pF	6	Antenne
14,0	200	+163	1,35 μH	109 pF	3	Antenne
14,4	342	+257	1,72 μH	80 pF	3	Antenne
18,1	345	-597	2,27 μH	22 pF	5	Antenne
21,0	36,5	-202	1,78 μH	-5 pF	5	Antenne
21,4	33,7	-168	1,51 μH	-8 pF	4	Antenne
24,95	103	+133	0,68 μH	79 pF	2	Antenne
28,0	246	-346	1,05 μH	18 pF	4	Antenne
28,9	138	-265	0,95 μH	13 pF	4	Antenne
29,7	91,4	-200	0,83 μH	9 pF	3	Antenne

Problem

Freq.	R	X	L	C	V	C zum/zur
1,8	2,4	-775	69 μ H	7,8 nF	71	TRX
2,0	2,2	-681	55 μ H	7,4 nF	65	TRX

Bei Realteilen von wenigen Ohm wird der VNWA keine sehr genauen Ergebnisse liefern, Außerdem darf man die Spulenverluste nicht unberücksichtigt lassen. Eine Spule mit der Güte $Q = 200$ und einer Induktivität von 69 μ H hat bei 1,8 MHz rund 4 Ω

Verlustwiderstand. Rechnet man mit $R = 2,4 + 4 = 6,4 \Omega$, so erhält man 70 μ H und 4,6 nF.

Die Spule von 55 μ H hat bei $Q = 200$ etwa 3,5 Ω , man erhält nach Eingabe des Wertes $R = 5,7 \Omega$ einen Wert für die Spule von 55 μ H und für den Kondensator 4,4 nF.

Es muss also vor allem der Wert des Kondensators verändert werden.

Problem

Freq.	R	X	L	C	V	C zum/zur
3,5	7,1	-301	14 μ H	2,2 nF	16	TRX
3,8	7,0	-252	11 μ H	2,1 nF	13	TRX

Auch bei diesen Werten ist vielleicht eine Korrektur erforderlich.

Die 14 μ H-Spule hat 1,5 Ω bei $Q=200$ und $F=3,5$ MHz,

die 11 μ H Spule hat 1,3 Ω .

Die korrigierten Werte betragen 14 μ H / 2 nF und 11 μ H / 1,9 nF.

Problem

Freq.	R	X	L	C	V	C zum/zur
21,0	36,5	-202	1,78 μH	-5 pF	5	Antenne
21,4	33,7	-168	1,51 μH	-8 pF	4	Antenne

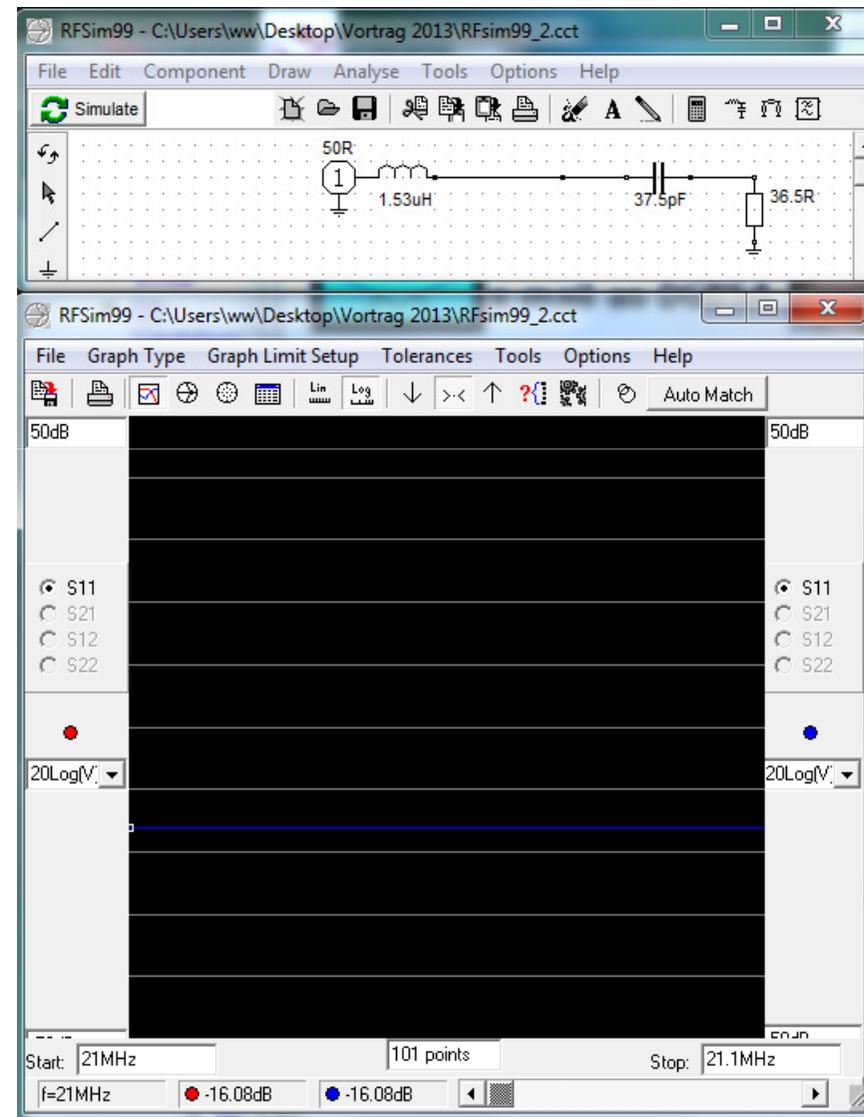
Wenn negative Werte auftauchen, müsste eine andere Schaltung her, z.B. mit einem Kondensator C in Richtung zum TRX.

Weil aber die Werte recht nahe Null sind, dreht man den Drehkondensator auf und **sucht mit der Rollspule einen guten SWR-Wert.**

Erreicht werden 6 dB Rückflussdämpfung, das ist ein SWR von 1,38 !

Problem gelöst

In der Simulation zeigt sich, dass mit einer Rollspule allein schon eine recht gute Anpassung erreichbar ist. Wird der Blindwiderstand mit der Rollspule kompensiert, der entstehende Serienschwingkreis hat als Resonanzfrequenz dann etwa 21 MHz, so arbeitet der TRX auf 36,5 Ω mit einem SWR von 1,4.



Andere Problemlösung

Oder man schaltet einen Kondensator 92 pF auf die TRX-Seite.

L in μH	C in pF	Spannungsüberhöhung V
1.781	-5.47	4.81
bei negativem Wert oder "NaN" schaue in die andere Zeile, achte auf die Lage des Kondensators!		
1.7	92.19	

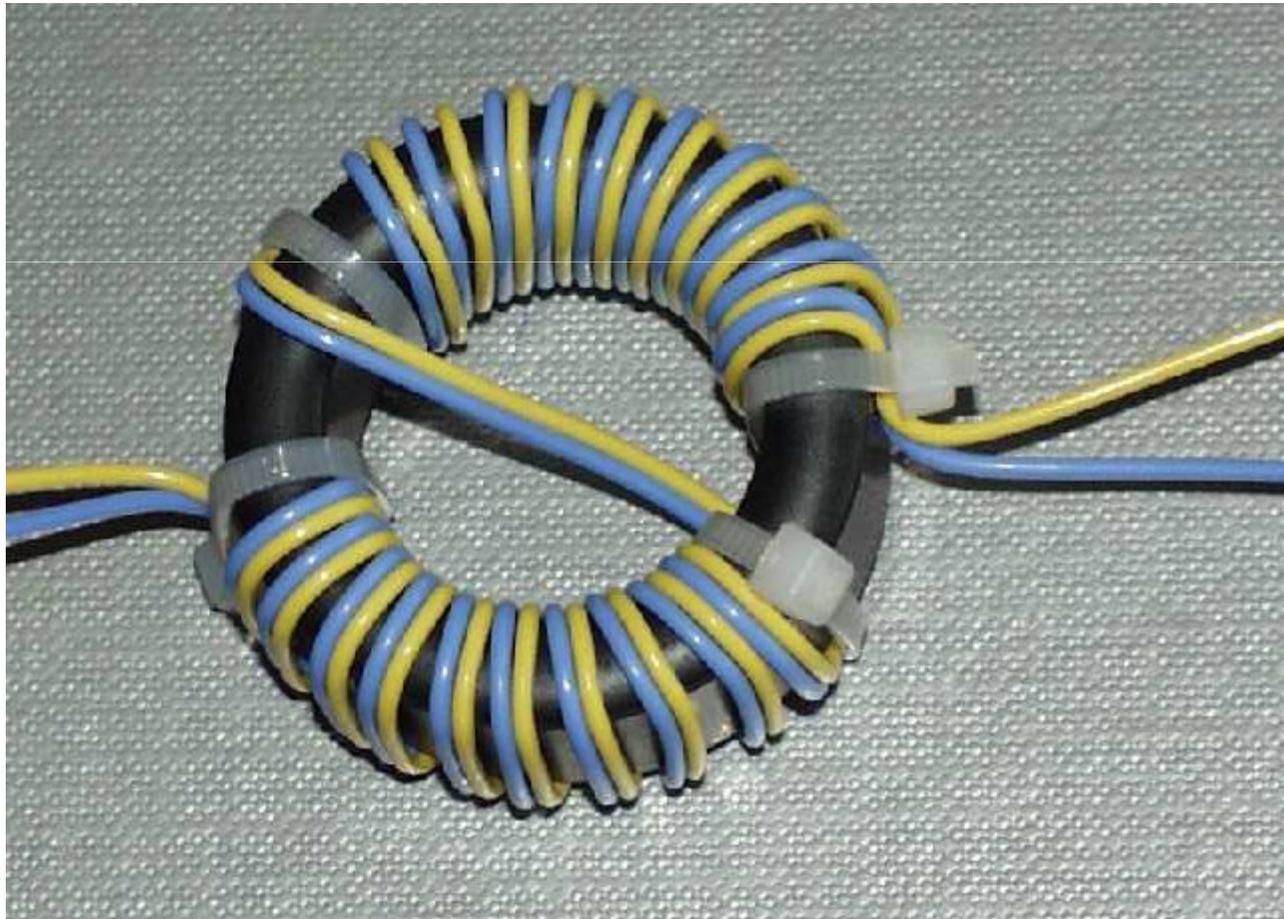
$Z = R + jX$

Hochpass-Ausführung

Die Spule hat dann den Wert von 1,7 μH

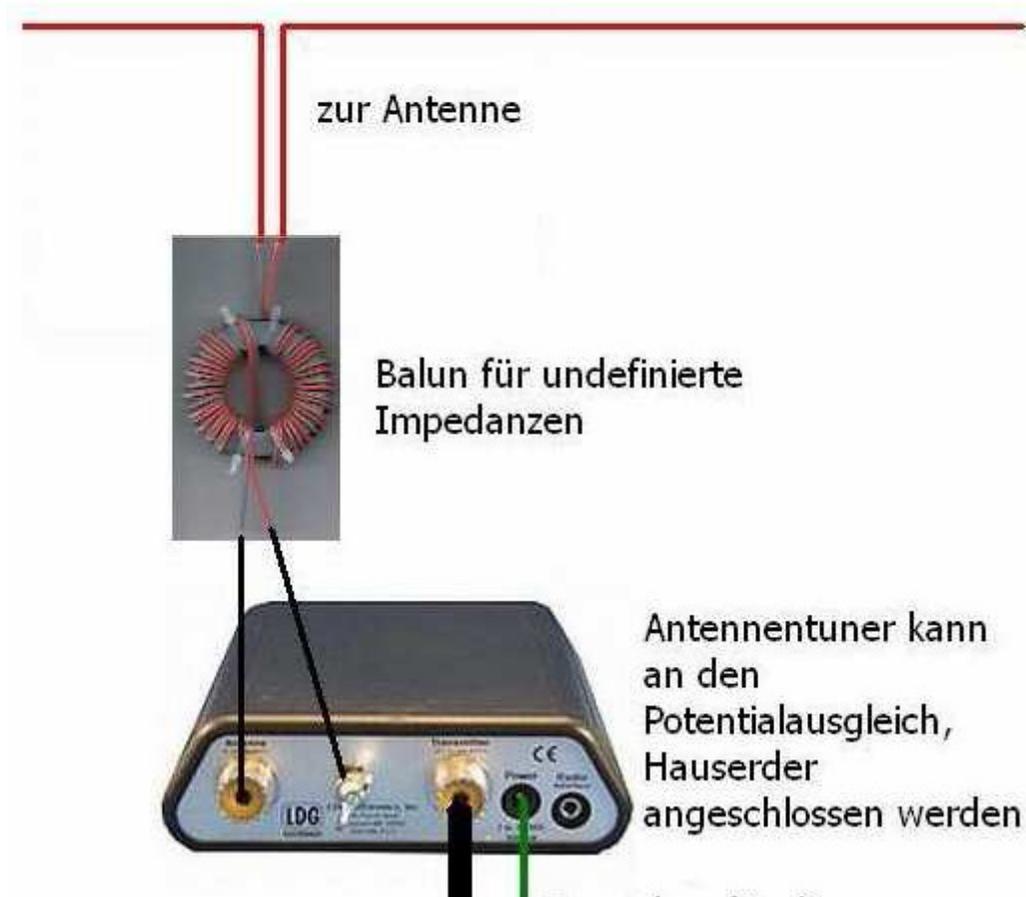
Unsymmetrischer Koppler an symmetrischer Antenne

Hundertfach bewährt: ein Sperrglied zwischen Hühnerleiter und Koppler



Unsymmetrischer Koppler an symmetrischer Antenne

Balun Typ „Sperrglied“ zwischen Hühnerleiter und unsymmetrischem Koppler

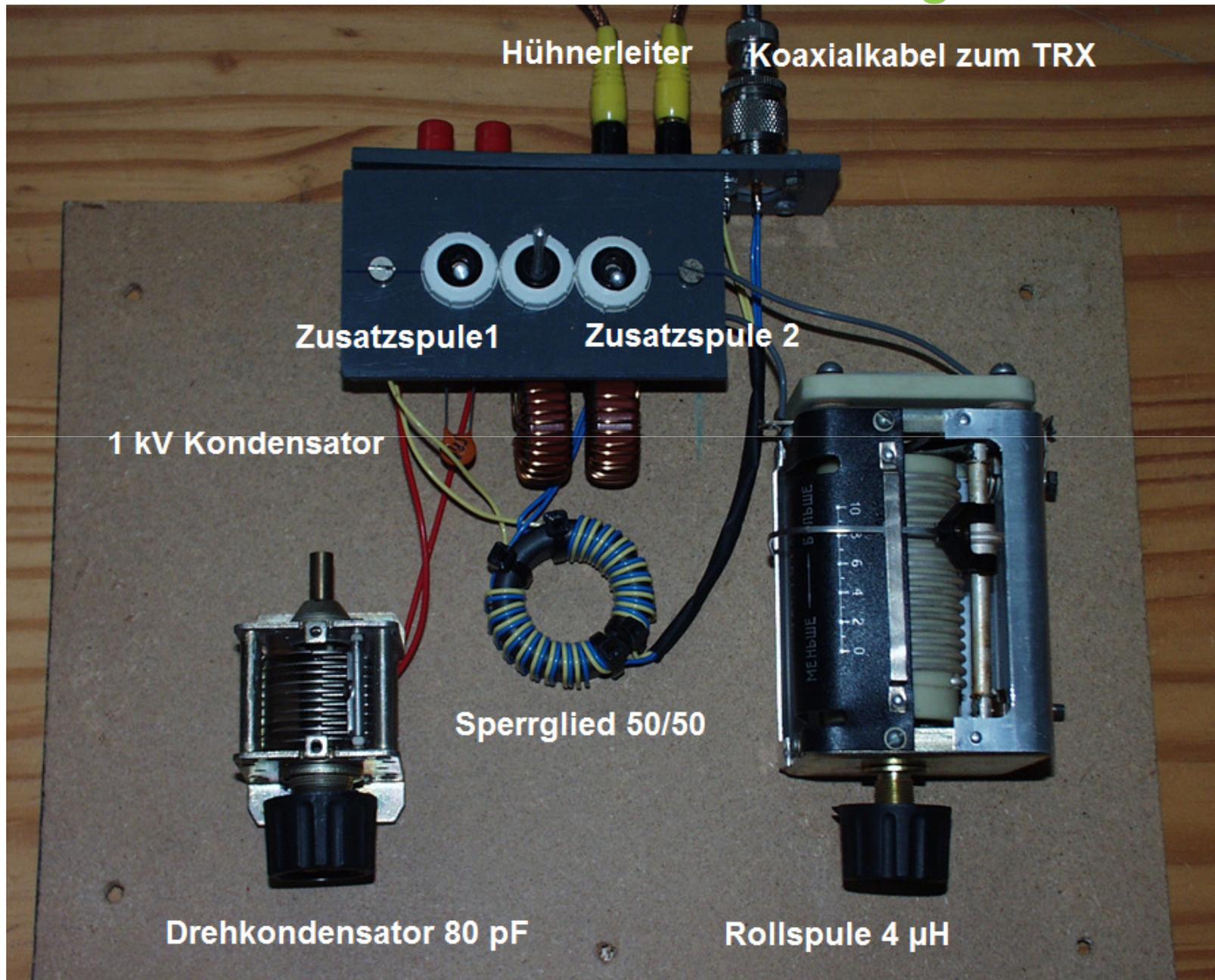


Ein paar Bauelemente reichen

Freq.	R	X	L	C	V	C zum/zur
3,5	7,1	-301	14 μ H	2,2 nF	16	TRX
3,8	7,0	-252	11 μ H	2,1 nF	13	TRX
7,0	101	+343	5,6 μ H	150 pF	5	Antenne
7,2	141	+424	5,8 μ H	129 pF	5	Antenne
10,1	179	-513	4,4 μ H	27 pF	6	Antenne
14,0	200	+163	1,35 μ H	109 pF	3	Antenne
14,4	342	+257	1,72 μ H	80 pF	3	Antenne
18,1	345	-597	2,27 μ H	22 pF	5	Antenne
21,0	36,5	-202	1,78 μ H	-5 pF	5	Antenne
21,4	33,7	-168	1,51 μ H	-8 pF	4	Antenne
24,95	103	+133	0,68 μ H	79 pF	2	Antenne
28,0	246	-346	1,05 μ H	18 pF	4	Antenne
28,9	138	-265	0,95 μ H	13 pF	4	Antenne
29,7	91,4	-200	0,83 μ H	9 pF	3	Antenne

Mit einer Rollspule 4 μ H und einem Drehkondensator 80 pF sowie zuschaltbaren Kondensatoren und Spulen für 80 m und 40 m werden alle Bänder erfasst

Ein Provisorium hält ewig....



Zum Schluss

DG0SA

Wolfgang Wippermann

Lerchenweg 10

18311 Ribnitz-Damgarten

Tel: 03821 721578

wwippermann@t-online.de

<http://dg0sa.de>