

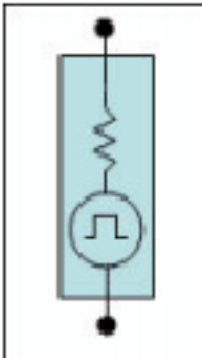
runlvl 用来设置仿真速度与精度 最高精度级别 runlvl=6 ,1=fast(事实上设为零，将回到早先的未加入些功能的版本) 6=most accurate 。默认的值是 runlvl=3。较低数值适合于纯数字电路或大部分数字电路。
Hspice 使用的是最好保存的runlvl 设置。

通常是结合.option runlvl=5

If you set .option **ACCURATE** then HSPICE limits the RUNLVL value to 5 or 6.

Table 55 Guidelines for RUNLVL Settings

Circuit type	RUNLVL Setting
Digital	RUNLVL=1-3
Analog or mixed signal accuracy	RUNLVL=3-5
Cell characterization	RUNLVL=5-6



p1 input1 0 z0=50 port=1 pulse(0 1.5 100p 40p 40p)

Psouce dut_in 0 z0=zref port=1 pulse(vlo vhi td tr tf) p 代表 port 元件

Psouce dut_inp dut_inn 0 z0=zref port=1 pulse(vlo vhi td tr tf) 这里定义的是差分的port 元件

对输出部分，没有源，所以无须加source 部分。

Pterm dut_out 0 z0=50 port=2

这里要区别在.meas p(m1) ,p()组合是表现功率。

t 无损传输线，结点，阻抗，延迟

T1 dut_in 0 node1 0 Z0=50 td=1n

par 可复用 par(..)输出作为其他端口的输入电压

Reusing the PAR(...) Output as Input to Other Elements

可使用于.print.probe 的输出

.print tran v(5) par('5*cos(6.28*v(10)*v(5)*k/360)') 式子要加单引号括起来

IBIS 模型使用

Input buffer:

B_INPUT nd_pc nd_gc nd_in nd_out_of_in

Output buffer:

B_OUTPUT nd_pu nd_pd nd_out nd_in [nd_pc nd_gc]

Input ECL Buffer:

B_INPUT_ECL nd_pc nd_gc nd_in nd_out_of_in

Output ECL Buffer:

B_OUTPUT_ECL nd_pu nd_out nd_in [nd_pc nd_gc]

Tri-state buffer:

B_3STATE nd_pu nd_pd nd_out nd_in nd_en [nd_pc nd_gc]

Input/Output buffer:

B_IO nd_pu nd_pd nd_out nd_in nd_en nd_out_of_in [nd_pc nd_gc]

(pu and pd are pull-up and pull-down; pc and gc are power clamp and ground clamp; nd simply stands for node.)

例子如下:

b_out1 nd_pu nd_pd out1 in1

+ file = 'at16245.ibs'

+ model = 'AT16245_OUT'

Search 组合使用.option search (自动寻找库以及包含文件所在的路径)

hspice.ini the default search paths.(sa_146)

例子: .OPTION SEARCH='\$installdir/parts/signet' 定位到安装路径下去扫描寻找

S 参数 与外部电路连接 (si_69)

Sxxx nd1 nd2 ... ndN ndRef 所有的节点, 其中最后一个点为地参考节点, 除地结点共n, 共有n个结点。当各结点参考结点不同时, 可写成nd1+ nd1- nd2+ nd2- ... ndN+ ndN- 形式

+ [MNAME=Smodel_name] s 参数标号

+ [TYPE=s|y][Z0=value|vector_value] s 参数/y 参数 特征阻抗

+ [FBASE =base_frequency][FMAX= maximum_frequency] 时域运算, 傅里叶运算的基带频率, 默认为瞬态响应单位间隔的倒数 **FMAX 取 2 倍 Knee frequency 可以保证相对的准确**

+ [INTERPOLATION=STEP|LINEAR|SPLINE|HYBRID] 运算数据外推方式

+ [INTDATTYP=RI|MA|DBA] 数据类型: RI 复数 MA 幅度角 DBA 分贝

+ [HIGHPASS=1|2|3|4][LOWPASS=0|1|2|3] 低频为了抽取接近DC 的响应

+ [DELAYHANDLE=1|0|ON|OFF] [DELAYFREQ=val] 对于类似传输线延迟时, 为准确, 选on

+ [MIXEDMODE=0|1] [DATATYPE=data_string] 其中 data_string d_diff c_comm s_sing n_n port

+ [NOISE=[1|0]] [NoiPassiveChk=1|0] [DTEMP= val] 热噪声

+ [RATIONAL_FUNC=[0|1]] [RATIONAL_FUNC_REUSE=[0|1|2]]

+ [PASSIVE=0|1] [PASSIVE_TOL=val] [COLSUM_LIMIT=val]

+ [ENFORCE_PASSIVE=0|1][STAMP=S|Y|YSTS|SSTS|DEEMBED]

+ [M=int] [PRECFAC=val] [FQMODEL=sp_model_name]

为了提高精度, 保持准确

1 外推 DC 响应, 设置好lowpass

2 max frequency 最好设置为 3 倍最快瞬变频率。

用 model 来描述指定 S 模型

.MODEL Smodel_name**S** [N=dimension] 指定为S 模型, 为N 端口。

+ [**TSTONE** | CITI | **touchstone** 文件是比较常用的模型, 调用可见下边

+ RFMFILE= | BNPFILE=] 还有一个可用的 FQMODEL=SFQMODEL

+ [TYPE=s|y][Z0=value | vector_value]

+ [FBASE=base_frequency][FMAX= maximum_frequency]

组合示例

```
s1 n1 n2 n3 n_ref mname=smodel z0=100
.model smodel s n=3 fqmodel=sfqmodel or (tstone ,citi) z0=50 fbase=25e6 fmax=1e9      100 欧比 model 里的
      50 欧级别更高
.sp 文件使用举例
.subckt sparam n1 n2 ts('ss_ts.s2p')
S1 n1 n2 0 mname=s_model
.model s_model S
.ends
x1 A B sparam ts('ss_ts.s2p')
```

S-element data

一个完整的以 **p** 端口来描绘的仿真网表**(91)**

```
**S-parameter example
.OPTION post
.probe v(n2)
P1 n1 0 port=1 Z0=50 ac=1v PULSE 0v 5v 5n 0.5n 0.5n 25n
P2 n2 0 port=2 Z0=50
.ac lin 500 1Hz 30MegHz
.tran 0.1ns 10ns
*reference node is set
S1 n1 n2 0 mname=s_model
*Sparameter
.model s_model S TSTONEFILE = ss_ts.s2p
Rt1 n2 0 50
.end
```

S 参数的去嵌 消除由不必要的外部测量接口如探针、连接器带来的影响。 （104）

```
S1 1 2 3 4 5 6 7 8 mname= model_name ...
+
or
.model model_name S ...
+
```

SP model 小信号参数数据频率表格模型（描述频率变化特性）

```
.MODEL namesp[N=val FSTART= val FSTOP=val NI=val 矩阵维度（一个维度包含了实/虚两部分读数）
/ 起始频率点/终止频率点/频率点每间隔，默认为 10
+ SPACING= val MATRIX= val VALTYPE=val INFINITY= matrixval spacing(lin , de log poi,nonuinform),
其中 matrix 数据类型（symmetric 对称，仅显示左下边，hermitian 共轭，nonsymmetric 非对称，完整形）
Valtype(数据类型 real ,Cartesian， polar 复极点)
+ INTERPOLATION=val EXTRAPOLATION= val DC=val] 内插： step,linear, spline 外推： none,step,linear
```

POI non-uniform spacing 非一致间隔

DATA

对如下类型的不同列组的数据，即层数据。

File D	File E	File F
d1 d2 d3	e4 e5	f6
d1 d2 d3	e4 e5	f6

使用如下样板

```
.DATA dataname LAM
FILE='file1' p1=1 p2=2 p3=3
FILE='file2' p4=1 p5=2
FILE='file3' p6=1
<OUT="">
.ENDDATA
```

传输线模型 （si 125）

其中W 代表精确建模的传输线，包括了导体与介质损耗，T 代表相对简单的无损传输线。

有关传输线损耗的两个公式：

趋肤损耗：

Equation 35 $R(f) \equiv R_o + \sqrt{f(1+j)}R_s$

Where:

- R_o is the DC resistance matrix.
- R_s is the skin effect matrix.

介质损耗：

Equation 36 $G(f) \equiv G_o + \frac{f}{\sqrt{1+(f/f_{gd})^2}}G_d$

Where,

- G_o models the shunt current due to free electrons in imperfect dielectrics.
- G_d models the power loss due to the rotation of dipoles under the alternating field (C. A. Balanis, Advanced Engineering Electromagnetics, New York: Wiley, 1989).
- f_{gd} is a cut-off frequency.

对 W 模型，考虑频率相关性模型：INCLUDEGDIMAG=yes 开启了使用复杂介质损耗的模型

Equation 40 $G(\omega) = G_o + G_d \frac{j\omega}{j\omega + \omega_p}$

..... - - - - - 频率相关复介质旁路损耗

其中 wp 是与极化时间常数相关的角频率

```
Wtest win 0 wout 0 N=1 RLGCMODEL=WE1 L=0.3
+ INCLUDEGDIMAG=yes
.MODEL WE1 W MODELTYPE=RLGC, N=1 1 维矩阵，对于多维的情况，L0=val1 val2 val3....
+ Lo = 3.8e-07
+ Co = 1.3e-10
```

+ Ro = 2.74e+00
+ Go = 0.0
+ Rs = 1.1e-03
+ Gd =8.2e-12
+ wp= 0.07 不输入极化常数时，此项不要。

PRINTZO 输出 w 元件的复特征阻抗到**.wzo** 格式的文件(low half)

W1 N=2 in1 in2 gnd out1 out2 gnd RLGCMODEL=2_line l=0.1

+ PRINTZO=POI 3 1e6 1e9 1e12

其中 2_line.wzo 保存输出

* w-element model [2_line] Characteristic Impedance Matrix:

.MODEL ZO **SP** N=2 SPACING=POI

+ DATA=3

+ 1.0e6

+ 175.362 -156.577

+ 3.54758 -2.53246 175.362 -156.577

+ 1.0e9

+ 48.7663 -1.3087

+ 1.69417 -0.0073233 48.7663 -1.3087

+ 1e12

+ 48.9545 0.238574

+ 1.66444 0.0348332 48.9545 0.238574

混合阻抗矩阵

t; qua tio.n 47

$$V_m = \begin{bmatrix} V_{c1} \\ V_{c2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1 + \sqrt{2})/2 \\ (1 - \sqrt{2})/2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/2 & 1/2 & 0 & 0 \\ 1/2 & -1/2 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = M V$$

$$M^{-1} = \begin{bmatrix} 1/2 & 1/2 & 0 & 0 \\ 1/2 & -1/2 & 1 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 2 & -2 \end{bmatrix}$$

where M_V and M_I are voltage and current transformation matrices. Both single-ended and mixed mode representation satisfy relationships of voltage and current through characteristic impedance matrix

Equation 48 $V = Z_o \cdot I$

$$M_V^{-1} V = Z_{o_mixed} \cdot M_I^{-1} I$$

Equation 49 $M_V^{-1} V = Z_{o_mixed} \cdot M_I^{-1} I$

$$V = M_V \cdot Z_{o_mixed} \cdot M_I^{-1} I$$

thus

Equation 5- $[J \cdot Z_{o_mixed} = M_{11} \cdot Z_0 \cdot M_{11}^{-1}$

对于一个简单的差分传输线

$$M_V = \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 1/2 & 1/2 \end{pmatrix}, M_I = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1/2 & -1/2 \end{pmatrix}$$

$$Z_{o_mixed} = M_V \cdot Z_o \cdot M_I^{-1}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 1/2 & 1/2 \end{pmatrix} \cdot Z_o \cdot \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1/2 & -1/2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix}$$

对于一个弱耦合的对称双微带线，单线的特征阻抗 $Z_{11}=Z_{22}=50\Omega$ ， $Z_{21}=Z_{12}=0$

$$\begin{pmatrix} Z_{dd} & Z_{dc} \\ Z_{cd} & Z_{cc} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2Z_{self} - 2Z_{mutual} & 0 \\ 0 & \frac{1}{2}(Z_{self} + Z_{mutual}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 100\Omega & 0 \\ 0 & 25\Omega \end{pmatrix}$$

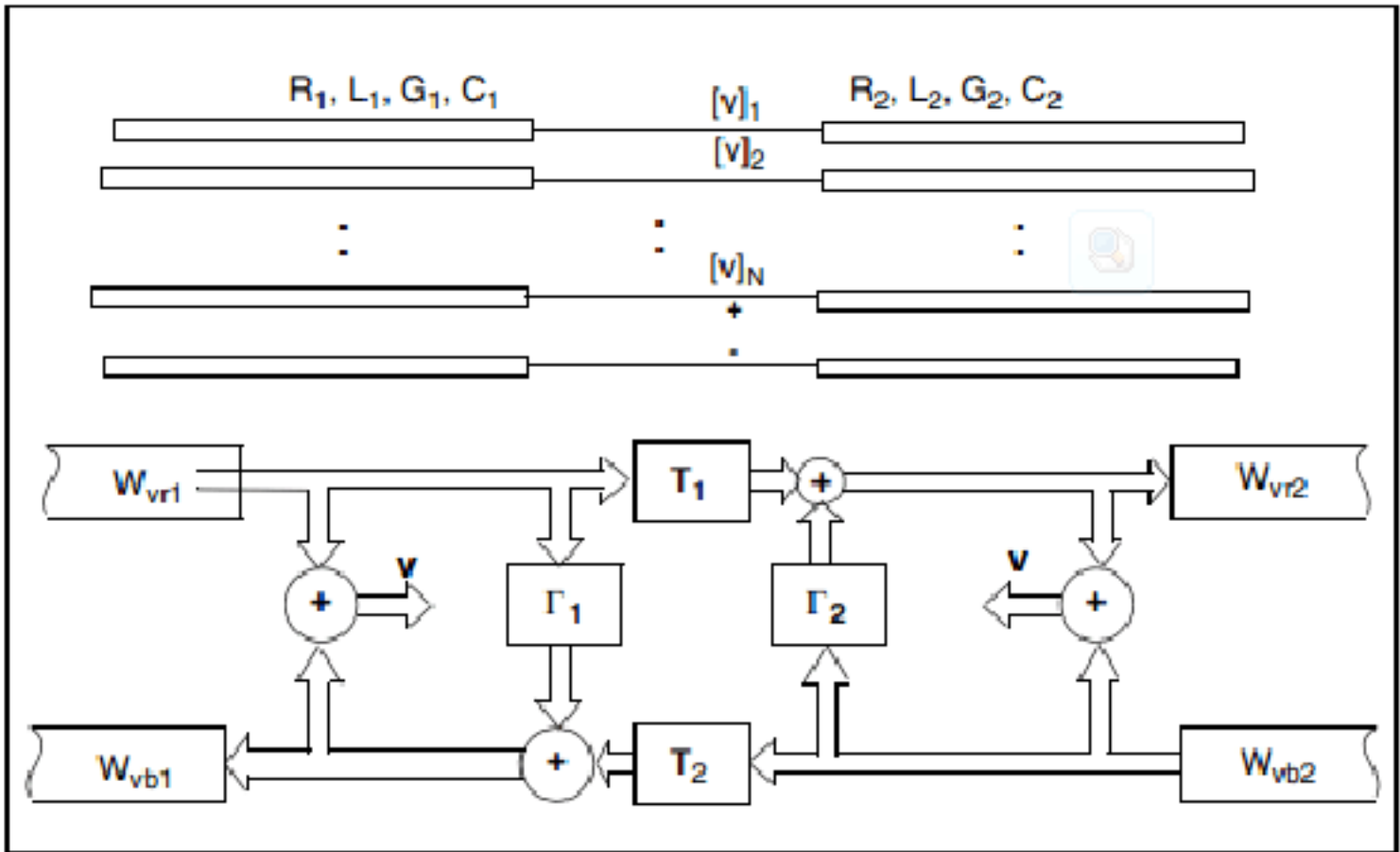


Figure 30 System Model for a Line-to-Line Junction

传输线连接的系统模型

Delayopt 准确的建立延迟模型，以保证时域仿真的准确

DELAYOPT=0|1|2 to deactivate, activate, and automatically determine，默认设置为 0 不使用

DCACC 保证低频部分的准确与收敛 DCACC=0 为关闭

完整的 W 语法 (si 125) 其中 5 个例子在 128 页

Wxxx i1 i2 ... iN iR o1 o2 ... oN oR N= val L= val 输入（输出）/输入（输出）参考节点

+ [RLGCMODEL= name | RLGC | **UMODEL**= name

+ **FSMODEL**= name | TABLEMODEL= name | **SMODEL**= name] **fsmodel** 来自场求解器

+ [INCLUDERSIMAG=YES|NO FGD=val] [DELAYOPT=0|1|2|3] **includersimag** 默认考虑趋肤效应的虚部项
fdg 指定材料介质损耗的截止频率

+ [INCLUDEGDIMAG=YES|NO] [NODEMAP=XiYj] [DCACC=[1|0]]

+ [NOISE=[1|0]] [DTEMP= val]

+ [PRINTZO=frequency_sweep MIXEDMODEZO=0|1] **printzo** 输出复阻抗 可使用 lin deco ct poi

+ [SCALE_RS=val]

一个完整的包含W- 同时调用W 的例子

* W-Element example, four-conductor line

W1 N=3 1 3 5 0 2 4 6 0 **RLGCMODEL=example_rlc** l=0.97 调用 **W** 元素

V1 1 0 AC=1v DC=0v pulse(4.82v 0v 5ns 0.1ns 0.1ns 25ns)

.AC lin 1000 0Hz 1GHz

.DC v1 0v 5v 0.1v

.tran 0.1ns 200ns

*RLGC matrices for a four-conductor lossy

.MODEL example_rlc W MODELTYPE=RLGC

使用.model 对 **W** 进行详细地定义


```

+ Lo=
+ 2.311e-6
+ 4.14e-7 2.988e-6
+ 8.42e-8 5.27e-7 2.813e-6
+ Co=
+ 2.392e-11
+ -5.41e-12 2.123e-11
+ -1.08e-12 -5.72e-12 2.447e-11
+ Ro=
+ 42.5
+ 0 41.0 + 0 0 33.5
+ Go= + 0.000609
+ -0.0001419 0.000599
+ -0.00002323 -0.00009 0.000502
+ Rs=
+ 0.00135
+ 0 0.001303
+ 0 0 0.001064
+ Gd=
+ 5.242e-13
+ -1.221e-13 5.164e-13
+ -1.999e-14 -7.747e-14 4.321e-13
.end

```

UMOEDL 详情参考 135 (157) U 模型中的RLGC 是以自/互阻抗感抗的形式表示的

W 格式中 $R(f) = R_0 + \sqrt{f} \cdot (1+j) \cdot R_s$

U 格式中, $R = R_c + R_s$ R_c 就是上式中的直流电阻。而 计算趋肤效应的起始频率 $F_{skin} = 1/(15 \cdot \text{risetime})$

To use the W-element with the U Model on the W-element card, specify:

`Umodel=U-model_name`

The W-element supports all U model modes, including:

- geometric, Elev=1
 - planar geometry, Plev=1
 - coax, Plev=2
 - twin-lead, Plev=3
- RLGC, Elev=2
- measured parameters, Elev=3
- skin-effect, Nlay=2

The only exception is Llev=1, which adds the second ground plane to the **U model**. The **W-element does not support this**. To model the extra ground plane, add an extra conductor to the W-element in Elev=2, or use an external lumped capacitor in Elev=1 or Elev=3. For information about the U model, see [Appendix B, Lumped Transmission Line — U-Model](#)

例子

```
* W Element example, four-conductor line, U model
W1 1 3 5 0 2 4 6 0 Umodel=example N=3 I=0.97
.MODEL example U LEVEL=3 NL=3 Elev=2 Llev=0 Plev=1 Nlay=2
+ L11=2.311uH
+ L12=0.414uH L22=2.988uH
+ L13=84.2nH L23=0.527uH L33=2.813uH
+ Cr1=17.43pF
+ C12=5.41pF Cr2=10.1pF
+ C13=1.08pF C23=5.72pF Cr3=17.67pF
+ R1c=42.5 R2c=41.0 R3c=33.5
+ Gr1=0.44387mS
+ G12=0.1419mS Gr2=0.3671mS
+ G13=23.23uS G23=90uS Gr3=0.38877mS
+ R1s=0.00135 R2s=0.001303 R3s=0.001064
V1 1 0 AC=1v DC=0v pulse(4.82v 0v 5ns 0.1ns 0.1ns 25ns)
.AC lin 1000 0Hz 1GHz
.DC v1 0v 5v 0.1v
.TRAN 0.1ns
.END
```

频率相关表格模型 **Frequency-Dependent Tabular Model** 见（si 161）

可用来模拟传输线的任意频率特性（不支持RC 传输线）

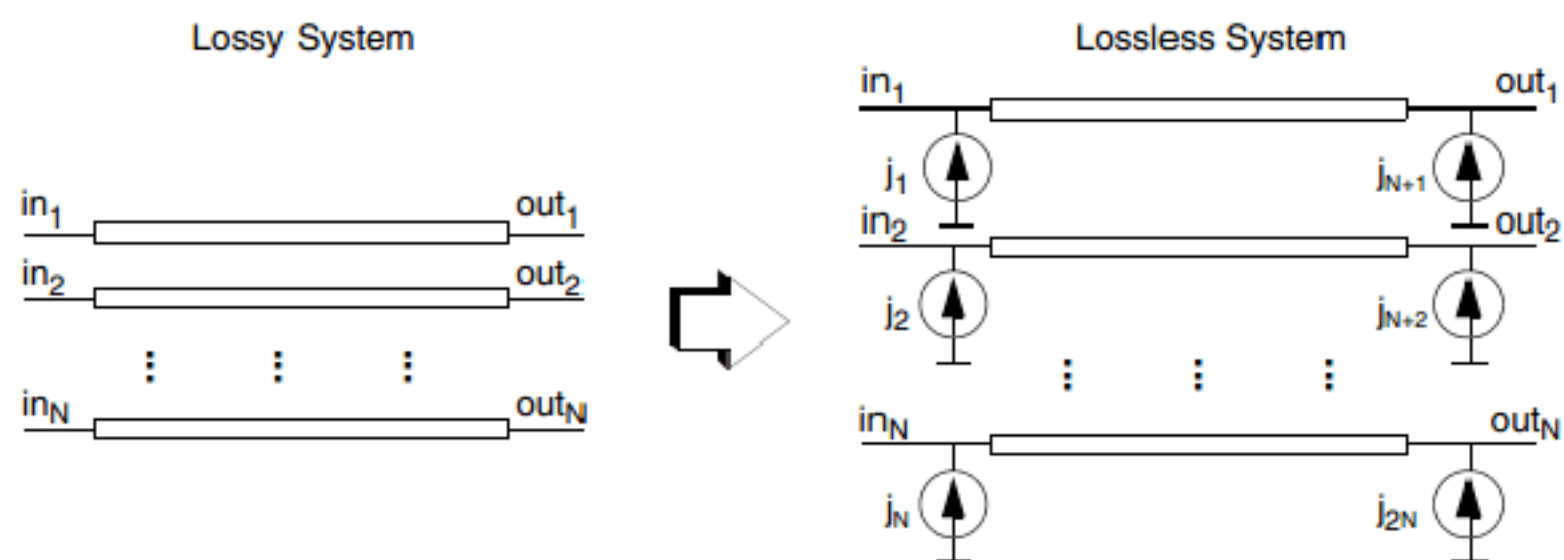
*** model**

Nodemap 端口节点表 近端/输入端用 I, I N 远端/输出端使用 O ,F 示例如下：

```
NODEMAP = I1I2O1O2
**** W Element Example: S Model ***
rout out 0 50
vin in gnd LFSR (1 0 0 0.1n 0.1n 1g 1 [5,2] rout=50) 其中 LFSR 是伪随机序列产生器or 线性反馈移位寄存器？
*+ pulse(0 1 0 0.1n 0.1n 0.9n 2n)
W1 in gnd out gnd SMODEL=smodel N=1 I=0.3
+ NODEMAP=I1O1
.MODEL smodel S
+ XLINELLENGTH=0.3 XLINELLENGTH 表明的是所用 S 参数来自的系统模型的线长。A must term for .sp W
element
.opt accuratepost .opiton accurate 自动设置RUNLVL value to 5 or 6.
.tran .01n20n
.end
```

W-element passive noise model 无源噪声模型（热噪声）（.NOISE and .LIN noisecalc=1 [多端口时]

+ [NOISE=[1|0]] [DTEMP= val] =1 时，会产生 2N*2N 噪声-电流源相关矩阵



T-element 阻抗和延迟（无损）

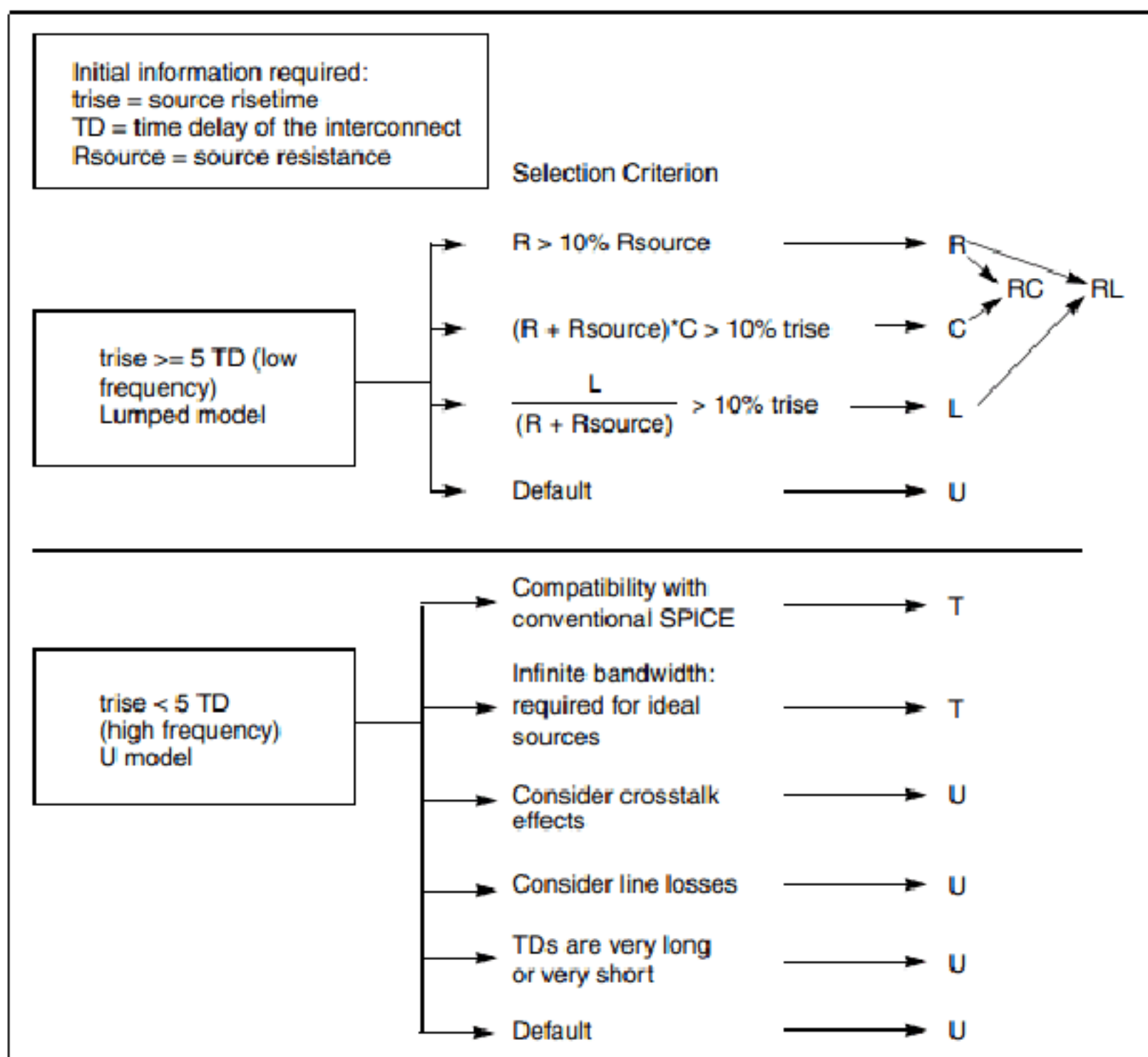


Figure 42 Wire Model Selection Chart

简单的示例

T1 in gnd t_out gnd model_name1 L=200m U1

in gnd u_out gnd model_name1 L=200m

.model model_name1 **U** LEVEL=3 PLEV=1 ELEV=1 wd=2m ht=2m th=0.25m 几何描述 ELEV=1,planar

structure 即平面结构 PLEV=1,wd 导体宽度 ht,th 介质维度

+ KD=5 KD 为介质常

理想传输线示例

```
Txxx in refin out refout  Z0=val  TD=val  [L=val ]
+ [IC=v1,i1,v2,i2]          IC= 为设定传输线的初始条件，各端口初始输入电压， 电流
Txxx in refin out refout  Z0=val  F= val  [NL= val ]    F 与 NL， 在频率 F 时， 归一化电气长度(默认为 1/4 单位
                    波长)为 NL
+ [IC=v1,i1,v2,i2]
```

利用场求解器来求解抽取传输线参数 对应的是 **W element** [page si_188](#)

要求解趋肤阻抗， 设置

.FSOPTIONS

场求解器对应声明

.MATERIAL

.LAYERSTACK 用来声明介质与金属层，但不包括导线部分，导线部分在最后的场求解指令里用 **conductor**

.SHAP 声明形状 rectangle. circle strip polygon 多边形 Trapezoid 梯形

示例 .shape rect **rectangle** width=400e-6 height=40e-6 这一系列的都是类似的布局：先 名称，类型

.FSOPTIONS 求解选项

.MODEL w **modeltype=fieldsolver** 指定传输线类型为场求解器

语法

```
.MODEL mname W MODELTYPE= FieldSolver
+ LAYERSTACK= name [FSOPTIONS=name]      cood 为选定坐标系
+ [RLGC][COORD=0|DESCART|1|POLAR]      RLGC 文件名首字母必须为字母， 不能为数字
+                                     设置          PRINTDATA t=YES 为输出 RLGC 文
+ CONDUCTOR=SHAPE= name [MATERIAL=name]
+ [ORIGIN=(val1,val2)]
[TYPE=SIGNAL|REFERENCE|FLOATING] .. 导体类型：默认 signal 设置为w-element中的信号节点
                                   Floating 浮空的导体， w-element 中没有参考
```

抽取 RLGC 表格模型

```
.FSOPTIONS name [ACCURACY=HIGH|MEDIUM|LOW]
+ [GRIDFACTOR=val ]
+ [COMPUTE_GO=YES|NO] [COMPUTE_GD=NO|YES]
+ [COMPUTE_RO=YES|NO] [COMPUTE_RS=NO|YES|DIRECT|ITER]
+ [COMPUTE_TABLE=frequency_sweep]
+ [PRINTDATA=NO|YES|APPEND]
```

对于介质损耗项 Gd， 必须定义材料的损耗值 才会在矩阵里出现 材料声明如下 $Gd=2 \cdot p \cdot \tan \theta \cdot Co$

.MATERIAL die1 DIELECTRIC **ER=4.1**

详例见 194 ？ ？ ？

考虑到导体损耗的二阶效应 粗糙表面

两种方法： 比例因子 计算表面粗糙高度的均方值（RMS） 见 [si 196](#)

比例因子： $S R(f) = R_0 + (1 + j) \cdot \sqrt{f} \cdot SCALE_{RS} \cdot R_s$

Wxxx ni1 ni2... ref_in no1 no2... ref_out

+ [SCALE_RS=value]

取均方值：

.material copper metal conductivity=value [roughness=value]

一个完整的场求解器指令例子：（此例主要是生成 RLGC）

```

***use copper_rough sw/roughness=2um***
P3 in2 0 port=3 ac=1
P4 out2 0 port=4
W2 in2 gnd out2 gnd FSmodel=line1_rough N=1 l=0.1
.material diel dielectric er=4.3
.material copper metal conductivity=57.6meg
.material copper_rough metal conductivity=57.6meg
+ROUGHNESS=2e-          计算介质材料的粗糙高度的均方值

.shape rect rectangle width=400e-6 height=40e-6          分别定义形状
.layerstack stack1 background=air          叠层结构，注意顺序是从下至上，即铜层为最下层，上一层是介质
+layer=(copper,10e-6)          1          layer 包含两个项：材料material 厚度 0.5mm
+layer=(diel,200e-6)          2
.fsoptions opt1 printdata=yes          computeGd=no computeRs=yes          控制选项，不计算介质损耗Gd

.model line1_rough W Modeltype=fieldsolver,          在 model 中完整陈述所求解的结构
+layerstack=stack1,
+fsoptions=opt1,
+Rlgc,          使用 line1_rough.rlgc 这个文件来存储矩阵,在同路径文件夹内
+conductor=(shape=rect,origin=(0,110e-6),material=copper_rough)          conductor作用是声明导线的部分，包括
三个项，material ,shape ,origin ,如有多个导体，依次书写，如下
+conductor=(shape=rect,origin=(0,110e-6),material=copper_rough)
.opt post
.ac dec 100 1e6 1e10
.end

```

使用多核进程技术加速场求解器 **pp si_198**
 主要用于加速趋肤效应部分电阻Rs 的计算,相对另外三部分指令+ [COMPUTE_GO=NO|YES]
 [COMPUTE_RS=NO|YES|DIRECT|ITER] 其中 direct 和 yes 一样，使用加速，iter 使用迭代的矩阵算法

Gridfactor= .fsoption 中的指令，只能使用整数，用来指定确定求解形状的最终分割数乘法因子，当
 compute_rs=yes 时，场求解器不会计算Ro.Rs.

蒙特卡罗 **si_207** 页关于蒙特卡罗的和生产工艺上尺度误差相关的例子非常好。
 下面是一个使用 polar 座标的共轴线模型（完整例子参见 si_209 页）



Figure 53 Polar field solver for modeling coaxial lines