

Hspice 语法手册

天津大学电信学院

陈力颖

Preface

最初写作本文的目的是希望提供一份中文版的Hspice手册从而方便初学者的使用，本文的缘起是几位曾经一起工作过的同事分别进入不同的新公司，而公司主要是使用Hspice，对于已经熟悉了Cadence的GUI界面的使用者转而面对Hspice的文本格式，其难度是不言而喻的，而Hspice冗长的manual（长达2000页以上）更让人在短时间内理不出头绪。鉴于我曾经使用过相当一段时间的Hspice，于是我向他们提供了一份简单而明了的handbook来帮助他们学习，本来是准备借助一个具体运放的设计例子，逐步完善成为一份case by case的教程，但由于工作比较浩大，加之时间的关系，一直难以完成，愈拖愈久，在几个朋友的劝说下，与其等其日臻完善后再发布，不如先行发布在逐步完善，以便可以让更多的朋友及早使用收益。本文虽通过网络发表，但作者保留全部的著作权，转载时务请通知本人。由于水平的有限，讨论范围的局限及错误不可避免，恳请读者指正。联系方式为e-mail: nkchenliy@126.com。

目 录

一、HSPICE 基础知识	2
二、有源器件和分析类型	3
三、输出格式和子电路	4
四、控制语句和 OPTION 语句	6
五、仿真控制和收敛	7
六、输入语句	8
七、统计分析仿真	9

天津大学电信学院

陈力颖

2006 年2 月

一、HSPICE 基础知识

Avant! Start-Hspice (现在属于 Synopsys 公司) 是 IC 设计中最常使用的电路仿真工具, 是目前业界使用最为广泛的 IC 设计工具, 甚至可以说是事实上的标准。目前, 一般书籍都采用 Level 2 的 MOS Model 进行计算和估算, 与 Foundry 经常提供的 Level 49 和 Mos 9、EKV 等 Library 不同, 而以上 Model 要比 Level 2 的 Model 复杂的多, 因此 Designer 除利用 Level 2 的 Model 进行电路的估算以外, 还一定要使用电路仿真软件 Hspice、Spectre 等进行仿真, 以便得到精确的结果。

本文将从最基本的设计和使用开始, 逐步带领读者熟悉 Hspice 的使用, 以便建立 IC 设计的基本概念。文章还将对 Hspice 的收敛性做深入细致的讨论。

Hspice 输入网表文件为 .sp 文件, 模型和库文件为 .inc 和 .lib, Hspice 输出文件有运行状态文件 .st0、输出列表文件 .lis、瞬态分析文件 .tr#、直流分析文件 .sw#、交流分析文件 .ac#、测量输出文件 .m*# 等。其中, 所有的分析数据文件均可作为 AvanWaves 的输入文件用来显示波形。

表 1 Hspice 所使用的单位

单位缩写	含义
F(f)	1e-15
P(p)	1e-12
N(n)	1e-10
U(u)	1e-06
M(m)	1e-03
K(k)	1e+03
Meg(meg)	1e+06
G(g)	1e+09
T(t)	1e+12
DB(db)	$20\log_{10}$

注: Hspice 单位不区分大小写

独立电压和电流源包括:

1. 直流源 (DC):

电压源 V_{xxx} n+ n- dcval

电流源 I_{xxx} n+ n- dcval

2. 交流源 (AC) : V_{xxx} n+ n- AC=acmag,acphase

3. 瞬态源 (随时间变化) :

脉冲源 : pulse v1 v2 td tr tf pw per

线性源 : pwl t1 v1 <t2 v2 t3 v3...>

正弦源 : sin vo va freq td damping phasedelay

4. 混合源 : 可以包括以上所有的形式 , 如 : VIN 13 2 0.001 AC 1 SIN(0 1 1Meg)

二、输入网表文件

```
TITLE
.INCLUDE
.LIB MACRO
元件描述
信号源描述
分析命令
测量命令
.ALTER
.END
```

图 1 输入网表 (Netlist) 文件标准格式

二、有源器件和分析类型

有源器件包括二极管 (D)、MOS 管 (M)、BJT 管 (Q)、JFET 和 MESFET (J)、子电路(X)和宏、Behavioral 器件 (E,G)、传输线 (T,U,W) 等。这里值得注意的是 MOS、JFET 和 MESFET 的 L 和 W 的 scale 是 m，而不是 um。

分析的类型包括：直流、交流和瞬态分析。

1.直流分析：

对 DC、AC 和 TRAN 分析将自动进行直流操作点 (DC OP) 的计算，但.TRAN UIC 将直接设置初始条件，不进行 DC OP 的计算。

```
.DC var1 start1 stop1 inc1 sweep var2 type np start2 stop2
```

直流分析包含以下五种语句：

.DC：直流扫描分析；

.OP：直流操作点分析；

.PZ：Pole/Zero 分析；

.SENS：直流小信号敏感度分析；

.TF：直流小信号传输函数分析。

2.交流分析：

交流分析是指输出变量作为频率的函数。

```
.AC var1 start1 stop1 inc1 sweep var2 type np start2 stop2
```

交流分析包括以下四种语句：

.NOISE：噪声分析；

.DISTO：失真分析；

.NET：网络分析；

.SAMPLE：采样噪声分析。

3.瞬态分析：

瞬态分析是指计算的电路结果作为时间的函数。

```
.TRAN tinc1 tstop1 tinc2 tstop2... START=.. UIC SWEEP..
```

三、输出格式和子电路

(1) 输出命令包括：.PRINT、.PLOT、GRAPH、.PROBE 和.MEASURE。

.PLOT antype ov1 ov2... plo1,phhi1...plo32,phi32

.PROBE ov1 ov2... ov32

.PRINT antype ov1 ov2... ov32

有五种输出变量形式：

1. 直流和瞬态分析：

用于显示单个节点电压，支路电流和器件功耗。

.print V(node) 或 .plot I(node)，也可用.graph、.probe。

V(node)表示节点电压，I(node)表示节点电流，p(rload)表示在负载 rload 上的分析点的功耗。

2. 交流分析：

用于显示节点电压和支路电流的实部、虚部和相位。

vi(node)表示节点电压的虚部，ip(node)表示节点电流的相位，vp(4,6)表示节点 4，6 间的相位角。

3. 器件模版：

用于显示制定的器件节点的电压、支路电流和器件参数。

lv16(m3)表示 MOS 管 m3 的漏电流，其他表示方式见手册。

4. MEASURE 语句：

用于显示用户自定义的变量。

可以采用的句法包括：raise,fall,delay,average,RMS,min,max,p-p 等。

5. 参数语句：

用于显示用户自定义的节点电压等表达式。

语法格式：.print tran out_var_name=PAR('expression')

(2) 还可以采用 AvanWave 进行波形输出，启动 AvanWave 的命令为：awaves <filename> &

(3) 子电路：

1. 采用.GLOBAL 设置全局节点：

.GLOBAL node1 node2 node3...

2. 子电路语句.SUBCKT 和.MACRO：

.SUBCKT subnam n1 n2 n3... parnam=val...

.MACRO subnam n1 n2 n3... parnam=val...

子电路的调用：

Xyyy n1 n2 n3... sunnam parnam=val... M=val

四、控制语句和 option 语句

1.OPTION 语句：

.options 语句格式：.options opt1 opt2 opt3... opt=x

一般在每个仿真文件中设置 options 为.options acct list post，也可以设置为.options node opts，其中.option list 表示将器件网表、节点连接方式等输入到列表文件，用于 debug 与电路拓扑结构有关的问题，.option node 表示将输出节点连接表到列表文件，用于 debug 与由于电路拓扑结构引起的不收敛问题，.option acct 表示在列表文件中输出运行时间统计和仿真效率，.option opts 在列表文件中报告所有的.option 设置，.option nomod 表示不输出 MODEL 参数，以便减小列表文件的大小，.option brief=1 表示不输出网表信息，直到设置.option brief=0，.protect/.unprotect 用于屏蔽网表文件中要保护的信息，.option bypass=1 不计算 latent 器件，.option autostop 表示当所有.measure 语句完成时，终止仿真，.option accurate=1 表示设置为最精确的仿真算法和容差，tstep 表示仿真步长值，delmax 表示最大允许时间步长，其中 $delmax=tstep*max$ ，.option dvdt=4 用于数字 CMOS 电路仿真（默认设置），.option dcca=1 在直流扫描时强行计算随电压变化的电容，.option captab 对二极管、BJT 管、MOS、JFET、无源电容器，打印出信号的节点电容值，.option dcstep=val 将直流模型和器件转换为电导，主要应用于“ No DC Path to Ground ”或有直流通路，但不符合 Hspice 定义的情况。

2.MODEL OPTION 语句：

SCALE 影响器件参数，如：L、W、area，SCALM 影响 model 参数，如：tox、vto、tnom。

五、仿真控制和收敛

Hspice 仿真过程采用 Newton-Raphson 算法通过迭代解矩阵方程，使节点电压和支路电流满足 Kirchoff 定律。迭代算法计算不成功的节点，主要是因为计算时超过了 Hspice 限制的每种仿真迭代的总次数从而超过了迭代的限制，或是时间步长值小于 Hspice 允许的最小值。

(1) 造成 Hspice 仿真不收敛主要有“ No Convergence in DC Solution ”和“ Timestep too Small ”，其可能的原因是：

1.电路的拓扑结构：

电路拓扑结构造成仿真不收敛主要有：电路连线错误，scale、scalm 和 param 语句错误，其他错误可以通过查找列表文件中的 warning 和 errors 发现。

解决的方法是：将电路分成不同的小模块，分别进行仿真；简化输入源；调整二极管的寄生电阻；调整错误容差，重新设置 RELV，ABSV，RELI，ABSI，RELMOS，ABSMOS 等。

2.仿真模型：

由于所有的半导体器件模型都可能包含电感为零的区域，因此可能引起迭代的不收敛。

解决的方法是：在 PN 结或 MOS 的漏与源之间跨接一个小电阻；将.option 中默认的 GMINDC、GMIN 增大。

3.仿真器的 options 设置：

仿真错误容差决定了仿真的精度和速度，要了解你所能接受的容差是多少。

解决的方法是：调整错误容差，重新设置 RELV，ABSV，RELI，ABSI，RELMOS，ABSMOS 等。

(2) 针对仿真分析中可能出现的不收敛情况进行分析：

1.直流工作点分析：

每种分析方式都以直流操作点分析开始，由于 Hspice 有很少的关于偏置点的信息，所以进行 DC OP 分析是很困难的，分析结果将输出到.ic 文件中。

对 DC OP 分析不收敛的情况，解决方法是：删除.option 语句中除 acct，list，node，post 之外的所有设置，采用默认设置，查找.lis 文件中关于不收敛的原因；使

用 .nodeset 和 .ic 语句自行设置部分工作点的偏置；DC OP 不收敛还有可能是由于 model 引起的，如在亚阈值区模型出现电导为负的情况。

2. 直流扫描分析：

在开始直流扫描分析之前，Hspice 先做 DC OP 计算，引起直流扫描分析不收敛的原因可能是快速的电压或电流变化，模型的不连续。

解决的方法是：对于电压或电流变化太快，通过增加 ITL2 来保证收敛，.option ITL2 是在直流扫描分析中在每一步允许迭代的次数，通过增加迭代次数，可以在电压或电流变化很快的点收敛。对于模型的不收敛，主要是由于 MOS 管线性区和饱和区之间的不连续，Newton-Raphson 算法在不连续点处进行迭点计算产生震荡，可以通过增减仿真步长值或改变仿真初始值来保证收敛，如：.dc vin 0v 5v 0.1v 的直流分析不收敛，可以改为 .dc vin 0v 5v 0.2v 增大步长值，.dc vin 0.01v 5.01v 0.1v 改变仿真的范围。

3. AC 频率分析：

由于 AC 扫描是进行频率分析，一旦有了 DC OP，AC 分析一般都会收敛，造成不收敛的原因主要是 DC OP 分析不收敛，解决的方法可以参看前面关于 DC OP 的分析。

4. 瞬态分析：

瞬态分析先进行直流工作点的计算，将计算结果作为瞬态分析在 T0 时刻的初始值，再通过 Newton-Raphson 算法进行迭代计算，在迭代计算过程中时间步长值是动态变化的，.tran tstep 中的步长值并不是仿真的步长值，只是打印输出仿真结果的时间间隔的值，可以通过调整 .options lvltim imax imin 来调整步长值。

瞬态分析不收敛主要是由于快速的电压变化和模型的不连续，对于快速的电压变化可以通过改变分析的步长值来保证收敛。对模型的不连续，可以通过设置 CAPOP 和 ACM 电容，对于给定的直流模型一般选择 CAPOP=4，ACM=3，对于 level 49，ACM=0。

对瞬态分析，默认采用 Trapezoidal 算法，精度比较高，但容易产生寄生振荡，采用 GEAR 算法作为滤波器可以滤去由于算法产生的振荡，具有更高的稳定性。

六、输入语句

对于 .param 语句，.param PARHIER=GLOBAL 是默认的，使得参数可以按照 Top-Down 变化，.param PARHIER=LOCAL，可以是参数只在局部有效。

对于.measure 语句，可以采用的模式有 rise , fall , delay , average , rms , min , peak-to-peak , Find-When , 微分和积分等。对 Find-When 语句，.measure <dc|tran|ac> result find val when out_val=val <optimization options> , 对微分和积分语句，.measure <dc|tran|ac> result <deriv|integ> val <options>。

对于.ALTER 语句，可以通过改变.ALTER 来改变使用不同的库，其中.ALTER 语句可以包含 element 语句、.data、.lib、.del lib、.include、.model、.nodeset、.ic、.op、.options、.param、.temp、.tf、.dc、.ac 语句，不能包含.print、.plot、.graph 或其他 I/O 语句，同时应该避免在.ALTER 中增加分析语句。

七、统计分析仿真

主要是对器件和模型进行 Monte Carlo 分析，随机数的产生主要依赖 Gaussian、Uniform、Limit 分析，通过.param 设置分布类型，将 dc、ac、tran 设置为 Monte Carlo 分析，用.measure 输出分析结果，如：

```
.param tox=agauss(200,10,1)
.tran 20p 1n sweep MONTE=20
.model ... tox=tox ...
```

其中，对 Gaussian 分析.param ver=gauss(nom_val,rel_variation,sigma,mult) ,
.param ver=agauss(nom_val,abs_variation,sigma,mult) ,
对 Uniform 分析，.param ver=unif(nom_val,rel_variation,mult) ,
.param ver=aunif(nom_val,abs_variation,mult) ,
对 Limit 分析，.param ver=limit(nom_val,abs_variation) , 如果你拼错 Gauss 或 Uniform、Limit，不会产生警告，但不将产生分布。

参 考 文 献

1. K. S. Kundert, The Designer's Guide to Spice & Spectre;
2. Synopsys, HSPICETM Simulation and Analysis User Guide;