

## Massimo trasferimento di potenza Simulazione con PSpice Prof. Ettore Panella

Si vuole studiare il comportamento di una linea di trasmissione al variare del carico e verificare che se la resistenza di carico  $R_L$  è uguale all*ø*impedenza caratteristica  $Z_0$  della linea si ha il massimo trasferimento di potenza tra generatore e carico.

Si osservi che il generatore di entrata presenta  $R_{in} = Z_0$  ad indicare løadattamento dømpedenza tra generatore e linea.

Si disegna il seguente circuito in ambiente PSpice.



Si analizzano i dispositivi e componenti per la simulazione.

	Takaa		8
00	= 0		Save Attr
DC=0 AC=0		^	Change Display
VOFF=0 VAMPL=12 FREQ=100M TD=0	eg		Delete
DF=0 Include N <u>o</u> n	-changeable Attributes	×	<u>0</u> K

Il segnale døingresso è sinusoidale di ampiezza 12 V e frequenza 100 MHz.

Supponendo che la velocità di propagazione sia quella della luce  $c = 3^{"}10^8$  m/s si deduce che la lunghezza d $\phi$ onda dell $\phi$ onda elettromagnetica che si propaga nella linea vale:

$$\lambda = c/F = 3 \ m$$

La teoria generale delle linee è applicabile solo se la lunghezza fisica della linea è confrontabile con la lunghezza døonda o molto maggiore di essa. Si impostano i parametri della linea per la simulazione.

T1 PartName: T	
NL ¥alue	<u>S</u> ave Attr
Z0=75 TD=30n	C <u>h</u> ange Display
F= NL=	Delete
Include Non-changeable Attributes	<u></u> K
Include System-defined Attributes	Cancel

Essa specifica una linea di trasmissione di **nome T1** (tutti i nomi delle linee devono cominciare con la lettera T):

- Z0 impedenza caratteristica
- TD tempo di ritardo
- NL la linea è lunga NL volte la lunghezza d $\phi$ onda  $\lambda$
- F frequenza di lavoro

I tre parametri introdotti precedentemente sono legati tra loro dalle seguenti relazioni:

TD = NL/F $NL = L/\lambda$  $\lambda = v/F$ 

dove L è la lunghezza fisica della linea,  $\lambda$  è la lunghezza d $\alpha$ onda del segnale alla frequenza F e, infine, v è la velocità di fase sulla linea. Supponendo v = c si deduce:

L = c''TD = 9 mNL = 3

Si imposta la resistenza di carico RL parametrica.

Per ottenere una resistenza RL variabile la si deve rendere **parametrica** scrivendo al posto del valore numerico il nome della resistenza tra parentesi graffe e inserire il componete **PARAMETERS** ed assegnare il nome e un valore iniziale. Il nome è RL e come valore si sceglie  $200 \Omega$ :

<u>N</u> ame	⊻alue	
NAME1	= RL	<u>S</u> ave Attr
NAME1=R NAME2=		C <u>h</u> ange Display
NAME3= VALUE1=200 VALUE2= VALUE3=		<u>D</u> elete
Include Ng	on-changeable Attributes	<u></u> K
🗖 Include Sy	stem-defined Attributes	Cancel

Successivamente si deve attivare løopzione **Parametric** nel menù SETUP e assegnare: il nome, il valore iniziale, il valore finale e il passo.

Setup			
	Enabled		
<u>A</u> C Sweep		<u>O</u> ptions	<u>C</u> lose
Load Bias Point		<u>P</u> arametric	
<u>S</u> ave Bias Point		Se <u>n</u> sitivity	
<u>D</u> C Sweep		T <u>e</u> mperature	
Monte Carlo/Worst Case		Transfer <u>F</u> unction	
<u>B</u> ias Point Detail		<u>T</u> ransient	
Digital Setup			
	Setup <u>A</u> C Sweep <u>L</u> oad Bias Point <u>S</u> ave Bias Point <u>D</u> C Sweep <u>M</u> onte Carlo/Worst Case <u>B</u> ias Point Detail Digital Setup	Setup       Enabled         AC Sweep       Image: Comparison of the set of t	Setup         ▲C Sweep       ①         ▲C Sweep       ①         ▲oad Bias Point       ✔         Save Bias Point       ✔         ①C Sweep       ▲         ①C Sweep       ▲         ①DC Sweep       ●         ①DC Sweep       ●         ①DC Sweep       ●         ①DC Sweep       ●

	12 C
<u>N</u> ame:	RL
Model Type: Model Name	[
Param: Name:	
Sta <u>r</u> t Value: End Value:	1
- Increment:	20
	<u>N</u> ame: Model Type: Model N <u>a</u> me: Baram: Name: Start Value: End Value: Increment:

La resistenza RL assume i valori compresi tra 1 e 500 con passo 20  $\Omega$ . Si definiscono i parametri per la **simulazione nel tempo**.

Transient	
Transient Analysis	
Print Step:	0.1ns
Einal Time:	100ns
<u>N</u> o-Print Delay:	
<u>S</u> tep Ceiling:	
🔲 🔟 etailed Bias Pt.	
☐ S <u>k</u> ip initial transient sol	lution
- Fourier Analysis	
🔲 <u>E</u> nable Fourier	
Center Frequency:	
Number of <u>h</u> armonics:	
Output Vars.:	
OK	Cancel

Si salva il lavoro in una cartella. Attivata la simulazione appare un grafico con numerose tracce.



Si noti il ritardo di 30 ns relativo al segnale di uscita.

Una volta cancellati i due grafici si seleziona la finestra PLOT e clic su AXIS SETTINGS. Attivare løpzione PERFORMANCE ANALYSIS.

xis Settings	
×Axis YAxis X Grid Y Grid	
- Data Range	– Use Data
Auto Range	🕫 Euli
C <u>U</u> ser Defined	C Bestricted (analog)
0s to 100ns	0s to 100ns
Scale	Processing Options
C Lipear	Fourier
C Log	Performance Analysis
Axis	⊻ariable
OK Cancel <u>S</u> ave	As Default Reset Defaults Help

Si ottiene:

👹 Max - OrCAD PSpice A/D Demo - [Max.dat (active)]				
Bile Edit View Simulation Irace Plot Tools Window Help 🎇				_ 8 ×
🖹 🔹 😂 🖬 🎒 🕺 🐂 🛍 🗠 🕰 🛛 Max	<b>)</b> II			
( Q,	义子这种政制设行定			
24				
0 100	200	300	400	500
	RL			
📓 Max.dat (act				
Zalculating bias point	X			
Bias point calculated Calculating bias point for Transient Analysis	param RL = 481			
Bias point calculated Transient Analysis	Time step = 202.8E-12	Time = 100.0E-09	End = 100.0E-09	
Transient Analysis finished Simulation complete				
	Analysis (Watch)	Devices /		
For Help, press F1		Time =	100.0E-09 100%	-//-

Dalla menu TRACE selezionare løopzione ADD TRACE.

Add Traces			
Simulation Output Variables		Functions or Macros	1
x		Goal Functions	-
l(Bin)	🔽 🔽 Analog	Bandwidth(1,db_level)	_
	🕅 Digital	CenterFreq(1,db_level)	
IB(T1) Time	I ⊻oltages	GainMargin(1,2)	
V(Rin:1) V(Rin:2)	🔽 Currents	GenRise(1) HPBW(1 db level)	
V(RL:2) V(Nort)		LPBW(1,db_level)	
(() Ga()	Alias <u>N</u> ames	MAXr(1,begin_x,end_x)	
	📕 Subcircuit Nodes	MINr(1,begin_x,end_x)	
		Peak(1,n_occur)	
		PhaseMargin(1,2)	
		Risetime(1)	
		SWINGr(1,begin_x,end_x) TPmW/2(1 Period)	
	10 variables listed	XatNthY(1,Y_value,n_occur)	
1		XatNthYp(1,Y_value,n_occur)	~
Full List			
Irace Expression:		<u> </u>	Help

### Scrivere in Trace Expression:

ÉMAX( I(RL)) per ottenere il grafico della corrente di uscita ÉMAX( V(Vout)) per il grafico della tensione di uscita ÉMAX( I(RL)\*V(Vout))/2 per quello della potenza di uscita

Modificare la visualizzazione della scala sugli assi. Asse X comune a tutte le simulazioni.

Automatic Major Spacing 25 Linear	Minor Intervals between Major © 2 © 10 © 4
Grids Grids C Lines At Intersections: Dots V with other major C + With other minor	Grids Grids C Lines At Intersections: C Dots C + With other minor C None
<ul> <li>☐ Ticks inside plot edge</li> <li>✓ Numbers outside plot edge</li> </ul>	Ticks inside plot edge

Asse Y per le correnti

Automatic Major Spacing 20m Linear 1 Linear	1 _ Y Axis Numb
Grids C Lines At Intersections: Dots IV with other major C + IV with other minor C None	Grids C Lines At Intersections: C Dots V with other major C + With other minor C None
<ul><li>Ticks inside plot edge</li><li>Numbers outside plot edge</li></ul>	Ticks inside plot edge

Si ottiene:

👹 Max - OrCAD PSpice A/D Demo - [Max.dat (active)]				
🔀 Ele Edit View Simulation Irace Plot T <u>o</u> ols <u>Wi</u> ndow <u>H</u> elp 🅵	_ B ×			
월 ▾ 😹 🏭 🕹 🗟 🗠 오 🛛 Max 💿 🕨				
QQQQ Ⅲ蚯★目 ₩ <b>%₩~</b> ↓ 杰米米球营造品公律型				
289n         289n           189n         1           169n         1           129n         1           129n         1           109n         1           100n         1           100n         1           100n         1           100n         1           100n				
20m 0 25 50 75 100 125 150 175 200 225 250 275 300 ∀Max(I(RL))	325 350 375 400 425 450 475 500			
RL				
Max dat (act				

Asse Y per le tensioni.

Major Spacing	1 ▼ Y Axis Numb
1     Linear       1     Log (# of decades)	© 2 C 10 C 4 C 5
Grids Grids At Intersections: C Dots C + With other major With other minor C None	Grids C Lines At Intersections: C Dots IV with other majo C + IV with other mino C None
<ul> <li>Ticks inside plot edge</li> <li>Numbers outside plot edge</li> </ul>	Ticks inside plot edge

### Si ottiene.

👹 Max - OrCAD PSpice A/D Demo - [Max.dat (active)]	
🔀 Ele Edit View Simulation Irace Plot Tools Window Help 🎆	×
월 ▼ 🔓 📴 🛃 🐰 🕸 🖻 그 오 🛛 Max 🕒 🕨	
●●●●● ■ ■ ●● ■ ■ ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●	
0 <u>1 i i i i i i i i i i i i i i i i i i </u>	325 350 375 400 425 450 475 500
∆ Max(V(Vout)) RL	
- 🔀 Max.dat (act	
X Calculating bias point	
Bias point calculated     Calculating bias point for Transient Analysis	
Bias point calculated Transient Analysis Time step = 202.8E-12 Time = 100.0E-09	End = 100.0E-09
Transient Analysis finished Simulation complete	
Analysis (Watch \ Devices /	
For Help, press F1	Time= 100.0E-09 100%

# Asse Y per la potenza.

Major	Minor
Spacing	Intervals between Major
50m Linear	© 2 C 10
	<u>C</u> 4
Log (# of decades)	C 5
Grids	- Grids
Lines	• Lines
At Intersections:	At Intersections:
with other major	Dots I with other majo
+ I with other minor	+ I with other mino
C None	C None
Ticks inside plot edge	Ticks inside plot edge
	Theks inside plot edge
Numbers outside plot edge	

#### Si ottiene.



Si osservi, come previsto dalla teoria, che per  $RL = Z_0 = 75 \ \Omega$  si ha la massima potenza sul carico.