RF IMPEDANCE AND THE SMITH CHART

JEREMY HALEY, WG9T

LONGMONT AMATEUR RADIO CLUB

Longmont Amateur Radio Club

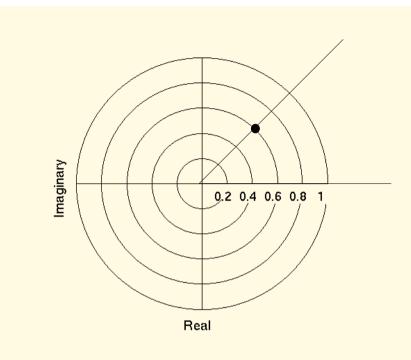
RESISTANCE, REACTANCE, AND IMPEDANCE

RESISTANCE Energy conversion to heat.

Capacitance: Energy storage in electric field. Inductance: Energy storage in magnetic field.

IMPEDANCERESISTANCE + REACTANCE

POLAR PLOT OF REFLECTION COEFFICIENT



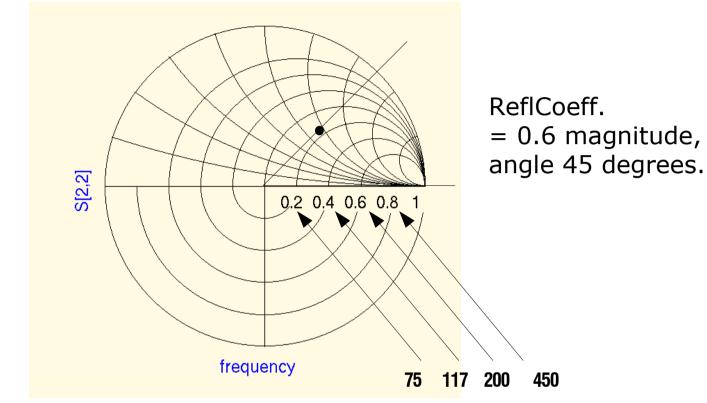
ReflCoeff. = 0.6 magnitude, angle 45 degrees.

Voltage Waves: forward and reflected relative to a fixed reference point (e.g. SWR meter in the shack).

Reflection Coefficient = (refl. voltage) / (fwd. voltage) [n.a.]

Voltages have amplitude [V] and phase angle [degrees].

OVERLAY IMPEDANCE COORDINATES

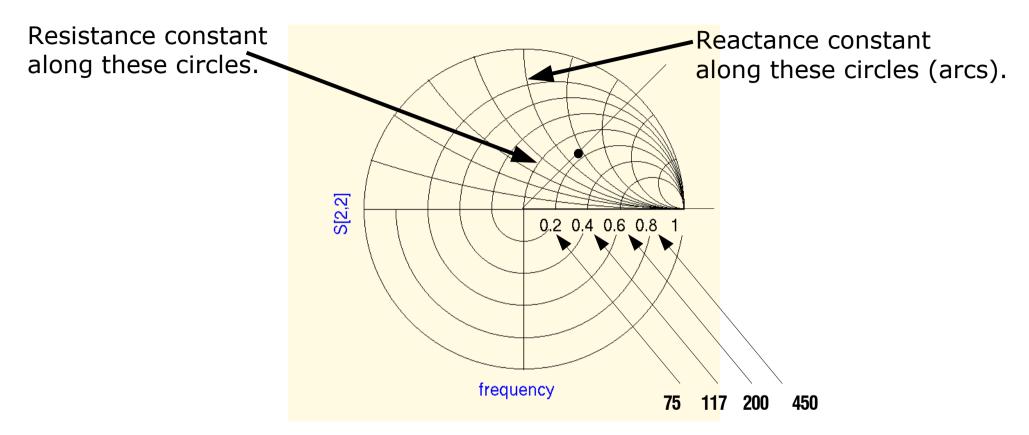


Equation relates impedance to reflection coefficient.

Z = Zref*((1 + ReflCoeff.)/(1-ReflCoeff.)) [Ohm]

Reference impedance, Zref is typically 50 ohms.

RESISTANCE & REACTANCE CIRCLES



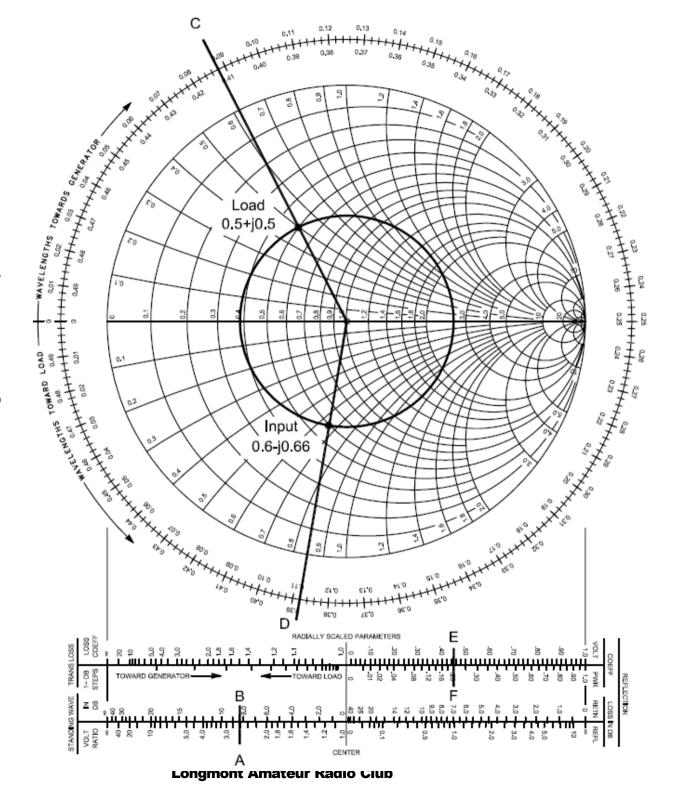
Upper half of impedance map: inductive reactance and resistance.

Lower half of impedance map: capacitive reactance and resistance.



NOTICE THAT IMPEDANCE IS NORMALIZED. 50 >>> 1

FROM EXAMPLE IN ARRL ANTENNA BOOK



<u>COMPUTER TOOL ALTERNATIVE TO COMPASS</u> <u>AND STRAIGHTEDGE</u>

Free open-source cross-platform software: Quite Universal Circuit Simulator "QUCS"

- http://qucs.sourceforge.net/
- DC circuit analysis
- AC circuit analysis
- RF circuit analysis (S-parameter simulation)

EXAMPLE CIRCUIT "A"

Example from ARRL Antenna Book, Chapter 28.

Antenna impedance is given as 25 + j 25 Ohm at some frequency.

The reactive portion +j25 Ohm indicates an inductive reactance.

Assume the frequency is 144.200 MHz.

What is the impedance at the radio end of a 0.3 wavelength long low-loss cable?

Assume the cable has a characteristic impedance (resistance) of 50 Ohms.

Simulate the circuit using the computer tool, and plot the result on the Smith Chart.

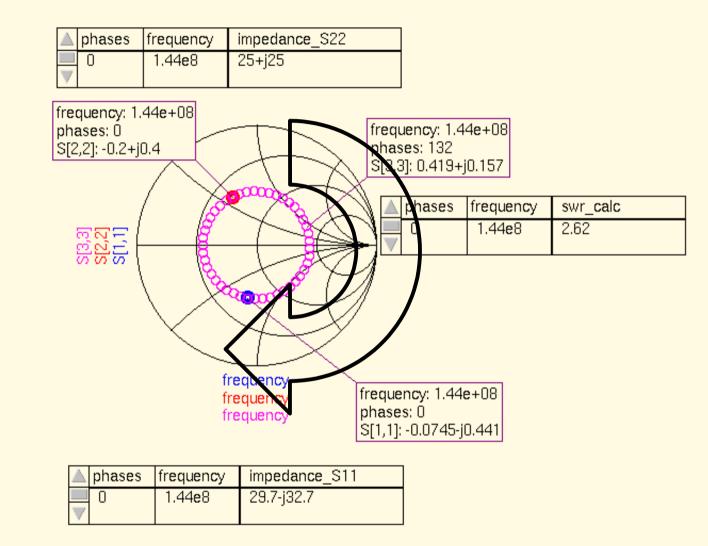
PC SIMULATION: CALCULATIONS AND DEFINITIONS

Equation Eqn1 carrier_frequency_M wavelength_air_mete speed_of_light=3E8. inductance_given_re line_physical_length reactanceL_ohm=25 swr_calc=rtoswr(S[3, impedance_S11=rtoz impedance_S22=rtoz	ers=speed actance _meters= 3]). (S[1,1])	d:_of:lig =reacta	.nceL_0	 ohm/(2	: *pi*ca	arrier		 z*1,E6) 	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		P1 · Num= Z=50
~ ~ ~ ~							<u></u>					
· · · · · ⊕ · · ·				• •			· · 🕀 · ·					· 🖌 Numi=
				• •	• •	•						• 😋 Z=50
				· ·	• •							r 🛨 r - r
S parameter simulation	• •	· ·	• •	· ·			Parameter sweep		· · ·			· · · ·
						-						
SP1 · · · · ·				• •	• •	•	: SW1 :					
Type=const Values=[144.2 MHz]	• •	• •	• •				· Sim=SP1· · . Type=lin	• •				
. values=[144.2 lyint]		· ·	· ·	· ·		•	Param=phase	 95				Н РЗ
	• •	• •	• •	· ·			Start=0	· · ·		• •		· 🖳 Numi=
		· ·	• •	· ·		•	· Stop≐180 ·					• 🚫 Z=50
		· ·	· ·	· ·		•	· Points=46 ·					. <u> </u>
		· ·	· ·	· ·								e \Xi e e
		· ·										

PC SIMULATION: SCHEMATIC

P1 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Line1 B1 Z=50 Ohm R=25 Ohm L=line_physical_length_meters	L1 L=inductance_given_reactance
	L=line_physical_length_meters	
🗄		
· · · · · P2 · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	L2
🛨		
P3 Num=3 Z=50 Ohm		L3
· · · 🗄 · · · · · · · · · · ·		
🐨		
· · · · · · · · · · · · ·		

RESULTS: SMITH CHART PLOT



Rotation along 50 ohm line "Toward Generator (Radio)" 0.3 wavelengths.

EXAMPLE CIRCUIT "B"

Example from ARRL Antenna Book, Chapter 28.

Impedance measured at the radio end of a 2.35 wavelength long lowloss coaxial cable is 70 - j 25 Ohm at some frequency.

The reactive portion -j25 Ohm indicates a capacitive reactance.

Assume the frequency is 144.200 MHz.

What is the impedance at the antenna feedpoint?

Assume the cable has a characteristic impedance (resistance) of 50 Ohms.

Simulate the circuit using the computer tool, and plot the result on the Smith Chart.

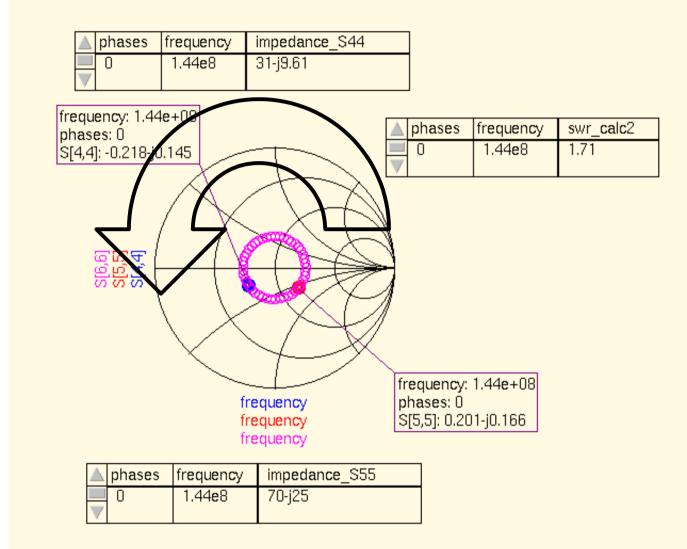
PC SIMULATION: CALCULATIONS AND DEFINITIONS

•																									
·	•	•	•		•		•	•		•		•	•	•	•	•		•	•	·	•	·		•	• •
				Equ	atio	n.																			
						_																			
·		•	•	Eqn	2 ·		·	•		·			•	•		·		·	•	·	·	·		·	
				capa	acital	nce_	_give	en_r	eac	tano	ce=	1/(2	*pi*(carri	er_fi	regu	enc	y_N	1Hz*	1E6)*rea	actai	nçeC	C_oh	m) _
				line2	:_ph;	ysica	al_le	ngth	n_m	etei	rs≕	-2.3	5*wa	avel	engt	h_ai	r_m	ietei	rs						
·				reac	tanc	жC	ohn	n≓25	5.					•		•		•		•	•			•	
				swr_	calc	:2=rt	OŞW	r(S[I	6,6]) _			\.												
				impe							1)														
·				impe									•	<u>\</u> .						•				•	· ·
						_					.,				< .										
															\										
·															. \	< ·								•	
						•	•	•	•	•				•	•	• \	\	•	•		·	•	•		
·																	. \							•	
																		$\overline{\}$							
						•	•	•	•	•		•		•	•	•		• /	``	•	·	•	•		
·														•					·					•	
																			Ň	\backslash					
					•	•	•	•	•	•		•	•	•		•	•	•	•	./	•	•	•		
							-11	cin		th	<u>م</u> . ر	<u>~</u> ~r	nn	ı ı ta	or o	cim	nril	ati	an	· r	חסר	ıat	iva		ble
							U		-											-	_				
		·			·	·	·	Ie	enc	זנ	١Ś	ar	e p)OS	sib	le.		he	e 'n	eq	ati	ve	SV	alue	َ زَدِ
									_	-										_					
								dl	OV	vS	I C	λd				_					CIL	CIE		th	e
		·				·	·			·			Ó	n'n	osi	tė	dir	e C	tio	n	·	·	·	·	
													Ÿ	PP		·	<u> </u>	<u> </u>	u.						
	•	•			•			•	·	·	•	•	•		•	•	·	•		•	•	•	•		• •

PC SIMULATION: SCHEMATIC

[] P4		R4 · · · · · · ·	- C1 🗄 - C - C - C - C - C - C - T - T - C - T - T
Num=4		R=70 Ohm · · · · ·	Ciana ciump repotamos
''''''' 🔁 Z=50 Ohm''''''''''''''''''''''''''''''''''''	Line2 Z=50 Ohm L=line2_physical_length_meters		C=capacitance_given_reactance
· · · <u>·</u> · · · · · · · · · ·	·L=line2_physical_length_meters		
🛨			
		-AAA	
· · · 💾 P5 · · · · · · · ·		and the second second	
Num=5		R5	C2 C=capacitance_given_reactance
		R=/U Uhm	C=capacitance_given_reactance
-			
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			
	_		
	Ø	R6 R6 R=70 Ohm	
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		PC	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
🔀 Num=6	· X2 · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	R-70 Obm	
🕎 Z=50 Qhm	, phi=phases , , , , , , ,		C3 Transformed Tra
上			
T			

RESULTS: SMITH CHART PLOT



Rotation along 50 ohm line "Toward Load" 2.35 (4 times + 0.35)

EXAMPLE CIRCUIT "C"

An exact half-wavelength thin-wire dipole has been constructed from basic physics equations (instead of the more appropriate 468/f(MHz) design equation).

Impedance data versus frequency for this antenna is plotted in a textbook for antenna engineers by Stutzman & Thiele.

Antenna is designed for 7.110 MHz.

For the following frequencies what is the impedance at the antenna feedpoint? 7.110 MHz, 14.110 MHz , and 18.110 MHz?

Simulate the circuit using the computer tool, and plot the result on the Smith Chart.

Try to design a simple inductance-capacitance matching circuit to improve the SWR, and plot the performance.

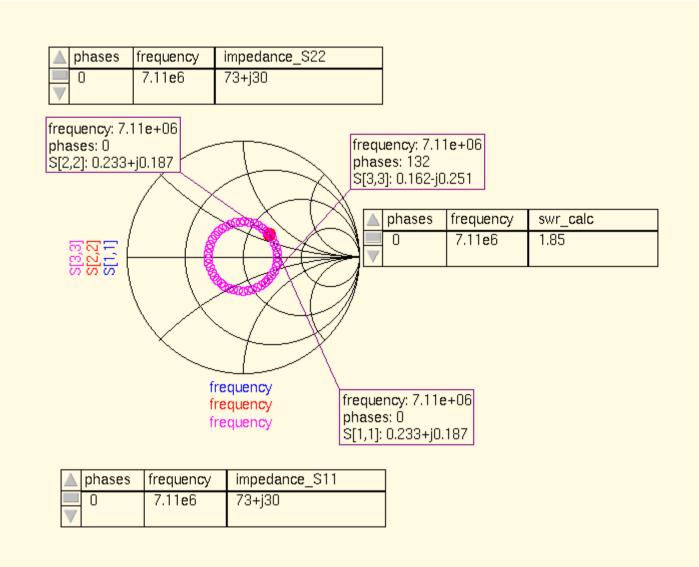
PC SIMULATION: SCHEMATIC 7.11 MHz, 73 + j 30 Ohms

Equation	
Eqn1	
carrier1_frequency_MHz=7.110	
wavelength_air_meters=speed_of_light/(carrier1_f	requency. MHz*1E6).
speed of light=3E8	
inductance1_given_reactance=reactance1L_ohm/	(2*pi*carrier1 frequency MHz*1E6)
line_physical_length_meters=0.0*wavelength_air_i	
reactance1L_ohm=30	
swr_calc=rtoswr(S[3,3])	
impedance_S11=rtoz(S[1,1])	
impedance_S22=rtoz(S[2,2])	
mpedance_022=n02(0[2,2])	
S parameter	Parameter
	sweep and set and set and set
SP1	SW1
Type=const	Sim=SP1
Values=[7.11MHz]	Type=lin
	Param=phases
	Start=0
	Stop=180
	Points=46

PC SIMULATION: SCHEMATIC 7.11 MHz, 73 + j 30 Ohms

· · · · · · · · · · ·	<u> </u>	<u></u>
	Line1.	Ľ1 · · · · · · · · · · · · ÷
	.Z=50.Ohm	L=inductance1_given_reactance
Z=50 Ohm	L=line_physical_length_meters	
. 🗖		
		<u>-</u>
· [] P2	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	L2 · · · · · · · · · · ·
. 🔂 Num=2	······································	L=inductance1_given_reactance
. 🛨 Z=50 Ohm		
. 🛨		
□ <mark> </mark> † P3	Ø	- <u></u>
Num=3	·	L3 · · · · · · · · · ·
	phi=phases R=73 Ohm	L=inductance1_given_reactance
. 🛨 Z=50 Ohm		
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		

RESULTS: SMITH CHART PLOT 7.11 MHz, 73 + j 30 Ohms



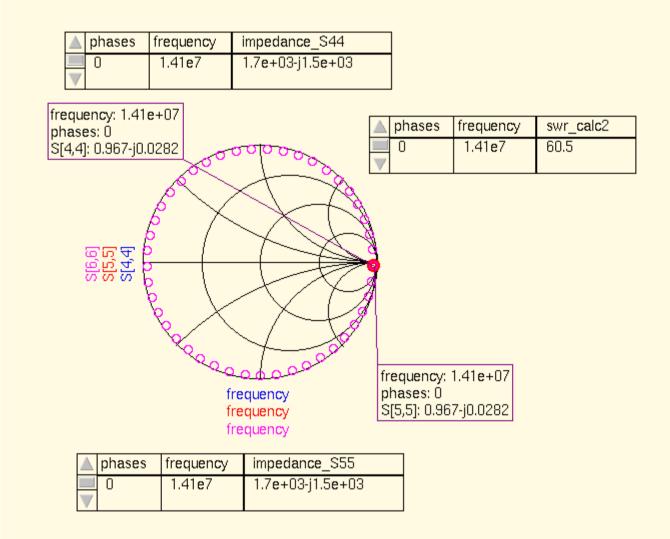
PC SIMULATION: SCHEMATIC 14.110 MHz, 1700 - j 1500 Ohm

	•	• •	•	•	•				· · ·	•	•	•	•	•	•	·
S parameter simulation		 					ram eep	ete	r -							
					•	SW1	 I								•	
SP1	•		•	•	·			•	• •					•	•	·
Type=const				•	•	Sim=			• •						•	•
Values=[14.11 MHz]						Туре	∋=lin		· ·							
				•		Para	m=pł	nase	s '							
						Start	=0									
							=180									
							ts=46									
						Poin	ts=4t	.								
Equation																
Eqn2																
capacitance_given_reactance	. <u>≓1</u> //	(2*n	i*ca	rrie	r 2	fredu	onci	MЦ	÷*1⊑	- 6*r		ofar	nċo	C	٥h	ر س
		(<u> </u>				_nequ	ency	I	~ .		eau	·	·			,
carrier2_frequency_MHz=14.																
line2_physical_length_meters	;=0*	wav	elei	ngth	n_a	ir_me	ters									
reactanceC_ohm=1500																
swr_calc2=rtoswr(S[6,6])	·		·	·	·			·			·					·
	·	• •		·	·			·	• •		·					
impedance_S44=rtoz(S[4,4])	·			•	•	• •	• •	·	• •						•	•
impedance_S55=rtoz(S[5,5])																

PC SIMULATION: SCHEMATIC 14.110 MHz, 1700 - j 1500 Ohm

P4	Line2 Z=50 Ohm L=line2_physical_length_	√√ - R4 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	C1 C=capacitance_given_reactance
		 	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
P5 Num=5 Z=50 Ohm	R5	C=capacitance_given_reactance
		· · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
$ \begin{array}{c} P6 \\ Num=6 \\ Z=50 \\ Ohm \\ L \end{array} $	X2 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	R6	C3. C=capacitance_given_reactance
	· · · · · · · · · ·	· ·

RESULTS: SMITH CHART PLOT 14.110 MHz



Matching this impedance to 50 ohms would be a challenge. SWR 60:1

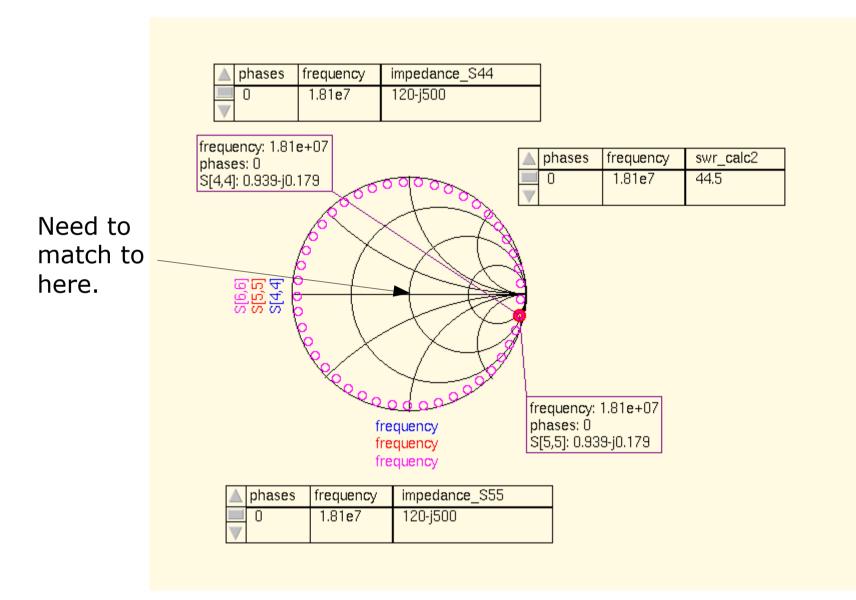
PC SIMULATION: SCHEMATIC 18.110 MHz, 120 - j 500 Ohms

Equation
[•] Eqn2
capacitance_given_reactance=1/(2*pi*carrier2_frequency_MHz*1E6*reactanceC_ohm)
carrier2_frequency_MHz=18.110
line2_physical_length_meters=0*wavelength_air_meters
reactanceC_ohm=500
swr_calc2=rtoswr(S[6,6])
impedance_S44=rtoz(S[4,4])
impedance_S55=rtoz(S[5,5])

PC SIMULATION: SCHEMATIC 18.110 MHz, 120 – j 500 Ohms

P4			Capacitance_given_reactance
· 🔽 · · · · · · · · · · · ·	L=line2_physical_length_meters	· · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · ·
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
P5 Num=5 Z=50 Ohm		20 Ohm	capacitance_given_reactance
· ₹ · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · ·
· · · · · · · · · · · · · ·		· · · · · · · · ·	
P6	×2····R6. phi=phases·····R=1:		capacitance_given_reactance

RESULTS: SMITH CHART PLOT 18.110 MHz



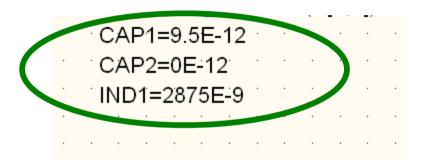
Matching this impedance to 50 ohms is not as severe as 14.11MHz. Here SWR 44:1. Try to design an L-C network.

PC SIMULATION: MATCHING NETWORK 18.110 MHz

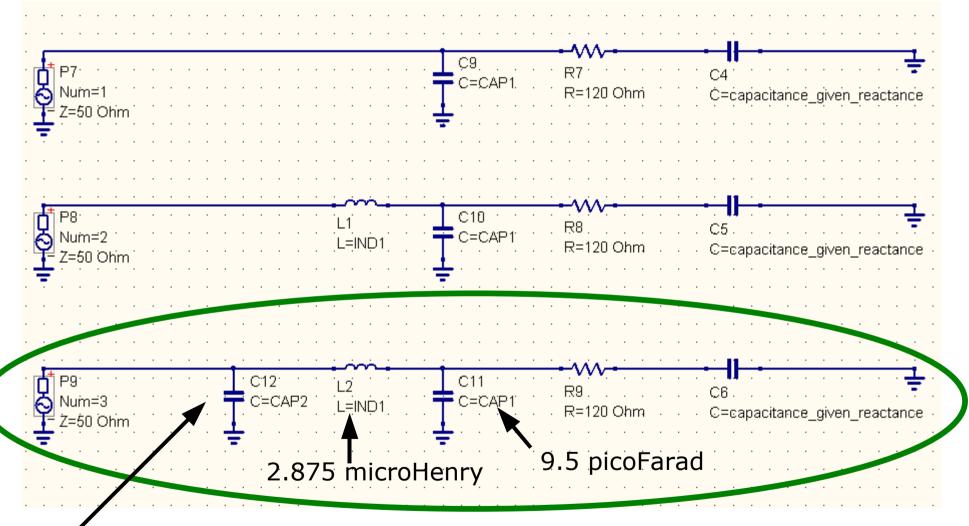
S parameter		Paramet	er				· ·	•	•		
simulation		sweep		•	•						
SP1		SW1									
Type=const		Sim=SP1									•
Values=[18.11 MHz]		Type=lin									•
		Param=phas	ses								•
		Start=0		•	•	•		•	•		•
		Stop=180									
		Points=46									
uation											
qn2											
apacitance_gi∨en_reactance	=1/(2*pi	*carrier2 freq	uency	MHz	z*1E	E6*I	read	tan	céC	o	hi
		· · · · · ·								·	
arrier2_frequency_MHz=18.											
arrier2_frequency_MHz=18. he2_physical_length_meters:		length air me	ters						•		•
e2_physical_length_meters		length_air_me	ters		•		· ·	•			
e2_physical_length_meters actanceC_ohm=500		length_air_me	ters	•			· ·				•
ne2_physical_length_meters actanceC_ohm=500 wr_calc2=rtoswr(S[6,6])		length_air_me	ters	•			· ·				•
ne2_physical_length_meters actanceC_ohm=500 wr_calc2=rtoswr(S[6,6]) npedance_S44=rtoz(S[4,4])		length_air_me	ters	•		•	· · ·	•	•	•	•
arrier2_frequency_MHz=18. ne2_physical_length_meters actanceC_ohm=500 wr_calc2=rtoswr(S[6,6]) npedance_S44=rtoz(S[4,4]) npedance_S55=rtoz(S[5,5])		length_air_me	ters	· · ·		· · ·	· · ·	•	· · ·	· · ·	· · · · · ·

PC SIMULATION: MATCHING NETWORK 18.110 MHz

Trial and error values of inductance and capacitance that produce a match for 18.110 MHz. Circuit shown on following page.

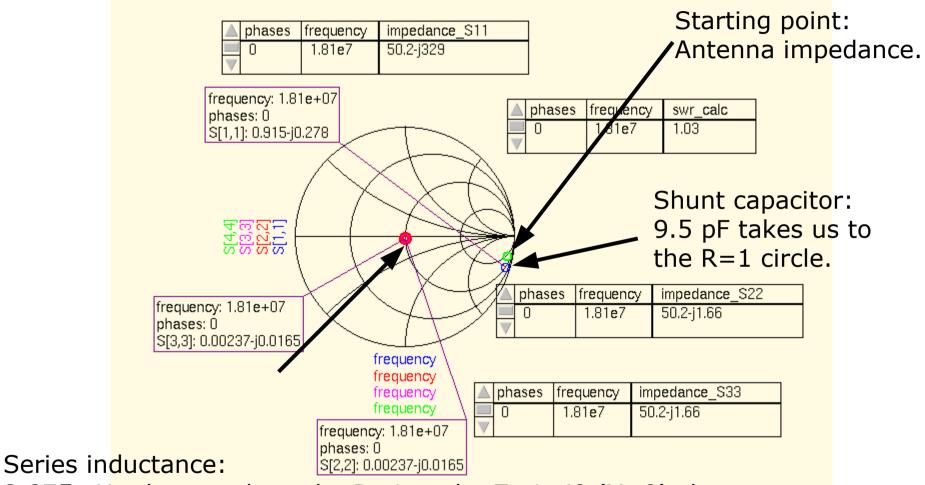


PC SIMULATION: MATCHING NETWORK 18.110 MHz



Zero picoFarad (in a real tuner, the radio-side variable capacitor is set to its minimum value)

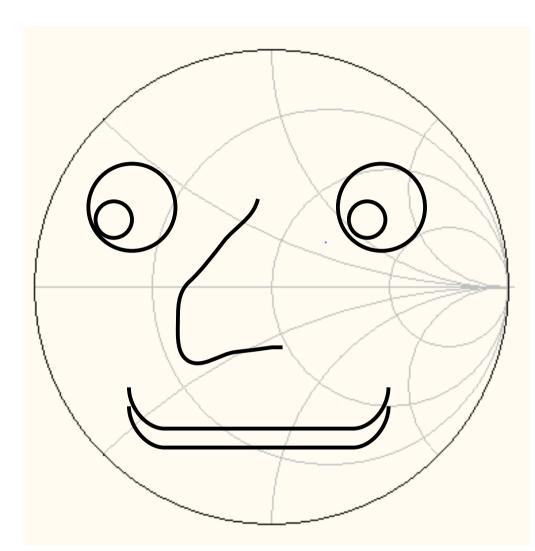
RESULTS: SMITH CHART PLOT 18.110 MHz MATCHED



2.875 μ H takes us along the R=1 to the Z=1+j0 (X=0) chart center.

Z is normalized to the reference impedance 50 ohms.

Un-normalized impedance is 50 ohms.



THANKS!