Antenna - Matching - Analyzer

Dieses praktische Tool basiert auf einem stark abgerüsteten <u>HamVNAS</u> und beschränkt sich gemäß dem Prinzip "so viel wie nötig" auf die Analyse und Optimierung von Schaltungen zur Antennenanpassung.

Es entstand als Reaktion auf das massive Feedback zu meinem CQDL-Beitrag "<u>SWR gut - alles gut?</u>"¹.

Neben dem obligatorischen *Generatorwiderstand RG* (Innenwiderstand der PA) und der *Lastimpedanz ZA* (Eingangsimpedanz von Antenne bzw. Antennenzuleitung) sind folgende Bauelemente verfügbar und können frei platziert werden:

- Ohm'scher Widerstand (R)
- *Kapazität* (C)
- Induktivität (L)
- *einfach angezapfte Induktivität* (La1)
- zweifach angezapfte Induktivität (La2)
- Zweiwicklungsübertrager (U2)
- Dreiwicklungsübertrager (U3)
- Koaxkabel (CC)
- Bandkabel (RC)
- Voltmeter (VM)

Baluns können durch Koax- bzw. Bandkabelstücke modelliert werden.

Beispiel1: Endgespeiste λ/2-Koaxantenne (J-Antenne)

Lade über File/Open die Datei CQDL_1.ama und klicke unten links den START-Button.

а. 2: 3.	1,8%	-0,1dB	4,619	% -0,25dB 5m		8,33% -	0,47dB	49	,69% -3,67dB 6,02m	35,56%	-4,49dB	
		50Ω 7,1Mc 100W	80,06V			· · · · · · · · · · · ·),94m	65,03V		298,17	2500Ω	
		< <za=50ω< th=""><th>>>Ze=6 -j3,29Ω SWR=1,31</th><th>5,1Ω <<za< th=""><th>=50Ω SWR=</th><th>>>Ze=42,49Ω +j10,72Ω =1,33</th><th>Ω <<za=2,410 +j10,19Ω S</za=2,410 </th><th>2 >>Ze -j10,8 WR=1,32</th><th>=2,51Ω <<za=655 6Ω +j114,83Ω</za=655 </th><th>,41Ω >>Ze=2500Ω SWR=3,82</th><th></th><th></th></za<></th></za=50ω<>	>>Ze=6 -j3,29Ω SWR=1,31	5,1Ω < <za< th=""><th>=50Ω SWR=</th><th>>>Ze=42,49Ω +j10,72Ω =1,33</th><th>Ω <<za=2,410 +j10,19Ω S</za=2,410 </th><th>2 >>Ze -j10,8 WR=1,32</th><th>=2,51Ω <<za=655 6Ω +j114,83Ω</za=655 </th><th>,41Ω >>Ze=2500Ω SWR=3,82</th><th></th><th></th></za<>	=50Ω SWR=	>>Ze=42,49Ω +j10,72Ω =1,33	Ω < <za=2,410 +j10,19Ω S</za=2,410 	2 >>Ze -j10,8 WR=1,32	=2,51Ω < <za=655 6Ω +j114,83Ω</za=655 	,41Ω >>Ze=2500Ω SWR=3,82		
Resul	ts Circuit	1]
	START CLEAR Window on Top								System Impedance	ce(Ohm) 50)	
	F(M	Hz) Vp(dB)	Vu(dB)	RLoss(dB)	Ze(Ohm)		RFe	SWRe	Za(Ohm)	RFa	SWRa	S11
•	7,1	-4,49 (35,56%) 6,48 (110,61°)	17,44	65,1 - j3,29	(Cs = 6809,57pF)	0,13 (0,13 - j0,02)	1,31	655,4 + j114,84 (Ls = 2,5	7μH) 0,59 (-0,58 + j0,06)	3,82	-1,21dE

Was bedeuten die Balken über den fünf Segmenten?

Der ganz rechte (grüne) Balken (35,56%) gibt Auskunft über die so genannte **Transmission** des Antennensystems, d.h., bei einer PA-Leistung von 100W werden von der Antenne nur 35,56W abgestrahlt, der Wirkungsgrad dieses Antennensystems beträgt also 0,3556.

¹ Tnx an Hans, DJ7BA, der als glühender Anhänger des weltweit verbreiteten (in Teilen aber fragwürdigen) *SimSmith* mich zu dieser außerplanmäßigen Aktion angestachelt hat ;-)

Der gelbe Balken (ganz links), zeigt die Verluste durch Fehlanpassung der PA. Gelb ist der Balken deshalb, weil dies ja keine Wärmeverluste sind. Der 50Ohm-Innenwiderstand der PA "sieht" die komplexe Last Ze(Ohm) = 65,1-j3,29, das entspricht einem SWR = 1,31 bzw. Einbußen von 1,8% (siehe mein Prog **03 Anpassungsverluste**).



Die auf dem Weg zur Antenne verlorengegangenen 64,44W setzen sich also wie folgt zusammen:

- 1,8W Verluste durch Fehlanpassung
- 4,61W Wärmeverluste im 5m langen RG58-Speisekabel
- 8,33W Wärmeverluste in der 0,94m langen RG58-Stichleitung
- 49,69W Wärmeverluste in der 6,02m langen RG58-Transformationsleitung

Die geringfügig abweichenden Ergebnisse gegenüber meinem CQDL-Beitrag (Aufmacherbild S.28) lassen sich auf die verbesserte Modellierung der frequenzabhängigen Kabeldämpfung zurückführen:

Die Bezugsfrequenz fb der Kabeldämpfung ist im AMA-Tool nicht mehr starr auf 10MHz festgelegt. Entsprechend den zur Verfügung stehenden Katalogdaten bzw. Messwerten sollte man fb jetzt möglichst nahe der Arbeitsfrequenz wählen.

Die Interpolation der Kabeldämpfung a(dB) für die Arbeitsfrequenz f erfolgt wie immer nach der bekannten Wurzelmethode:

$$a(dB)_f = a(dB)_{fb} \sqrt{\frac{f}{fb}}$$

Die Bedienung des Programms dürfte jedem, der bereits mit <u>*HamVNAS*</u> gearbeitet hat, nur wenig Mühe bereiten.

Um z.B. die Kabelparameter zu editieren, klicke in die Mitte des Kabels (es erscheint dann rot umrandet). Nun kannst Du im **Editier-Tablett** (oben links) mit den Pfeiltasten zwischen den Parametern navigieren.

Du erkennt u.a., dass die Kabeldämpfung des RG58 mit 4dB bei 7MHz eingetragen ist. Entsprechend der Wurzel-Approximation sind das bei 7,1MHz ca. 4,03dB.

Änderst Du die Arbeitsfrequenz (Eingabefeld oben links) und klickst auf START, so wird die Ergebnisliste am unteren Rand des Hauptfensters um eine weitere Zeile ergänzt (ähnlich wie im bekannten Antennen-Simulationsprogramm MMANA-GAL). Die Werte werden auf Wunsch gespeichert und stehen bei einem erneuten Aufruf der *.*ama*-Datei wieder zur Verfügung.

Wie erstellst Du die Schaltung selbst?

Wenn Du die Schaltung nicht von der Datei *CQDL_1.ama* laden willst:

- 1. Öffne mit File/New eine neue Schaltungsdatei
- 2. Klicke das Menü Settings und setze die Häkchen wie folgt:

Settin	ngs 🗕 🗆 🗙
✓ Font large/small	Segmentation
Symbol / Value	✓ Losses
Raster	✓ Ze
	✓ Za
	SWR
Cancel	ок

3. Nachdem Du den **Settings**-Dialog mit **OK** geschlossen hast, klickst Du in der **Bauelemente-Auswahl** (oben rechts) auf den Button "**RG**".

Das Symbol für den Innenwiderstand der PA erscheint in einem kleinen Fensterchen (links daneben) und muss dort gedreht ("**Turn**") und gespiegelt ("**Mirrow**") werden, genau so wie es später an seiner endgültigen Position erscheinen soll.

4. Klicke mit der linken Maustaste in das **erste** Segment des Designers (links neben der ersten blauen Linie) und verschiebe nun (bei gedrückt gehaltener Maustaste) das Bauelement an seine endgültige Position und lasse dort die Maustaste wieder los.

5. Klicke in der **Bauelemente-Auswahl** auf den Button "**CC**", drehe das Koaxkabel in eine waagerechte Position und klicke mit der linken Maustaste in das zweite Segment. Bei gedrückter linker Maustaste setze dort das Bauelement etwa in der Mitte der oberen waagerechten blauen Linie ab.

6. Auf analoge Weise setze die beiden anderen Koaxialkabel im dritten und vierten Segment ab.

7. Klicke in der **Bauelemente-Auswahl** auf den Button "**ZA**" (Antennenimpedanz) und setze dieses Bauelement im fünften Segment (ganz rechts) ab.

8. Stelle nun die Verbindung zwischen RG und dem ersten Koaxkabel her, indem Du zunächst auf den "**Connection**"-Button klickst. Dann klickst Du auf den oberen Anschluss von RG und ziehst (bei gedrückt gehaltener Maustaste) die Verbindungslinie bis zum Anschluss des Koaxkabels. Dort lässt Du die Maustaste wieder los.

9. Stelle die restlichen Verbindungen her. Dazu brauchst Du den "Connection"-Button nicht erneut zu klicken, sondern Du fährst einfach fort, indem Du auf den Startpunkt der nächsten Verbindung klickst, die Verbindung ziehst, die Maus loslässt usw.

10. Setze Bauelemente vom Typ "**VM**" (Voltmeter) an die Stellen, wo Du die Spannungen messen möchtest.

11. Einzelne Bauelemente kannst Du wieder entfernen, indem Du sie zunächst aktivierst (in die Nähe des blauen Punkts in der Mitte klicken).

Das Bauelement erscheint jetzt rot umrandet und wird gelöscht, wenn auf den Button "**Del Dev**" klickst (oder **Entf-**Taste der Rechnertastatur).

Alternativ zum anklicken kannst Du, bei gedrückt gehaltener rechter Maustaste, auch einen Rahmen um den zu löschenden Schaltungsausschnitt aufziehen. 12. Spätestens jetzt solltest Du mit *File/Save as* ... die Schaltung unter einem aussagekräftigen Namen sichern.

13. Das Zuweisen der elektrischen Parameter geschieht, wie bereits am Anfang des Beispiels beschrieben, durch Aktivieren des Bauelements und Zuweisen der Werte im **Editier-Tablett**.

Beispiel1a: λ/2-Antenne mit LC-Anpassglied

Die Datei *CQDL_1a.ama* enthält die deutlich verlustärmere Alternative zur leider immer noch sehr beliebten Koaxantenne (siehe Bild 2 in CQDL, S.29).

Die Transmission erreicht hier sehr gute 92,22% (-0,35dB).

Das SWV an jeder Stelle des Antennensystems ist gleich und nahe Eins:

0,03% 0,0dB	4,53% -0,21dB 3,23% -(0,15dB ^{····}) ^{··} 0,0% ^{··} 0,0dB ^{····}) ^{··}	92,22% -0,35dB
	5m 7,84	ърн	
7,1Mc		62,77pF 480,15V	2500Ω
< <za=50ω< td=""><td>->>Ze=49,08Ω <<za=50ω -="">>Ze=51,72Ω -j1,32Ω +j0,15Ω</za=50ω></td><td>2 <<za=2418,21ω>>Ze=2500Ω <<za=2418,21ω> -j20,46Ω -j20,46Ω -j20,46Ω -j20,46Ω</za=2418,21ω></za=2418,21ω></td><td>>Ze=2500Ω</td></za=50ω<>	->>Ze=49,08Ω < <za=50ω -="">>Ze=51,72Ω -j1,32Ω +j0,15Ω</za=50ω>	2 < <za=2418,21ω>>Ze=2500Ω <<za=2418,21ω> -j20,46Ω -j20,46Ω -j20,46Ω -j20,46Ω</za=2418,21ω></za=2418,21ω>	>Ze=2500Ω

Beispiel 2 : Kamikaze eines Automatikkopplers

Das Antennensystem der Datei *CQDL_2.ama* demonstriert die Selbstzerstörung eines SG-230 (siehe Bild 3 in CQDL, S.29):

0,61% -0,03dB	0,0% 0,0dB	81,82% -7,520 48,25µ	dB 0,0% 0,0dB	17,58% -7,55dB
50Ω 3,65Mc 100W	68,27V	2415pF	40pF 4189,	03V 1000000Ω
SI	WR=1,17	SWR=1,17	SWR=9,52	SWR=9,52

Das nicht angeschlossene Antennenkabel habe ich hier durch einen sehr hochohmigen Lastwiderstand (1MOhm) nachgebildet.

Beispiel 3: Kurze Doppelzepp 2x9m

Die Datei *CQDL_3.ama* entspricht dem dritten Antennensystem meines CQDL-Beitrags (Bild 4, S.29). Dass die Werte geringfügig abweichen liegt an den jetzt verwendeten genaueren Kabeldaten des CQ553: Zw = 392Ohm, VF = 0,89, a = 0,63dB/100m bei 3,5 MHz sowie dem neuen Antennenkoppler (BX-1200).

0,0% 0,0dB	2,28% -0,11dB 82,09% -7,95dB 0,0% 0,0dB 15,63% -8,06dB
	0.58µH
500 3,51Mc 100W	2661pF 15pF 15m 0,58μH 15m 1639;05∨
<td>>>Ze=50,49Ω <<za=5,35ω .="">>Ze=5,08Ω <<za=104,79ω .="">>Ze=8,9Ω <<za=104,79ω .="">>Ze=8,9Ω +j0,01Ω +j10,35Ω -j10,3Ω +j1229,27Ω -j1236,8Ω +j1229,27Ω -j1236,8Ω /R=1.01</za=104,79ω></za=104,79ω></za=5,35ω></td>	>>Ze=50,49Ω < <za=5,35ω .="">>Ze=5,08Ω <<za=104,79ω .="">>Ze=8,9Ω <<za=104,79ω .="">>Ze=8,9Ω +j0,01Ω +j10,35Ω -j10,3Ω +j1229,27Ω -j1236,8Ω +j1229,27Ω -j1236,8Ω /R=1.01</za=104,79ω></za=104,79ω></za=5,35ω>

Die Tunereinstellungen und die Fußpunktimpedanz des idealisierten Dipols habe ich mit dem Doppelzepp-Rechner ermittelt:

	CQDL_3.dzr				Tuner			1:1 Balun		Feeder		
nerkung	2x9m Doppel CQDL 4/201	zepp 9 S.29			BX-1200 ~ <=> Of			Ohne Balun	Ihne Balun V CQ553			
			Tuner-Einst	ellungen	Eingang des	gsimpedanz Feeders	Fußpunktir D	mpedanz des lipols	Transmis	sion	Verlust	
F(MHz) SWV	C1(pF)	L(µH)	C2(pF)	Re(Ω)	Xe(Ω)	Ra(Ω)	Xa(Ω)	Wirkungsgrad	%	dB	
1,8	1.0	4335,0	34,6	15.0	6,28	-399,12	1.49	-2748,41		0,75	21,27	
3,51	1.01	2661,0	1,16	15,0	5.08	-10,3	8,9	-1236,8		15,63	8,06	
7,1	1.02	15,0	8,4	31,5	205,63	-756,0	46,85	-200,44		85,7	0,67	
	eite(m)	Länge(m)	Scha	Itblid Freier	Tuner (BX-12	r-Eingangsimp 200)	edanz Dipol-F	Fußpunktimpedar Fe Zw	eder (CQ553) / = 392Ω = 0.891	Dipol (2	<9m)	
Schrittwo 0,5	< >	×				C2		0,7	'4dB/100m(10Mc	:)		
Schrittwe 0,5 IC E	15 <) hen] [] (C1				0,7	'4dB/100m(10Mc	:)		

Beispiel 3a: Kurze Doppelzepp mit sender- und antennenseitiger Anpassung

Für das 80m-Band ein 2x9m-Dipol leider viel zu kurz - aber muss man sich damit abfinden? Nein, zumindest theoretisch denkbar wäre auch eine Konfiguration, bei der Du nicht nur den Eingang, sondern auch der Ausgang des Feeders wellenwiderstandsrichtig (392Ohm) abschließt. Dann würde sich auch das antennenseitige SWR nahe 1 bewegen, das Kabel würde "zur Ruhe" kommen und seine Verluste wären auf die Grunddämpfung (ca. 0,1dB) reduziert².

Vorgehensweise:

Entwerfe zunächst die **senderseitige** Anpassung, diese muss 500hm auf 3920hm hochtransformieren.

Mit <u>HamTuning</u> berechnest Du das erforderliche LC-Glied (alle Schaltelemente als verlustfrei angenommen):

² Wenn Dich das ein wenig an den verlustarmen Energietransport über Hochspannungsleitungen erinnert, wo ebenfalls ein- und ausgangsseitig transformiert werden muss, liegst Du nicht falsch.



Die **antennenseitige** Anpassung muss 392Ohm auf die Fußpunktimpedanz des Dipols ZA(Ohm) = 9,54 - j1298 heruntertransformieren:

Anpassung k	omplexer Lastwiderstände 🛛 🗕 🗖
Name LC-Halbglieder F(MHz) 3,51 RG(Ohm) 392 RA jXA	61,59µH -j1298Ohm (34,9рF)
ZA(Ohm) 9,54 -1298 4 3 von 5 b 1	732,4pF
START > Cancel INFO	392Ohm 9,54Ohm F = 3,51MHz QB = 0,1 (B ca. 49,05MHz)

Das Ergebnis der Simulation (*CQDL_3a.ama*):



Der Wirkungsgrad verbessert sich um ca. 6dB, das entspricht einer ganzen S-Stufe! Entscheidend dafür ist aber die Spulengüte des antennenseitigen Anpassglieds, die auf 3,5MHz einen Wert von 250 nicht unterschreiten sollte. Infrage käme z.B. ein <u>Ferritringkern</u> FT240-61.

Insbesondere antennenseitig musst Du die hohen Spannungen beachten:

Bei 100W PA-Output liegen über jeder Spule ca. 1,7kV, direkt am Fußpunkt des Dipols ca. 3,2kV. Hingegen wird der (abstimmbare) 800pF-Kondensator spannungsmäßig kaum belastet.

Beispiel 3b: Eine weitere hypothetische Variante für verlustarme Anpassung

Als kreativer OM kannst Du mit dem AMA-Tool weitere theoretische Varianten durchspielen und Dir damit so manche Fehlinvestition ersparen.

Deiner Phantasie sind keine Grenzen gesetzt und so kannst Du z.B. eine Antennenanpassung mit einer 2fach angezapfte Induktivität entwerfen, die gleichzeitig der Symmetrierung dient.

Die Größe der Induktivität berechnest Du überschlägig zu 59µH (siehe <u>01 Schwingkreis</u>), da sie mit der Serienkapazität der Antennenimpedanz (35pF) einen Parallelschwingkreis bilden soll. Die Lage der beiden Anzapfungen (ca. 47% bzw. 53%) ermittelst Du am einfachsten per Trial and Error, änderst also so lange die Parameter w1/w und w2/w, bis der Ausgang des Speisekabels eine Impedanz nahe des Wellenwiderstands des Kabels "sieht" (*CQDL_3b.ama*).

Aber bitte nicht zu früh freuen:

Wie beim vorhergehenden Beispiel könnte die konkrete technische Umsetzung vor allem am kritischen schmalbandigen Abgleich der antennenseitigen Anpassung scheitern.

	2,9%	-0,14dB		- IT ?	1,63% -0,08dB			2,17% -0,1dl	3		18,41%	-0,94dB]	74,89%	-1,26dB	<u>,</u>
					2;85µł	 						<u>-</u>				
2	· · [· · (500 3,51Mc 100W		76,78∀	808pF	418pF		15r 64,8∀	, 	216,52V			59µН [3636,9V	9,54Ω - j1298Ω	
			Za=50Ω	,>> -j`	-Ze=55,22Ω 17,39Ω	< <za=385,74ω .<br="">j5,04Ω</za=385,74ω>	.>>2 +j1	Ze=283,4Ω 7,79Ω	< <za=393, +j7,77Ω</za=393, 	66Ω>: -j	-Ze=4.70,97Ω 121,7Ω	Ω < <za= +j1300</za= 	7,57Ω 69Ω	-j1298Ω		
12	5.2			SWR=1,4	1	sw	R=1.,36		5 8 - 5	-SWR=1,3	7	2.5.2	SWR=	:1.,9	8 6 8	e e

Für den Portabelbetrieb kämen evtl. steckbare Anpassglieder infrage.

Generell gilt:

Alle Simulationen können lediglich die prinzipielle Machbarkeit nach den Gesetzen der Physik beweisen und sind noch lange kein Beweis für die sinnvolle praktische Realisierbarkeit!!!

Bedienregeln des Designers

- Jede Schaltung hat genau einen Generatorwiderstand RG und eine Lastimpedanz ZA.
- In der Betriebsart "Segmentierung" sind einige Besonderheiten zu beachten, da ansonsten keine exakten Verlustanalysen und SWR-Berechnungen erfolgen können:

- RG ist immer im ersten und ZA immer im letzten Segment zu platzieren

- die Verbindungsdrähte zwischen den Segmenten müssen die senkrechten blauen Linien auf gleicher Höhe wie RG bzw. ZA schneiden

- Bauelemente dürfen nicht auf den blauen Linien liegen

- die einzelnen Segmente müssen immer mit zwei waagrechten Drähten verbunden werden

- Nach Klick auf den Auswahl-Button ("RG", "ZA", "R", "C", ...) drehst und spiegelst Du jedes Bauelement zunächst in die gewünschte Lage, klickst dann auf den Designer und verschiebst das Bauelement bei gedrückt gehaltener linker Maustaste an seine endgültige Position.
- Haben Sie alle Bauelemente platziert, stellen Sie nach Klick auf den "Connection"-Button die Verbindungen zwischen ihnen her.

- Ein nachträgliches Drehen oder Spiegeln eines Bauelements innerhalb der Schaltung ist nicht möglich. Also lösche es und erzeuge es neu in der gewünschten Lage. Das Verschieben von Bauelementen und Verbindungen ist hingegen möglich (s.u.).
- Bauelemente und Verbindungen löschst Du durch anklicken (werden rot markiert) und anschließendes Betätigen der *Entf*-Taste.
- Verbindungen können auch nacheinander eingegeben werden, der "Connection"-Button ist also nur einmal zu klicken!
- Um ein Bauelement, einen Verbindungspunkt oder einen Schaltungsausschnitt zu verschieben, musst Du bei gedrückt gehaltener **rechter** Maustaste einen Rahmen, beginnend mit der **linken** oberen Ecke, aufziehen. Dann mit der **linken** Maustaste in den Rahmen klicken um diesen zu verschieben.
- Eine komplette Übersicht der Schaltung liefern die drei "Circuit"-Datengitter. Auch hier kannst Du Bauelemente (Devices), Parameter und Verbindungen (Wires) überprüfen und editieren.
- Zeilen in den "Circuit"-Datengittern lassen sich nach Markieren der Zeile (Klick auf die linke Spalte) und Betätigen der *Entf*-Taste löschen.
- Die Eingabe elektrischer Parameter bestätigst Du durch Klick auf den "Confirm"-Button oder mittels ENTER-Taste.
- Ein linker Mausklick auf den Designer liest die Schaltung erneut aus dem Speicher.

Am besten Du siehst Dir die beigefügten Beispieldateien an, bzw. modifizierst diese, um Dich mit der Bedienung des Tools vertraut zu machen.