

# 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](mailto: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 Vxxx n+ n- dcval

电流源 Ixxx n+ n- dcval

2. 交流源 ( AC ) : Vxxx 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 lvtim 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, HSPICE<sup>TM</sup> Simulation and Analysis User Guide;