

《微电子专业基础实验》指导教程

约定：

本实验指导教程关于操作步骤的说明中，
键入字符均用红色字体表示，
点击菜单或选择参数栏的名称用绿色字体表示，
选择按钮或参数项用蓝色字体表示；
完成窗口参数设置或选择后，默认点击 OK 按钮；
操作步骤中提到的“右键”，是指点击鼠标右键。

本实验系列使用 Cadence 公司 virtuoso 编辑工具和 Smic 180nm CMOS 工艺，进行 IC 前端设计，重点是 ADE 的 spectre 仿真方法；利用 Mentor Calibre 软件工具进行后端物理验证。

EDA 工具中大多数操作都有多种步骤方法。本实验指导教程主要介绍直观的菜单工具如何使用，请留意相应的快捷键，熟练之后应多使用快捷键进行操作。EDA 实验步骤仅供参考，不限制使用其它相同目的的步骤方法。

实验三、MOS 管工艺参数获取

● 实验目的

- * 学习使用 Cadence IC6 版本全定制设计集成平台 virtuoso，进行 Schematic 原理图编辑；

- * 学习 ADE（模拟设计环境）的 Spectre 直流 DC 仿真方法，并获取 MOS 管工艺参数；

- * 学习将 CDB 格式工艺库转换为 IC6 使用的 OA 格式工艺库，使新的集成设计平台适用于先前老工艺。

● 实验说明与预备知识

本实验使用 Cadence IC6 版本全定制集成平台 virtuoso，采用 smic 180nm CMOS 工艺库，为后续设计获取 MOS 管的工艺参数。

0.18um 之前工艺库一般仅有 CDB(Cadence DataBase) 格式，之后的先进 CMOS 工艺增加了 OA(OpenAccess DataBase)格式工艺库。老版本 Cadence IC5141 全定制集成平台 icfb 使用 CDB 格式，而新版本 IC6xx 全定制集成平台 virtuoso 使用 OA 格式工艺库。对于仅有 CDB 工艺库，若使用 IC6xx，则须将 CDB 格式工艺库转换成 OA 格式。

直流(dc)仿真包括直流工作点仿真和直流特性扫描。直流工作点仿真能得到电路的节点电压、支路电流、MOS 管直流参数（跨导、阈值电压、工作区）；直流特性扫描能得到设计变量、器件参数、温度等变化的电路特性。本实验在 virtuoso 嵌入的 ADE (analog design environment) 仿真环境中, 采用 Cadence spectre 直流(dc)仿真, 获得模拟集成电路设计所需要的 MOS 管基本工艺参数 vth 阈值电压、 $\mu * C_{ox}$ 工艺跨导、以及指定沟道长度下的 λ 沟道长度调制系数。

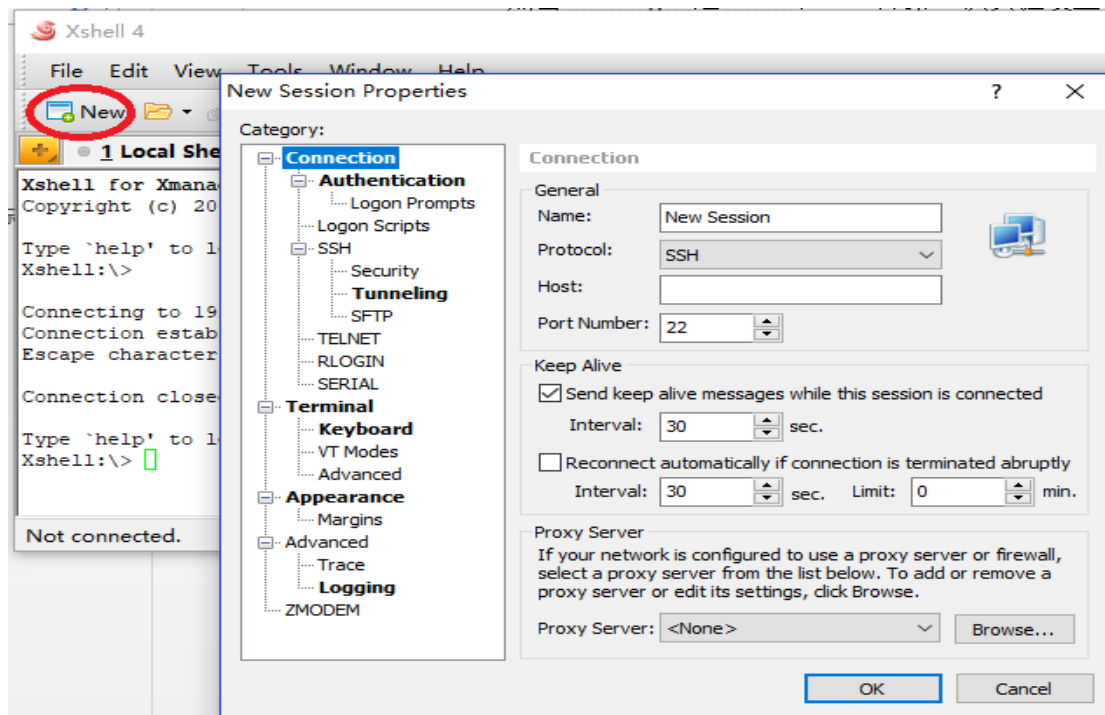
● 实验内容

一、实验准备

1.登录进入中科大信息科学实验中心 EDA 平台

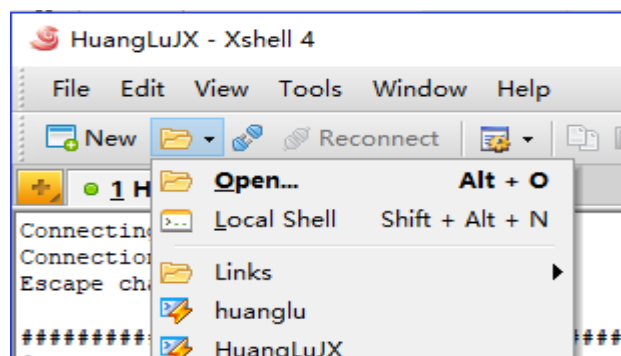
在远程桌面上，点击 Xmanager 之 Xshell (linux2)，若是第一次实验则点击 New，在弹出的 New Session Properties 窗口中设置 General Name 栏中 Session 名 (任意命名，例如你的姓名学号等，替代下图中 New Session) ；

键入 EDA 服务器平台 Host IP 地址和 Port Number 数字(均由实验老师提供)；

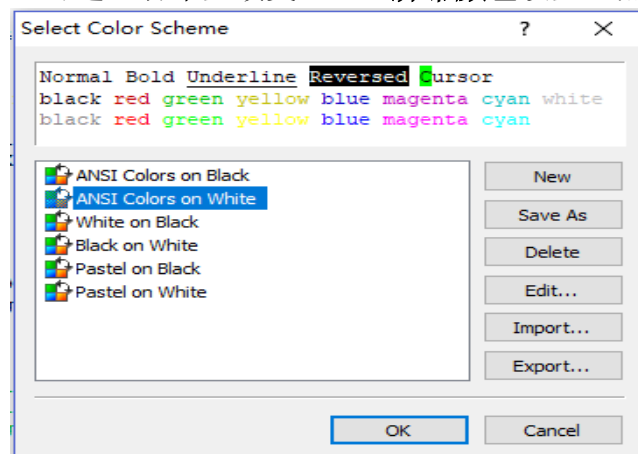


点击 **OK** 进行远程连接，按提示输入用户名和密码。

之后实验，在该终端 Xshell 进入 EDA 系统后，选择或打开你命名的 Session:



(可选) 若希望改变 Xshell 屏幕颜色设置，点击 **Tools**→**Color Schemes...**:



现在已从 你的账号@mgt 管理服务器 登录进入了 EDA 平台。

每次实验，必须选择一个计算服务器：`ssh -X c01n??`（这里??为 01~14）。

如不能连接，用网络浏览器打开 [http:// EDA 平台网址/ganglia/](http://EDA平台网址/ganglia/) (此处 EDA 平台网址为 Host 网址)，查看 EDA 计算服务器是否正常，以及负载情况（任务进程排队等待数目，m 表示 0.001）；选择合适的计算服务器，重新运行 `ssh -X` 命令。

2. 实验工艺库准备并进行 CDB→OA 转换

本实验使用 smic18mmrf 工艺，即 smic(中芯国际) 0.18um 混合模式(mixed mode)+射频(rf) CMOS 工艺。将 smic18mmrf 老格式 CDB 工艺库转换为 OA 新格式，才能适用于 Cadence IC6 工具，CDB 适用于 IC5141。

A. 创建 OA 工艺库目录和待转换工艺库路径：

```
mkdir smic180oa
```

```
mkdir cdslib
```

（临时存放 cds.lib 以免影响原有 cds.lib）

在 cdslib 目录中新建一个用于指定转换库的临时 cds.lib 文本文件：

```
cd cdslib
```

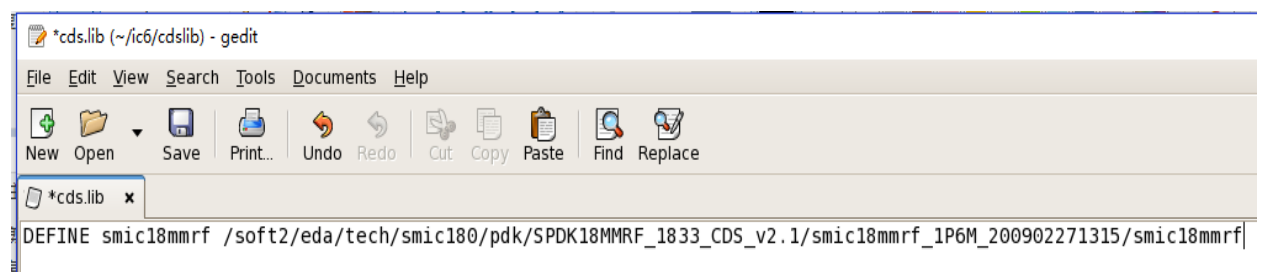
```
gedit cds.lib
```

在 gedit 文本编辑器新建的 cds.lib 文件编辑窗口中，键入如下 smic18mmrf 工艺库的路径定义命令：

```
DEFINE smic18mmrf /soft2/eda/tech/smic180/pdk/
```

```
\SPDK18MMRF_1833_CDS_v2.1/smic18mmrf_1P6M_200902271315/smic18mmrf
```

注：上面\表示续行，不是键入字符。以上两行实际是一条语句，如下图



点击 Save 图标并 File ->Quit 文本编辑器。

B. 将 CDB 转换成 OA 格式：

进入目录 `cd ../smic180oa`

（查看完整目录的命令是 `pwd`）

设置 virtuoso 环境变量 `setdt ic616`

运行 `virtuoso&`

关掉 What's New。。。窗口，也可永久性关闭此提示(在该窗口 Edit 中)。

在 virtuoso?6.1.6-窗口，

Tools→Conversion Tool Box..., 选 CDB to OpenAccess Translator...弹出相应的窗口，在 CDB library selection 面板中，点击 Path To cds.lib file: 栏的右侧 Browse..., 出现下图 Select File 窗口：



点击上一级目录路径../，(smic180oa 的上级目录即你的账号目录，简称你的目录)，在弹出的目录和文件菜单中点击 **cdslib/** (/表示目录)，接着在该目录中点击选择 **cds.lib**，使 Selection 栏中为 **/你的目录/cdslib/ cds.lib**，如下图：



OK 后可看到如下图：



OK，稍等片刻；
转换完成后 Virtuoso CIW(command Interpreter Window) 如 下图：



关闭 virtuoso 窗口。

查看 smic180oa 目录：ls，应该有 smic18mmrf 目录（单元库）。

C. 拷贝 spectre 仿真模型库：

在 smic180oa 目录中，创建目录 `mkdir models`

进入目录：`cd models`

（查看当前路径 `pwd`，应显示处于 你的目录/smic180oa/ models。

你的系统开户时设置仅显示最底层目录名。若希望显示全路径，则先进入你的目录：`cd ~`，拷贝 `cp ~HuangLuJX/.cshrc .`，然后运行 `source .cshrc`，最后回到先前目录 `cd smic180oa/ models`）

拷贝仿真模型：`cp -r /soft2/eda/tech/smic180/pdk/
\\SPDK18MMRF_1833_CDS_v2.1/smic18mmrf_1P6M_200902271315/
\\models/spectre .`

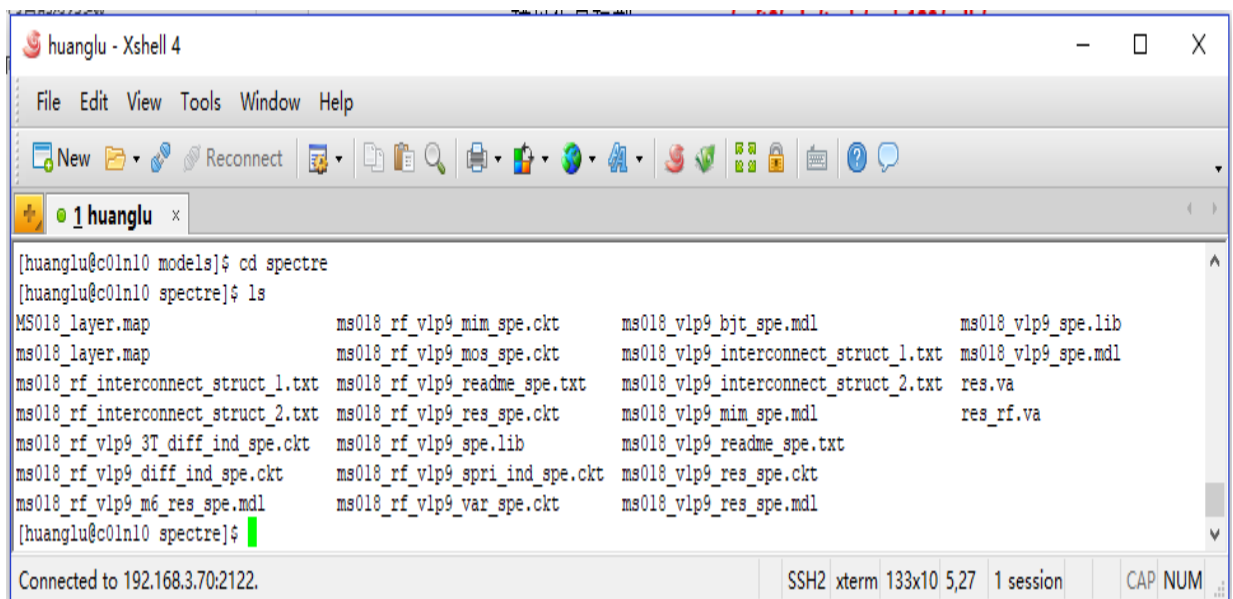
（注：\表示续行不是键入字符，上面三行是一条命令，注意最后有个点；Linux 系统中，点击鼠标中键滚轮是粘贴）。

3. (选做) 了解工艺库

A. 了解工艺概况

查看/你的目录/ smic180oa/models/ **spectre** 中的仿真模型文档。

进入 `cd spectre` 目录，`ls`



```
huanglu - Xshell 4
File Edit View Tools Window Help
New Reconnect
1 huanglu x
[huanglu@c01n10 models]$ cd spectre
[huanglu@c01n10 spectre]$ ls
MS018_layer.map          ms018_rf_vlp9_mim_spe.ckt  ms018_vlp9_bjt_spe.mdl      ms018_vlp9_spe.lib
ms018_layer.map          ms018_rf_vlp9_mos_spe.ckt  ms018_vlp9_interconnect_struct_1.txt  ms018_vlp9_spe.mdl
ms018_rf_interconnect_struct_1.txt  ms018_rf_vlp9_readme_spe.txt  ms018_vlp9_interconnect_struct_2.txt  res.va
ms018_rf_interconnect_struct_2.txt  ms018_rf_vlp9_res_spe.ckt    ms018_vlp9_mim_spe.mdl        res_rf.va
ms018_rf_vlp9_3T_diff_ind_spe.ckt  ms018_rf_vlp9_spe.lib       ms018_vlp9_readme_spe.txt
ms018_rf_vlp9_diff_ind_spe.ckt      ms018_rf_vlp9_spri_ind_spe.ckt  ms018_vlp9_res_spe.ckt
ms018_rf_vlp9_m6_res_spe.mdl        ms018_rf_vlp9_var_spe.ckt    ms018_vlp9_res_spe.mdl
[huanglu@c01n10 spectre]$
```

下列操作中，自动键入路径和文件名的重要技巧：键入当前目录下文件名的前几个字符，其余用 Tab 键自动补齐。

用 `cat` 命令显示感兴趣 ASCII 文档，例如 `cat ms018_v1p9_spe.mdl`

技巧：若显示前 60 行 `cat ms018_v1p9_spe.mdl | head -n 60`

说明：模型文件名中的 v1p9 表示核心电路最高电压 1.9V。

得到混合（数字和模拟）信号 mos 和二极管模型信息如下图：

```
[huanglu@c01n10 spectre]$ cat ms018_vlp9_spe.mdl
/**Spectre Model Format
simulator lang=spectre insensitive=yes

// *
// * no part of this file can be released without the consent of smic.
// *
// *****
// *          smic 0.18um mixed signal lp6m 1.8v/3.3v spice model (for spectre only)          *
// *****
// *
// * release version   : 1.9
// *
// * release date      : 07/25/2008
// *
// * simulation tool    : Cadence spectre V6.0
// *
// * model type         :
// *   mosfet           : bsim3v3.24
// *   junction diode   : spectre level 1
...

```

上图表明：指定仿真器为 spectre；

1p6m 表示 1 层 poly 和 6 层金属；

1.8v/3.3v 表示核心单元电压为 1.8V，IO PAD 管脚单元为 3.3V；

使用 bsim3 模型，3.24 版本。

下图说明了该文档包括了哪些 MOS 和二极管器件，右侧 2 列是单元名；

数字系统的核心电路（不包括 IO PAD）仅使用 p18 和 n18；

工艺中的 native nmos 是无 P 阱的 nmos，阈值电压很小；

Medium nmos 和 medium pmos 的阈值电压分别小于 n18 和 p18。

模型的有效温度范围是多少？

```

// * model name      :
// * mosfet          :
// *
// * -----*
// * | mosfet type    | 1.8v | 3.3v |
// * |=====|
// * | nmos           | n18  | n33  |
// * |-----*
// * | pmos           | p18  | p33  |
// * |-----*
// * | native nmos    | nnt18 | nnt33 |
// * |-----*
// * | medium nmos     | nmvt18 | nmvt33 |
// * |-----*
// * | medium pmos     | pmvt18 | ----  |
// * |-----*
// *
// * junction diode  :
// *
// * -----*
// * | junctio diode type | 1.8v | 3.3v |
// * |=====|
// * | n+/pwell         | ndio18 | ndio33 |
// * |-----|
// * | p+/nwell         | pdio18 | pdio33 |
// * |-----|
// * | nwell/psub       | nwdio  |
// * |-----|
// * | native n+/pwell   | nndio18 | nndio33 |
// * |-----|
// * | buried pwell/deep nwell | diobpw  |
// * |-----*
// *
// * valid temperature range is from -40c to 125c

```

同样打开双极性晶体管（三极管）仿真模型 ms018_v1p9_bjt_spe.mdl

```
// * model type      :
// *       vertical bjt : spectre BJT
// *
// * model name      :
// *       vertical pnp bjt :
// *
// *       *-----*
// *       | p+/nwell/psub bjt type      | 1.8v | 3.3v |
// *       |-----|
// *       | emitter area: 10*10 um^2     | pnp18a100 | pnp33a100 |
// *       |-----|
// *       | emitter area: 5*5 um^2      | pnp18a25 | pnp33a25 |
// *       |-----|
// *       | emitter area: 2*2 um^2      | pnp18a4 | pnp33a4 |
// *       |-----|
// *       *-----*
// *
// *       vertical npn bjt :
// *       *-----*
// *       | n+/pwell/deepnwell bjt type | 1.8v | 3.3v |
// *       |-----|
// *       | emitter area: 10*10 um^2     | npn18a100 | npn33a100 |
// *       |-----|
// *       | emitter area: 5*5 um^2      | npn18a25 | npn33a25 |
// *       |-----|
// *       | emitter area: 2*2 um^2      | npn18a4 | npn33a4 |
// *       |-----|
// *       *-----*
```

有几种固定尺寸的双极性三极管？

查看 ms018_v1p9_res_spe.mdl 电阻模型文档，一般选用 POLY 电阻：

```
// * resistor      :
// *
// *       *-----*
// *       | Resistor Type                  | 1.8V/3.3V |
// *       |-----|
// *       | Silicide N+ Diffusion          | rndif     |
// *       |-----|
// *       | Silicide P+ Diffusion          | rpdif     |
// *       |-----|
// *       | Silicide N+ Poly               | rnpo      |
// *       |-----|
// *       | Silicide N+ Poly(three terminal) | rnpo_3t   |
// *       |-----|
// *       | Silicide P+ Poly               | rppo      |
// *       |-----|
// *       | Silicide P+ Poly(three terminal) | rppo_3t   |
// *       |-----|
// *       | Silicide Nwell under AA        | rnwaa     |
// *       |-----|
// *       | Silicide Nwell under STI       | rnwsti    |
// *       |-----|
// *       | Non-Silicide N+ Diffusion      | rndifsab  |
// *       |-----|
// *       | Non-Silicide N+ Diffusion (non-standard) | rndifsab_nstd |
// *       |-----|
// *       | Non-Silicide P+ Diffusion      | rpdifsab  |
// *       |-----|
// *       | Non-Silicide P+ Diffusion (non-standard) | rpdifsab_nstd |
// *       |-----|
// *       | Non-Silicide N+ Poly          | rnposab   |
// *       |-----|
// *       | Non-Silicide N+ Poly(three terminal) | rnposab_3t |
// *       |-----|
```


Non-Silicide N+ Poly (non-standard)	rnposab_nstd
Non-Silicide N+ Poly (non-standard) (three terminal)	rnposab_nstd_3t
Non-Silicide P+ Poly	rpposab
Non-Silicide P+ Poly(three terminal)	rpposab_3t
Non-Silicide P+ Poly (non-standard)	rpposab_nstd
Non-Silicide P+ Poly (non-standard) (three terminal)	rpposab_nstd_3t
High Resistance Poly	rhrpo
High Resistance Poly(three terminal)	rhrpo_3t
Metal 1	rm1
Metal 2	rm2
Metal 3	rm3
Metal 4	rm4
Metal 5	rm5
Metal 6	rm6

上表中，Silicide 表示覆盖有低阻值的硅化物（金属与硅形成的化合物），three terminal（3t）指电阻建模包含了到衬底电容。

模型中 tc1 指一阶温度系数，tc2 指二阶温度系数，基准（典型）温度 tnom=25；rsh 为方块电阻，drsh 为 spectre 仿真文件.lib 中根据 section（与工艺角 corner 相关）确定的偏差。

B. 了解仿真文件.lib

打开混合信号仿真文件 `gedit ms018_v1p9_spe.lib`，注意不要保存以防误改内容，你会发现几乎所有参数前缀为 d(表示偏差 delta)。文件前段说明该仿真 lib 包含了哪些类型器件，哪几种工艺角 corner，模型参数在哪些文件中。

Search->Find... 查询一下关键词 **include**，从 endsection 可得到 mos 管的工艺角 section 分别是什么名字？mc section 用于蒙特卡罗分析；

除 mos 外，其它器件均为 3 种 section（典型 tt，快 ff，慢 ss）。说明：mim 是 2 层间距很小的金属电容，var（varactor）是压控电容。

查看射频仿真文件 `gedit ms018_rf_v1p9_spe.lib`。包含了哪些类型器件？模型参数在哪些文件中？模型文件（除 m6_res 外）后缀名是什么？用关键词 **include** 检索一下。

器件名为 spirind 为螺旋电感，diffind 为差分电感。

4. 编辑设计库文件 cds.lib

回到主目录 `cd ~`（也可在其它你准备运行 cadence 的目录）

编辑 `gedit cds.lib` 文件，键入以下文本：

--File created by a rookie of USTC

DEFINE cdsDefTechLib \$CDSHOME/tools/dfll/etc/cdsDefTechLib

DEFINE basic \$CDSHOME/tools/dfll/etc/cdslib/basic

DEFINE analogLib \$CDSHOME/tools/dfll/etc/cdslib/artist/analogLib

DEFINE ahdLib \$CDSHOME/tools/dfll/samples/artist/ahdLib

DEFINE smic18mmrf ~/smic180oa/smic18mmrf

小技巧：拷贝以上文本，在 cds.lib-gedit 编辑窗中点击鼠标中间滚轮进行粘贴。

注意：Linux 系统下，**Ctrl+C** 是中断先前命令的执行，用于从死进程中强行退出，新手可能会在迫不得已情况下使用，正在运行的程序结果将被丢失。

将 cds.lib 文件保存后退出 gedit 编辑器：**File->Save->Quit**。

5. (选做) 运行 virtuoso 了解库与单元：

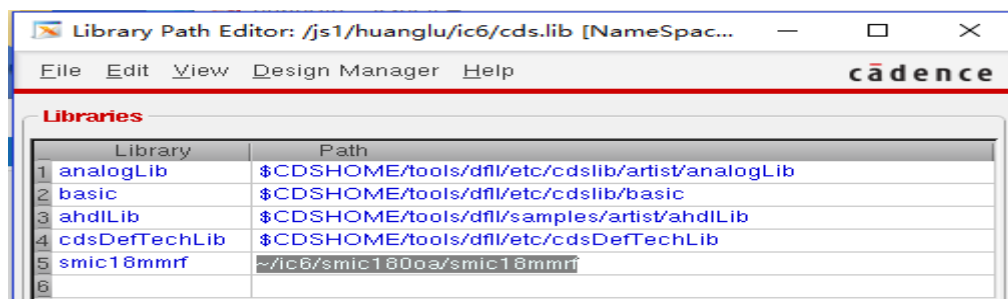
在主目录或含 cds.lib 的其它目录中 **virtuoso &**

如不能运行，需检查是否有 **CDS.log.cdslick** 文件或多个 **CDS.log.*** 文件(?为整数)，如有则都删之 **rm CDS.I***。

若显示 virtuoso: command not find，则需要先 setdt ic616。

检查 **Tools->Labrary Manager** 有无 smic18mmrf 库？

若无，则用 **Tools->Labrary Path Editor** 加上路径，smic18mmrf 库的路径为“你的目录/**smic1800a/smic18mmrf**”，参见下图：



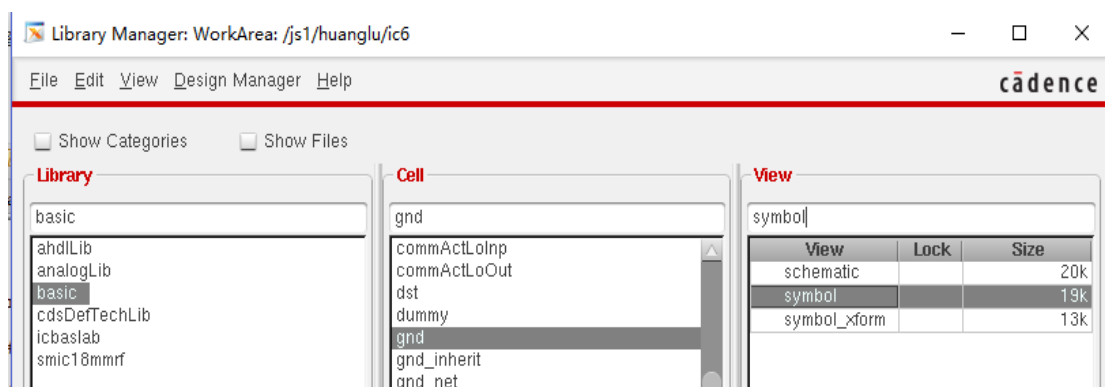
smic18mmrf 中单元是实际的工艺器件；**analogLib**（或 **basic**）库中单元是数学建模的理想器件，如电源 **vdd**、地 **gnd**、各种信号源等，用于电路仿真；**analogLib** 比 **basic** 库的单元种类多，此 2 库中的理想器件均可用于进行与实际工艺无关的电路原理图仿真与计算。

凡非自己的设计库，都只能用只读方式打开。

A. 浏览理想器件库（basic 或 analogLib）中的电源/地单元

Tools->LabraryManager，首先选择库 Library，再选单元 cell，最后选 View。

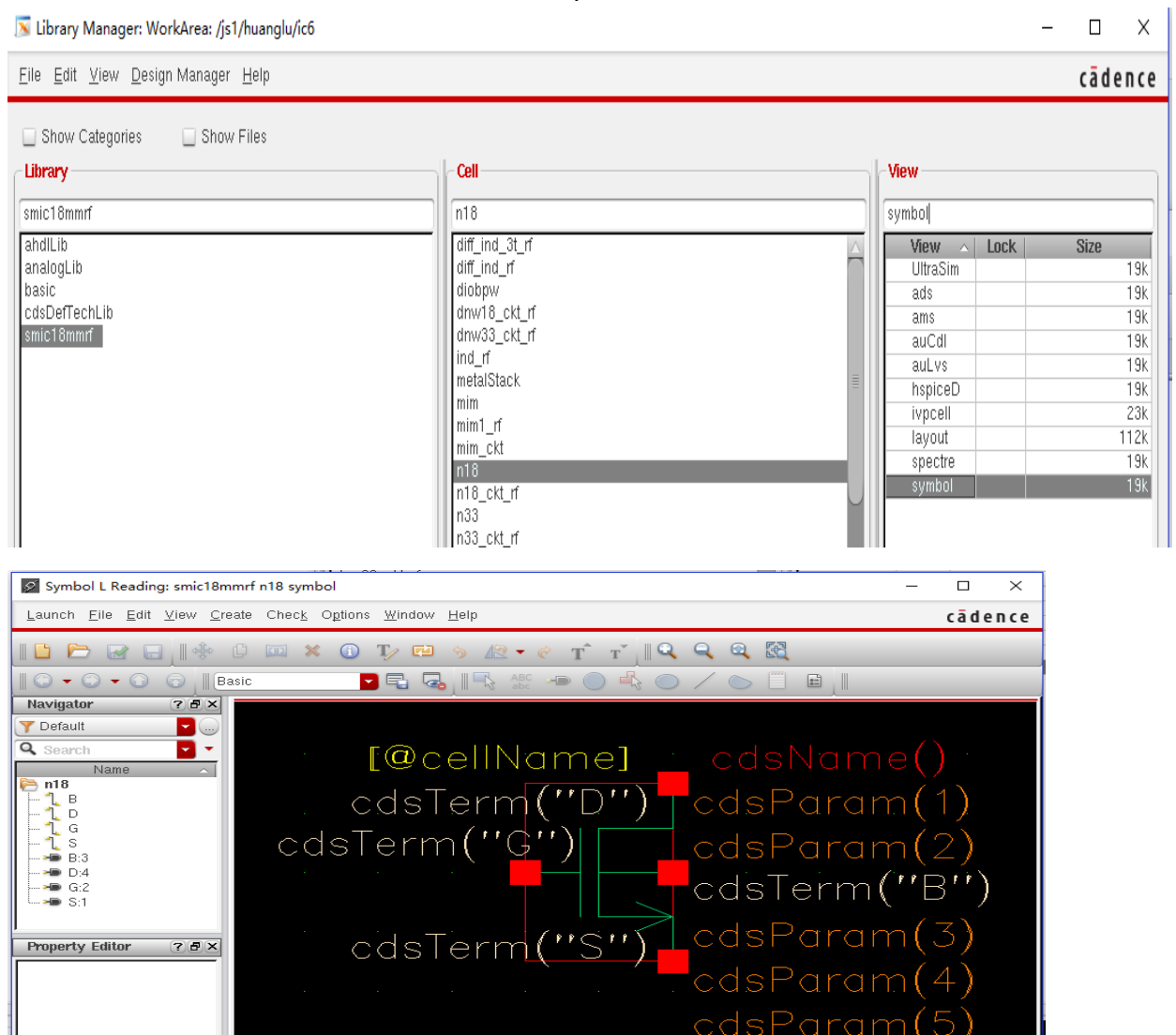
例如：对 basic 库 **gnd** 单元(Cell)感兴趣，选中 **symbol** 视图 (view)；保持鼠标在 **symbol** 位置上，点击**右键**弹出下拉菜单。因 **gnd** 单元不是自己所设计，故不得修改，只能使用 **Open (Read-Only)**进行浏览。如下图：



关闭刚打开的 Symbol 窗口，保持上图的 symbol view 选中状态。在 Cell 栏中分别点击 vdd（电源符号）和 vdc（直流电压）、vpulse（脉冲）、vpwl（折线）、vsin（正弦）等信号源，这些信号源常用于模拟电路仿真。注意 Library Manager 窗口右下方有 symbol 缩小视图。

B. 了解实际工艺库单元

参照下图选择 smic18mmrf 库 n18 单元 symbol，打开



由于是参数化单元(PCell)，Symbol 符号图中的各个 cdsParam 在电路添加器件（调用）时才确定。

关闭 Symbol 窗口。

查看 Labrary Manager 窗口中 smic18mmrf 库的 Cell，了解有哪些器件。

其中：

工艺库中以 r 为首字母命名的单元是各种电阻，名中 hr 为高阻；
以 n 为首字母命名的单元是 nmos，或直接命名 npn；p 开头单元同样；
单元名中有 18 和 33 分别表示 1.8V 和 3.3V；

与射频相关的单元名中有 ckt 或 ckt_rf, ckt 表示内部包含有子电路;
深 n 阱 dnw, var 可变电容, mim 电容, ind 电感, diff 表示差分;
二极管 dio, mvt 中等阈值 mos, nnt=native nmos 低阈值天然 nmos。

关闭 Library Manager 窗口, 退出 virtuoso。

在 Xshell 远程桌面中, 删掉你临时创建的 cdslib 目录 `rm -r cdslib`,
至此完成实验准备工作。

二、实验步骤

每次远程登录到中科大信息实验中心 EDA 平台后, 首先选择计算服务器(节点): `ssh -X c01n??` (??=01~14)。本次实验开始时已选择了某个计算服务器, 此步跳过;

1. 设置 EDA 软件环境:

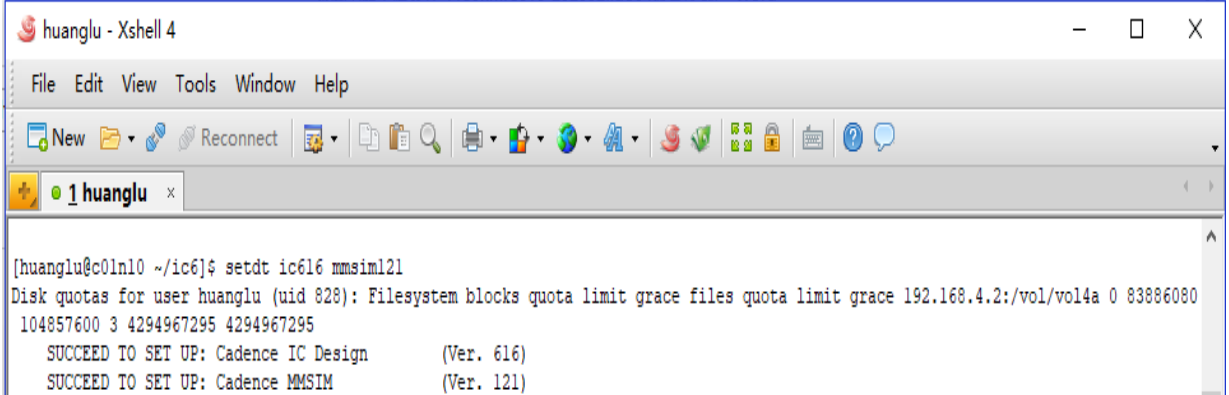
运行 Cadence 电路编辑和仿真软件前, 需要设置:

`setdt ic616` (为运行 virtuoso schematic 或 layout 编辑设置环境)

`setdt mmsim121` (为运行 spectre 电路仿真设置环境)

或合并为 `setdt ic616 mmsim121`

注: `setdt` 是中科大 EDA 实验平台的自定义脚本, 不是通用命令, 在其他环境下请咨询系统管理员。参考 `setdt` 后显示的 Examples, 了解其它软件运行环境的设置方法。



```
huanglu - Xshell 4
File Edit View Tools Window Help
New Reconnect
1 huanglu x
[huanglu@c01n10 ~/ic6]$ setdt ic616 mmsim121
Disk quotas for user huanglu (uid 828): Filesystem blocks quota limit grace files quota limit grace 192.168.4.2:/vol/vol4a 0 83886080
104857600 3 4294967295 4294967295
SUCCEED TO SET UP: Cadence IC Design (Ver. 616)
SUCCEED TO SET UP: Cadence MMSIM (Ver. 121)
```

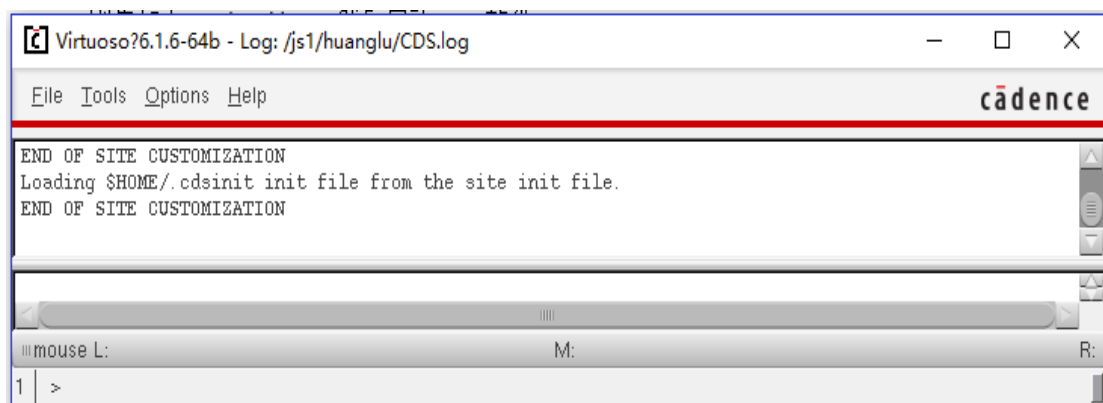
说明: 可以键入 `setdt` 可以查看中科大 EDA 中心安装的软件。

根据具体工作, 为其它 EDA 软件运行设置环境。例如, 使用 mentor calibre 进行物理验证, 则 `setdt calibre` 后再能启动 EDA 软件。

2. 启动 `virtuoso&` (&表示后台运行)

或 `virtuoso nohup &` (nohup 保障长时间仿真时不因断网而中止运行)

关掉 What's New... 窗口。

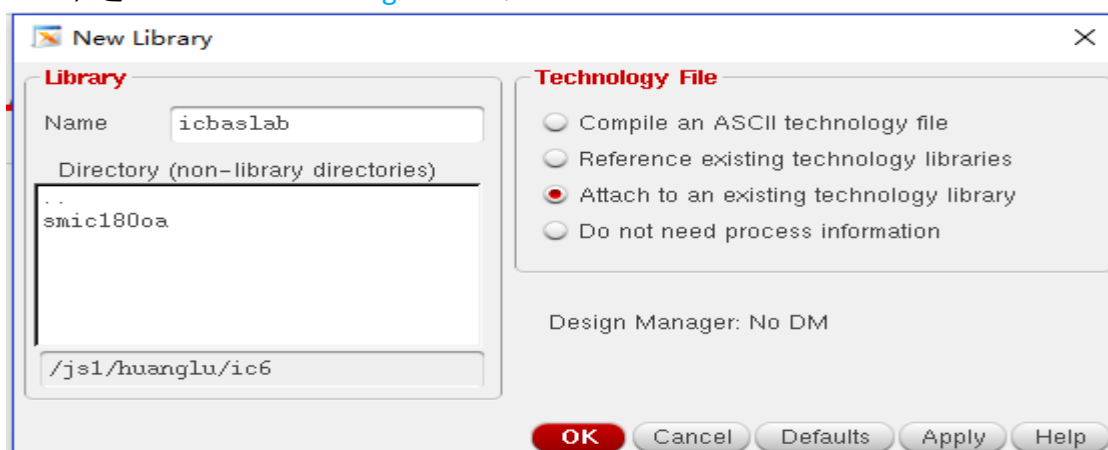


任何时候上图 virtuoso?6.1.6...窗口(CIW, 命令解释窗口)中间的运行进程提示框中, 若有黄色字体提示内容, 则说明运行遇到问题, 一般情况下需查看提示说明进行解决。

3.创建设计库 icbaslab

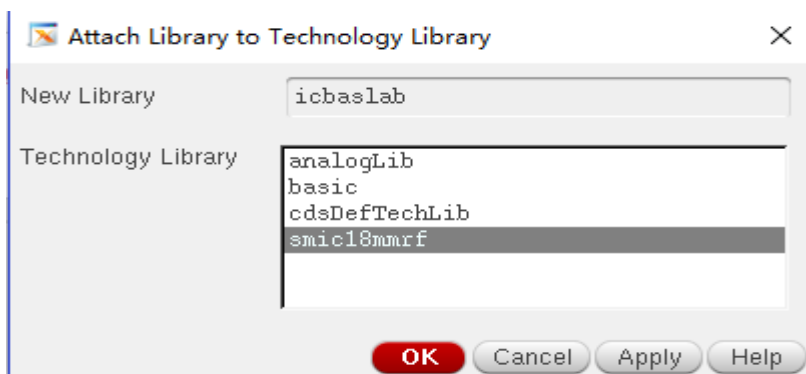
在 Virtuoso 窗口中, **File** → **New** → **Library...**,

在弹出的 New Library 窗口中, Library Name 键入: **icbaslab**, 并在 Technology File 中选 **Attach to an existing techfile**,



点击 **OK**。

以后实验步骤中凡点击 OK 操作, 不再指示。



选中 **smic18mmrf** 工艺库, 作为 **icbaslab** 库设计单元的关联工艺库。

4. 创建 MOStest 单元:

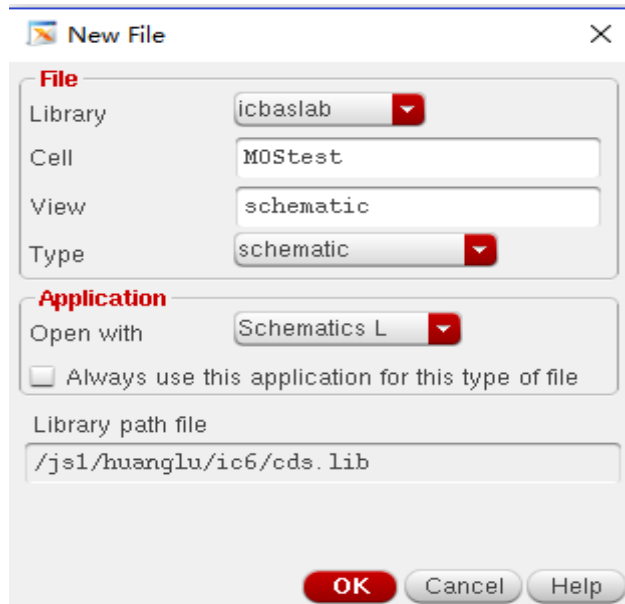
A.进入你的设计库:

在 Virtuoso?。。窗口，Tools -> Library Manager 窗口，选中 icbaslab 库。

B.创建单元

在 Library Manager 窗口，File→New→Cell View...

在 Cell 栏中，键入 MOStest （单元名任意命名，一般有功能提示意义），



出现 Schematic 编辑窗口如下:

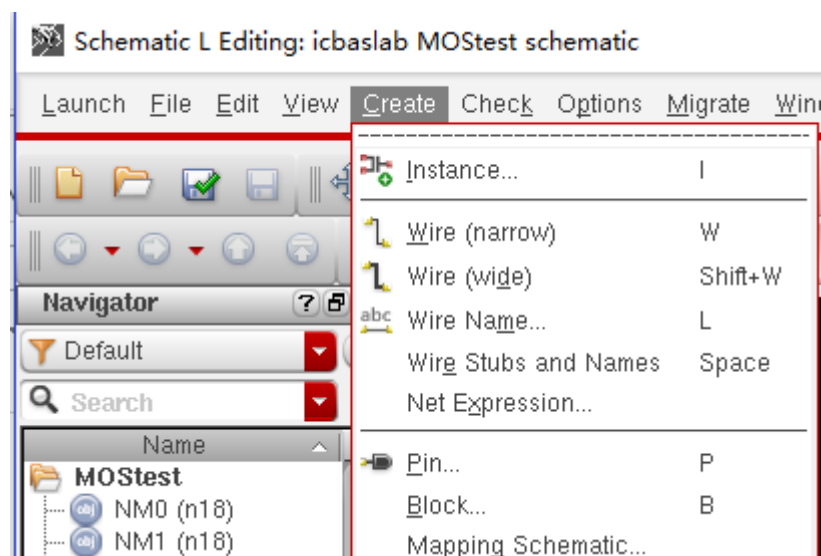
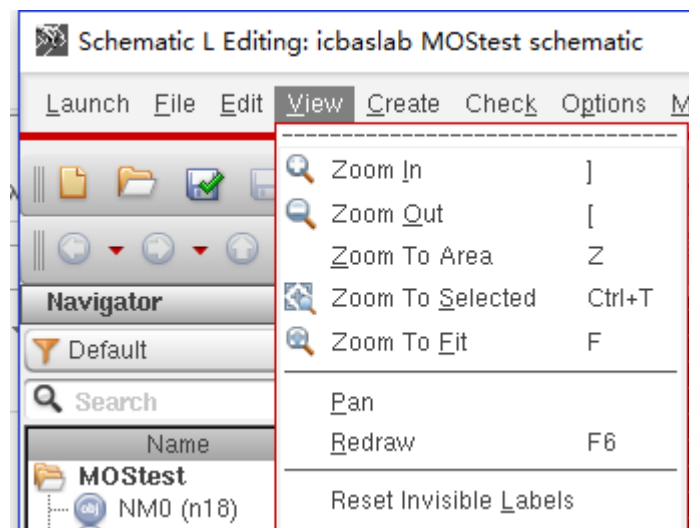
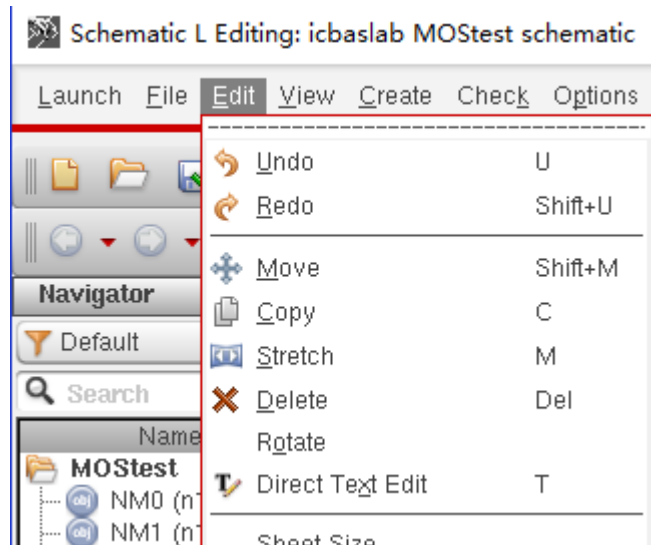


C. 熟悉 Schematic L 编辑设计界面

说明:

可以使用下拉式菜单选择其中的操作，也可以点击常用工具栏中的工具图标（鼠标放上有功能提示），熟练者会更多地使用快捷键进行常用操作。

下拉菜单中每个功能的右边表示的键盘字母，即为对应功能快捷键。常用 Edit、View、Create 操作 菜单，如下图:



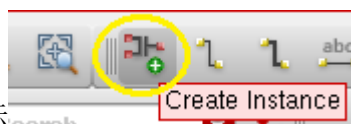
D. 输入 schematic 电路图

说明：对于完成一种操作，EDA 工具一般均有多种方法。本指导教材在实验步骤中，任意使用了其中一种方式，并非唯一方法。

小技巧：

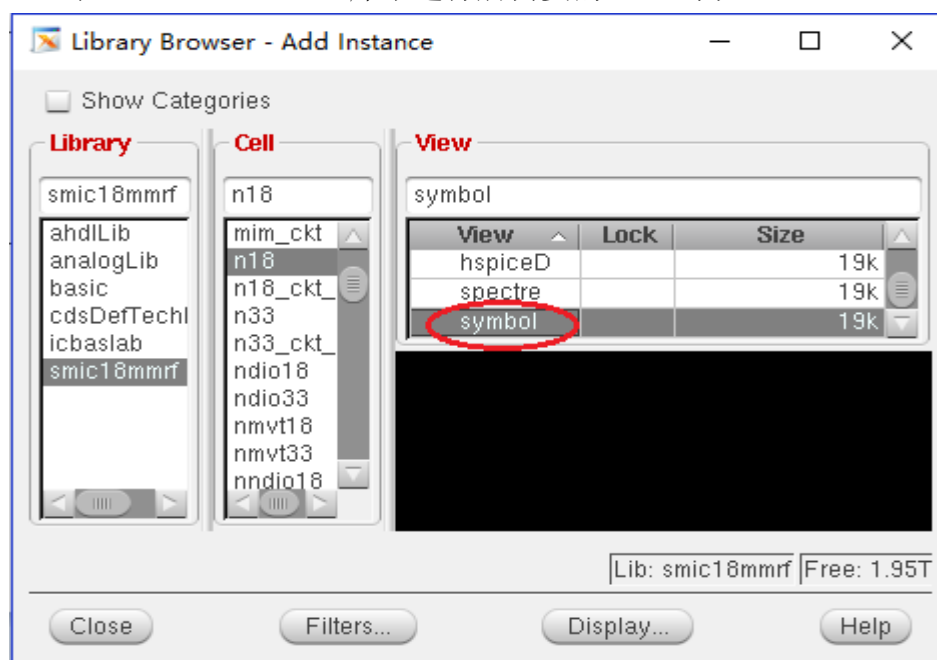
在原理图编辑或版图编辑时，用 **ESC** 键取消当前操作。每次操作之后及时按键 **ESC** 可防止下一步误操作，有利而无害。

输入（编辑）电路图，首先选用器件和放置器件，不连线。



在 Schematic L 窗口，**Create Instance** 图标（或用菜单 **Create** → **Instance**，或 **I** 键），**Browse** 选库；

在 smic18mmrf 工艺库中选择所需要的 MOS 单元（Cell），view 选中 **symbol**。



（说明：0.13um 之后均有 OA 库，上图 View 面板下方有 symbol 符号提示。）

可以不修改任何器件参数和摆放方向，先放置缺省参数器件，用 **ESC** 键退出当前操作；然后鼠标选择器件，用 **Q** 键逐个修改属性参数。

也可以在 **Add Instance** 窗口进行参数设置：

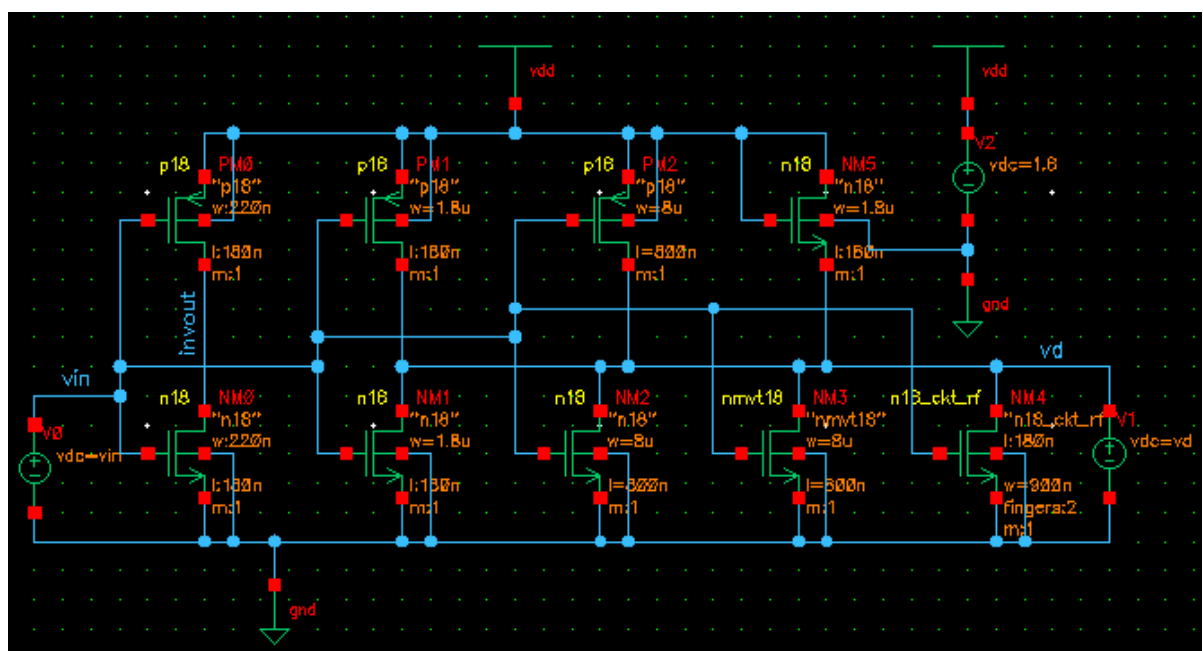


可以修改 Length、Width 等参数以及摆放方向，在 Schematic L Editing 窗口中摆放器件；然后回到 Add Instance 窗口，Browse 选下个器件，或修改尺寸与放置方向，再添加到 Schematic L Editing 窗口中；如此反复完成器件选用。

ESC 键取消当前操作。

点击 Add Instance 窗口底部的 Hide，使其隐藏。

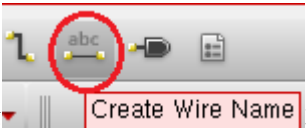
参考下图画出 MOStest 单元的 schematic，按表 3.1 给出的器件尺寸。



添加 nmos 和 pmos 管之后，**I** 键(添加，Create Instance)，在 basic 或 analogLib 理想单元库中找到 vdd（电源，自动成为符号尾加！全局变量）和 gnd（地，全局变量 gnd!），可添加多个；并加上直流 vdc 激励信号源。



最后连线用 **W** 键或工具图标 连线；使用 **L** 键或



工具图标 标注上图中 **vin**、**invout** 和 **vd** 线网名。

为了你设计的 MOStest 电路图中器件编号与表 1.1 对应，需要重新顺序编号
Edit→Renumbr Instances...

在弹出窗口中，**Sequence instances by** 栏中选: **X+Y+**，如下图：

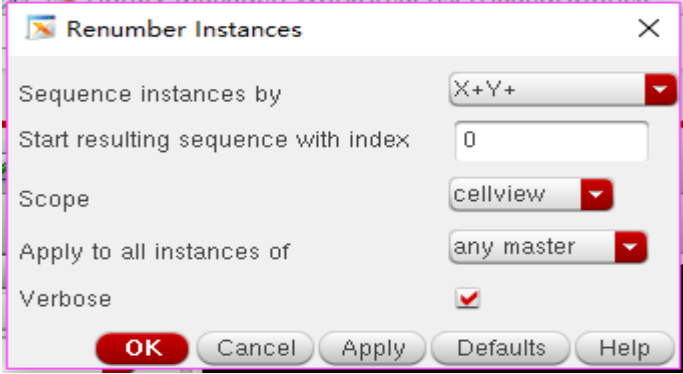


表 3.1 icbaslib 库 MOStest 单元(cell)电路器件：

器 件 标号	单元名	Length	Total Width	Multiplier /Fingers	目 的 说 明
NM0	n18	180n	220n	1/1	最小尺寸
NM1	n18	180n	1.8u	1/2	获取数字电路设计参数
NM2	n18	800n	8u	1/2	可用于模拟电路设计
NM3	nmvt18	800n	8u	1/2	获取模拟电路设计器件参数
NM4	n18_ckt_rf	180n	1.8u	1/2	了解射频管特点，注意寄生电容
NM5	n18	180n	1.8u	1/2	获取衬偏效应阈值电压，右上
PM0	p18	180n	220n	1/1	组成最小尺寸反相器，了解特性
PM1	p18	180n	1.8u	1/2	10 倍 W/L，获得工艺跨导
PM2	P18	800n	8u	1/2	可用于模拟电路设计
V0	vdc	vin （变量）			DC voltage = vin，线网名 vin
V1	vdc	vd （变量）			DC voltage = vd，线网名 vd
V2	vdc	1.8			DC voltage = 1.8，电源电压

激励电源 V0 和 V1（vdc 单元）DC voltage 设置成变量，是为了进行电压扫描；而线网名仅是为了直观显示仿真波形，不必要与电源的变量名相同。

电路完成后  Check and Save, 而  Save 未完成电路。

注意：仿真前电路若有改动，都要在 schematic 窗口进行 **check and Save**。

Schematic 电路原理图设计常用操作提示：

在 schematic 中添加元件时，**View** 为 **symbol** ，

*退出任何当前操作：**ESC** 键；

*添加器件：**I** 键；

*参数修改：鼠标选中器件后，**Q** 键；

*移动：**M** 键后选中器件，移动；

*旋转：先 **M** 选中器件，然后 **R** 逆时针旋转、或 **Shift +R** 左右转置、或 **Ctrl+R** 上下转置；

*删除：**Delete** 键；

*使窗口图形适中：**F** 键；

*放大任意区域：鼠标右键按住，从左上到右下圈定需要放大的区域；

*拷贝器件：**C** 键后选中被拷贝器件；

*反悔（取消先前操作）：**U** 键(或 Undo 工具图标)次数有限（例如 20，根据设置）



5. spectre 仿真：DC 分析（为获取工艺参数）

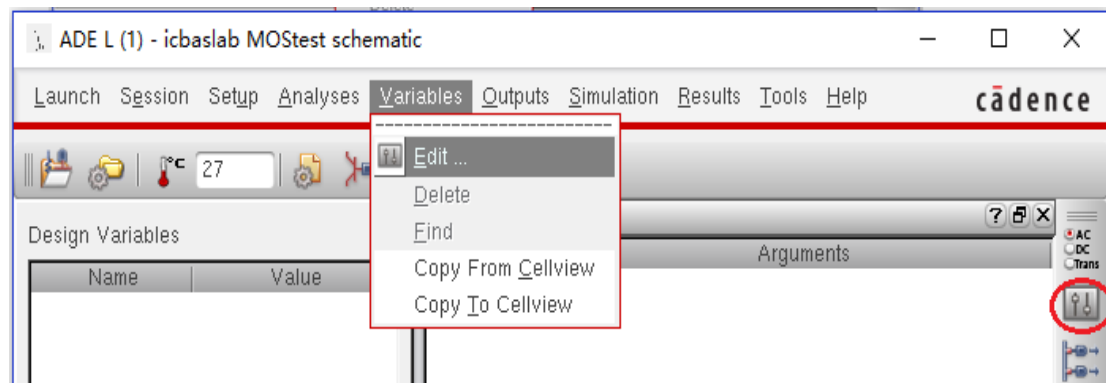
A. 进入 ADE L 仿真窗口：

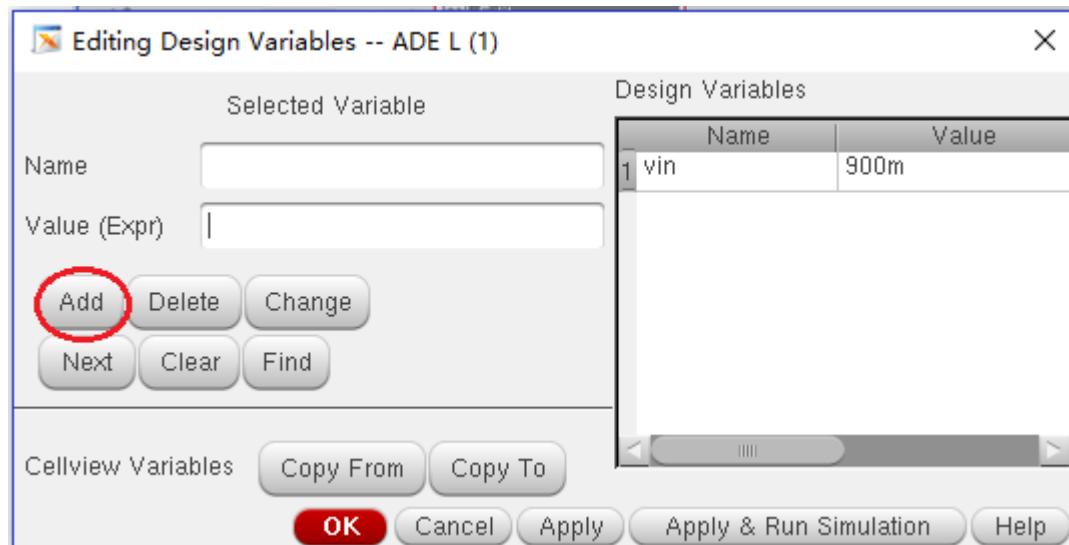
在 Schematic L Editing 窗口，**Launch**→**ADE L**。

弹出 Analog Design Environment 即 **ADE L (1)**-库名 单元名 schematic 窗口：
原 Schematic L Editing 自动与 ADE L 窗口关联，改名为 ADE L Editing 窗口。

B.设置用于扫描仿真的变量：

选右侧 **Edit Variables** 工具图标或菜单工具栏中 **Variables->Edit...**，





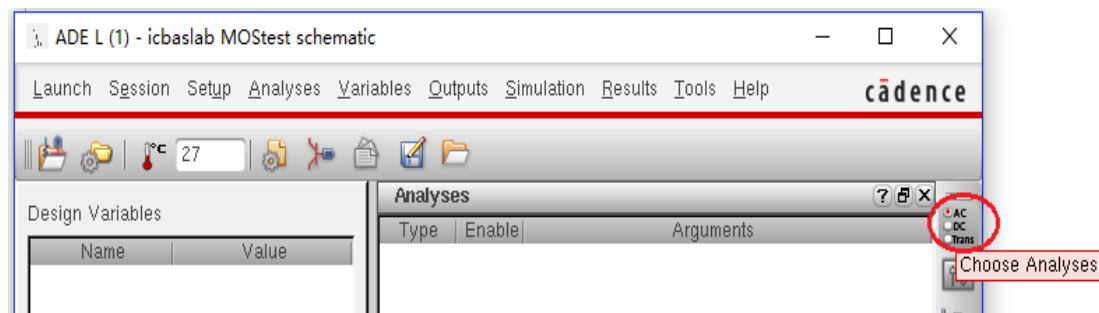
Name 栏: **vin**

Value 栏: **0.9** (DC 工作点, 与扫描无关)

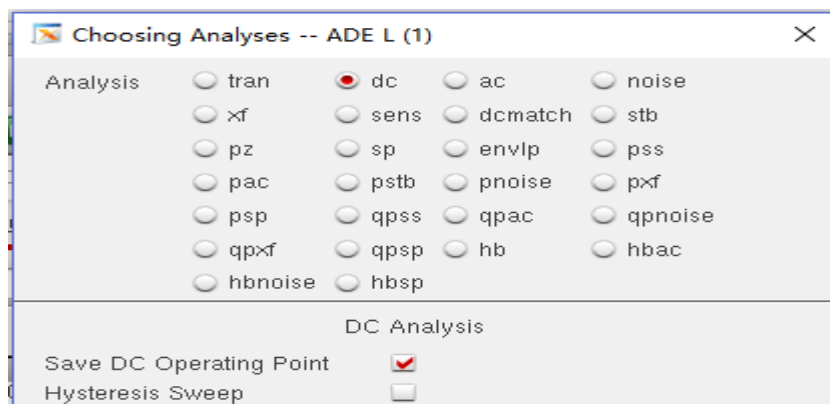
Add 后如上图。

再次, Name = **vd**, Value=**0.9**, Add。

C. 在 ADE L ()-库名 单元名 schematic 窗口中, 选择 DC 仿真分析:
选 **Choose Analyses** 工具图标,

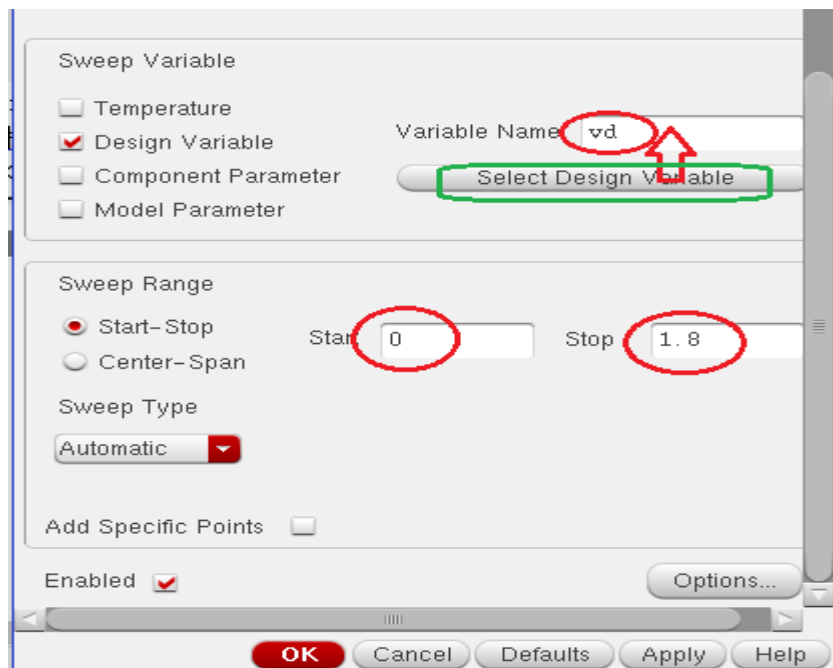


在 Choosing Analyses 窗口中选中 **dc** 和 **Save DC Operating Point** 有效:



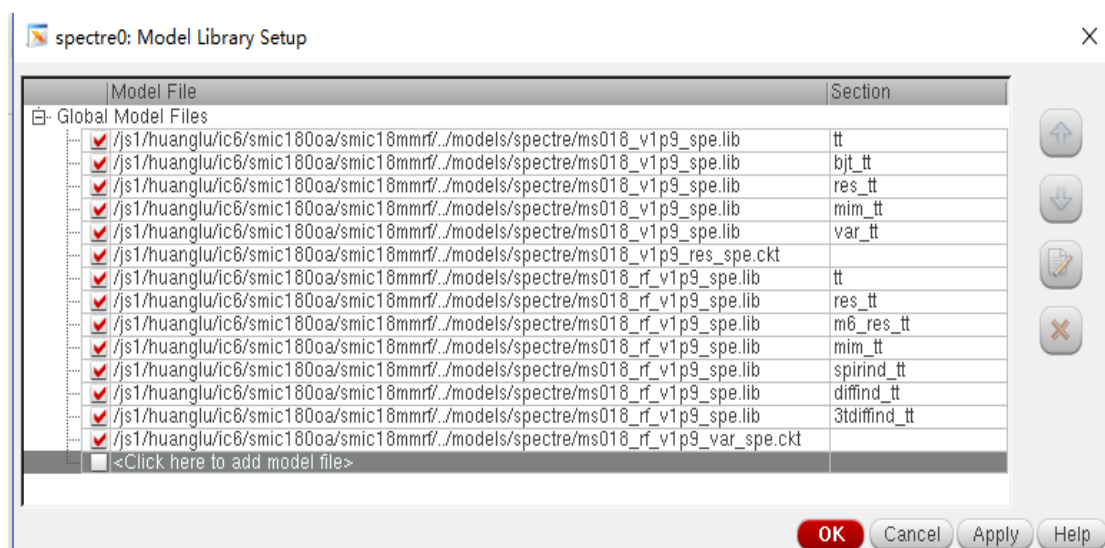
并且选中 **Design Variable** 有效, 设置变量 **vd** 或点击 Select Design Variable 选择, 设置其扫描范围: **0~1.8**

Choosing Analyses 窗口下方 Sweep 栏如下图:



D. (选做) 查看仿真工艺角

ADE L (-)库名 单元名 schematic 窗口中, **Setup** → **Model Libraries..**,



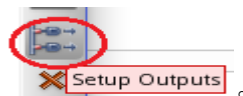
表明当前仿真的 section 工艺角缺省设置均是 tt (type)。

mos 有 5 种 section 工艺角 tt, ff, ss, fnsp, snfp 以及 mc 蒙特卡罗仿真;

三极管 bjt、二极管 dio、电阻 res、电容 var 和 mim、各种电感 ind 只有 3 种 section, 分别为 tt, ff, ss;

E. 在 ADE L (-)库名 单元名 schematic 窗口菜单工具栏中设置输出(显示波形):

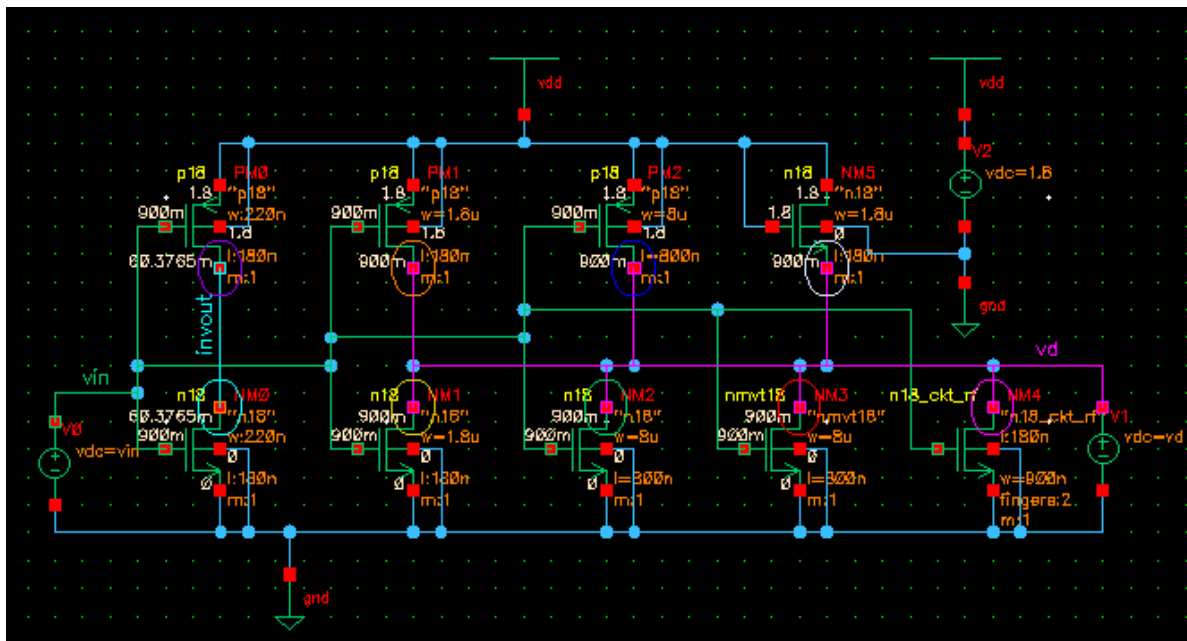
菜单 **Outputs** → **Setup** 或右侧 **Setup Outputs** 图标



在 **Setup Outputs** 窗口中, 点击 **From Schematic**,

然后在电路图中点击选中线网和端口 (不选 vdd 和 gnd) 如下图 (与选择

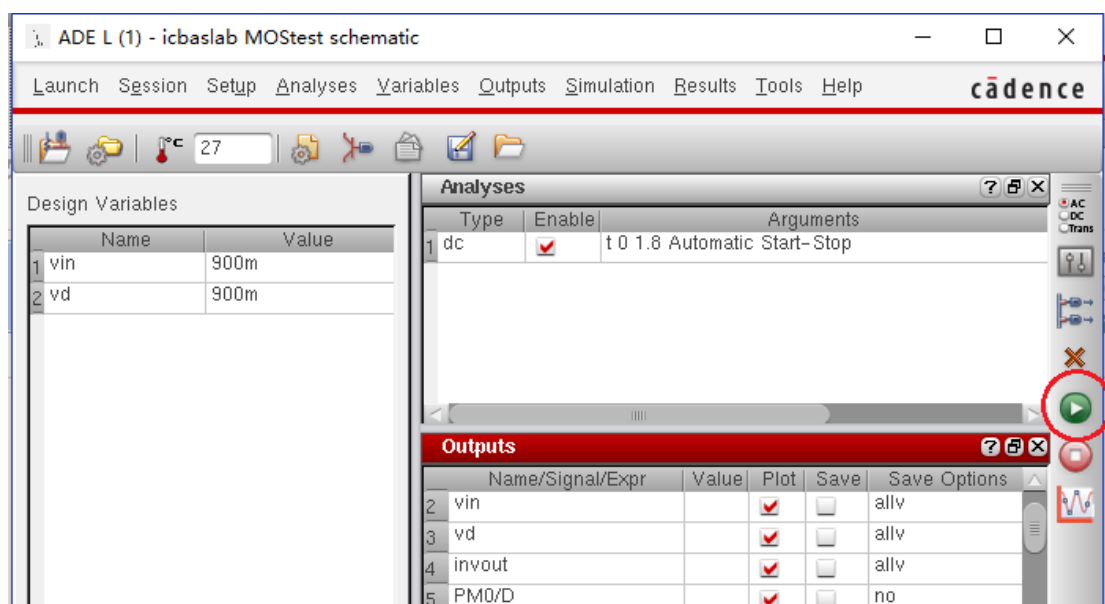
点击端口为电流，点击网线为电压。



保存所设置的仿真条件，以便下次仿真能恢复设置进行重复仿真：

若下次实验时需重复仿真，当步骤进行到在 Schematic L Editing 窗口 **sch**→**ADE L** 后，在 ADE L()-库名 单元名 schematic 窗口 **Section -> Load State...**，可自动恢复先前的仿真设置。

ADE L()-库名 单元名 schematic 窗口中 Outputs 栏 Plot 应有效, Netlist and Run



G. 查看仿真波形

仿真结束后出现 Virtuoso Visualization & Analysis XL 窗口显示波形图，可点击右上 **Split Current Strip** 工具图标（下图红圈），分开各个波形，信号波形排列顺序与 ADE L（）窗口中 Outputs 表一致：



点击左侧“眼睛”，可隐藏和显示相应波形；

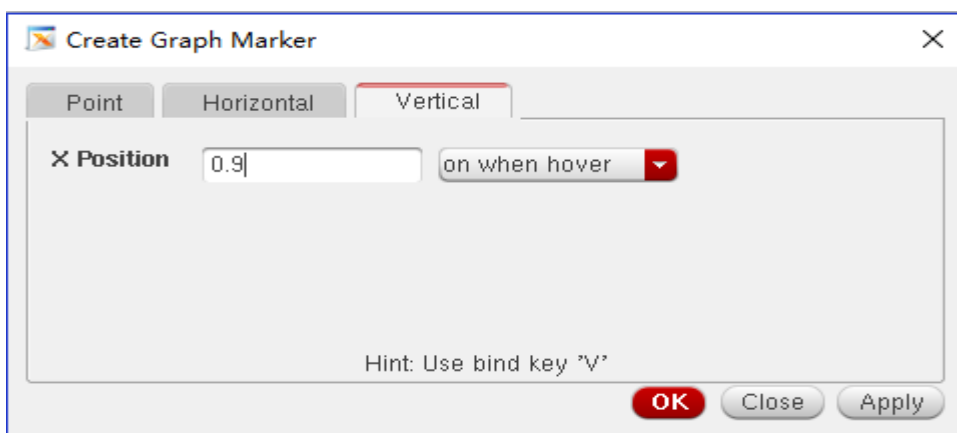
范围条框（上图中的黄色标记，左右 2 边）用于放大/缩小局部横坐标范围。鼠标按住边框拖动，或在范围条栏内右键，再选择相应的 zoom 操作。

拖动若对某信号感兴趣，则将光标放在该信号的波形曲线上，随光标显示横坐标（上方数字，本例为 vd 扫描电压）和信号计算值（下方数字）。

在波形图上标记关注点的数值（垂直线）：

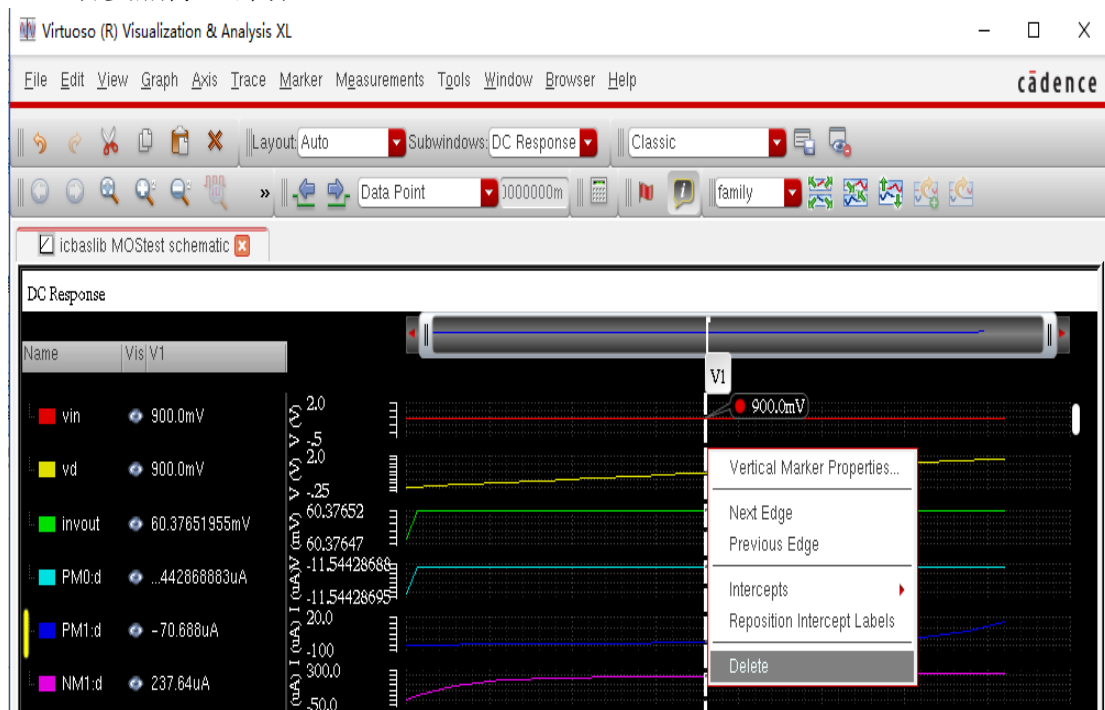
*若在指定扫描电压位置处标记各信号值：

Marker-> Create Marker...

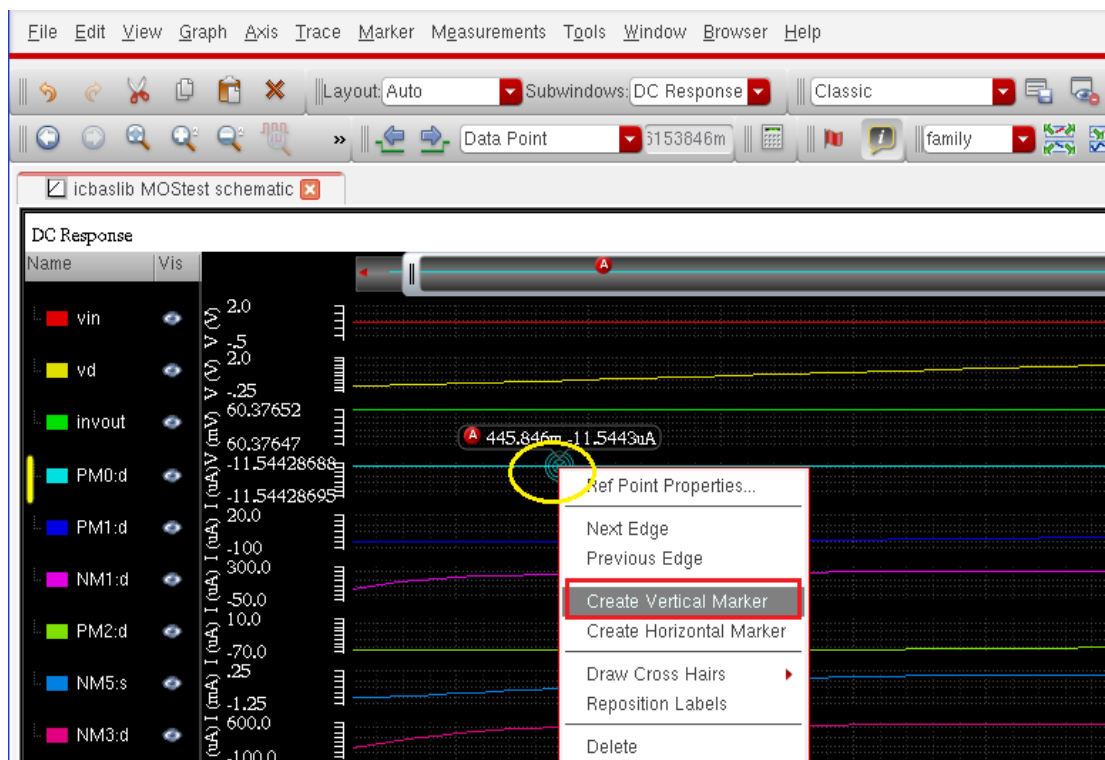


在指定 XPosition 处的波形图上有垂直标记线，显示各曲线的对应数值；鼠标离开，数值隐藏；鼠标放在垂直线，数值重现；

若要删除波形上的垂直标记线：光标放在垂直线上，鼠标右键，选 **Delete**。
若要删除全部标记：**Marker→Delete All**



*若要在任意处或多处标记：
光标放在任意曲线上，**A** 键，出现圆圈并显示该点横纵数值，在该圆圈处右键，选 **Create Vertical Marker**（下图），然后拖动垂直线到你希望的扫描点位置。

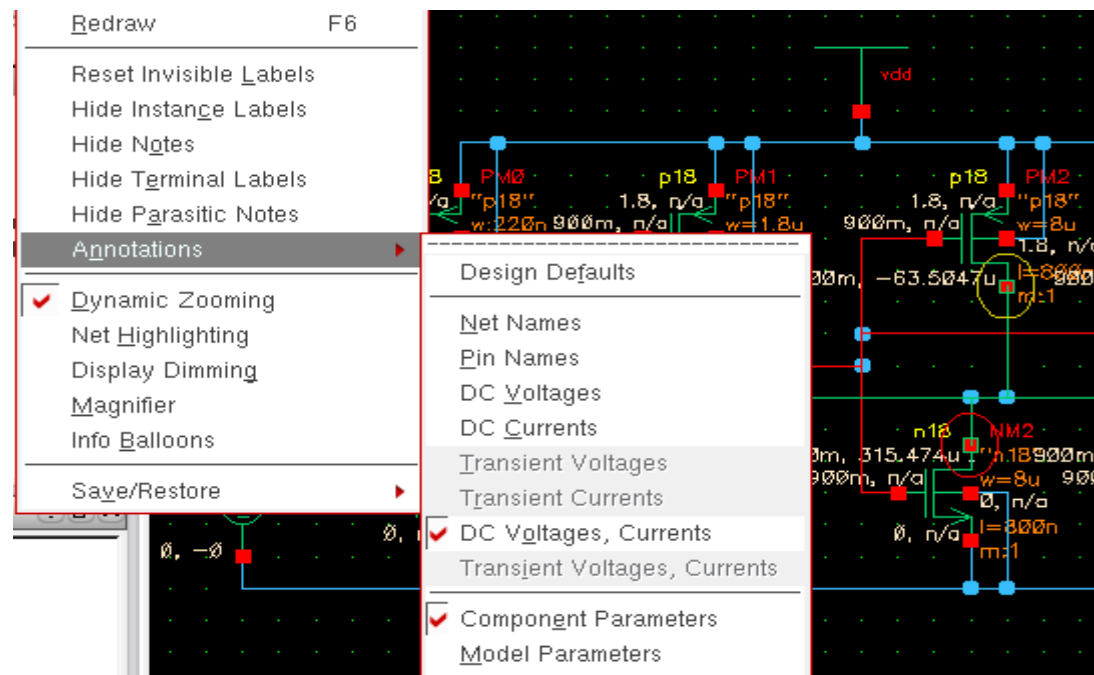


6. 电路图上标注工作点

在 ADE L Editing: 库名 单元名 Schematic 窗口, **View**→**Annotations**→ **DC Operating Points** 进行标注。

若要查看器件尺寸, 则点击使 **Component Parameters** 有效;

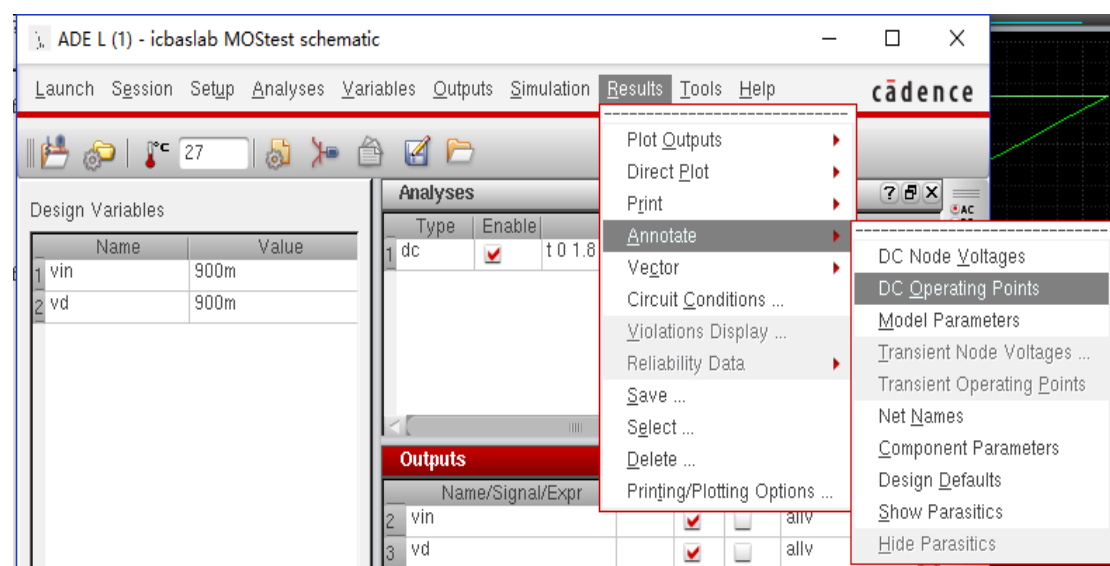
若要查看端口电压和先前 **Setup Outputs** 设置的端口电流, 则点击使 **DC Voltages, Currents** 有效, 如下图;



取消参数标注: 点击菜单选项前勾号 ✓ 使之消失。

7. 查看 MOS 管工艺参数:

在 ADE L ()-库名 单元名 Schematic 窗口, **Results**→**Print**→**DC Operating Points**。



在 ADE L Editing: 库名 单元名 schematic 窗口的电路图中, 点击 NM0, 弹出 Results display Window 窗口。

根据 Results display Window 窗口给出的 MOS 管工作点参数，填写表 3.2 中
所列器件参数。

可清除 Results display Window 的先前器件参数，**window→clear**；
然后在 ADE L Edit: 库名 单元名 schematic 窗口的电路图中，可参考表 3.2
中的 MOS 管顺序选下一个 MOS，该管参数显示在 esults display Window 窗口中。
表 3.2：填表保留 4 位有效数字，省略“-”号，“--”栏不填。

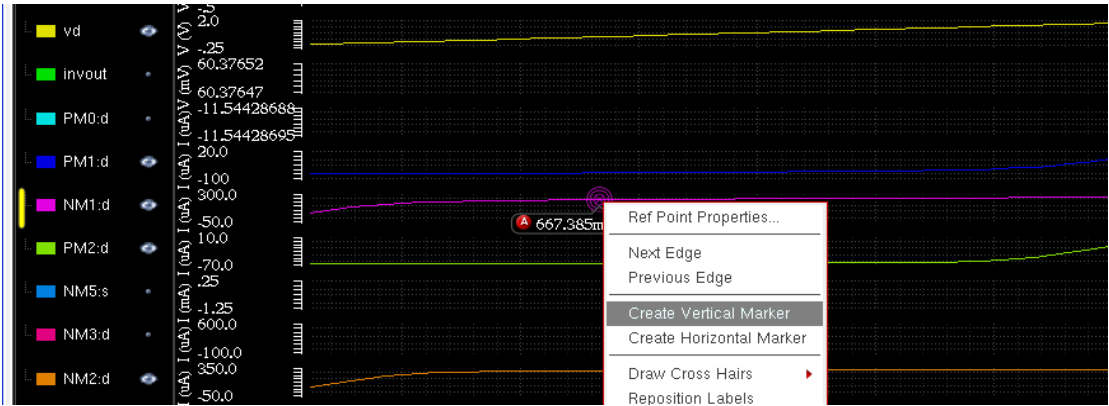
器 件 标号	单元名	w/L (um)	betaeff	cgd	cgs	gm	id (uA)	Vth (mV)
NM0	n18	0.22/0.18				--		
PM0	p18	0.22/0.18				--		
NM1	n18	1.8/0.18						
PM1	p18	1.8/0.18						
NM2	n18	8/0.8						
PM2	P18	8/0.8						
NM3	nmvt18	8/0.8						
NM4	n18_ckt_rf	1.8/0.18						
NM5	n18	1.8/0.18						

关闭 Results display Window。
Results display Window 给出的工作点数据，由 vin=0.9V，vd=0.9V 得到。
查看一下，射频管 n18_ckt_rf 与普通 n18 管相比，cgd 有什么特点？

说明：数字中的 m、u、n、p、f、a 表示 10 的-3、-6、-9、-12、-15 和-18 次方。
其中： $\text{betaeff} = \mu \cdot \text{Cox} \cdot W / \text{Leff}$ (A/V²)，**Leff** 可近似为 **L**；
Region 是 MOS 管工作区域，2 表示饱和区，0 截止区，1 三极管区，3 亚阈
值区，4 击穿。

8. 从波形图上获得 MOS 输出电阻 ro 和沟道长度调制系数 λ

计算 n18 和 p18 分别在沟道长度为 180nm 和 0.8um 时的 λ。
在波形图窗口，使 invout、NM0、PM0、NM3、NM4、NM5 无关波形“闭眼”。
鼠标放置在任一曲线上，**A** 键，在出现的圆圈上点鼠标**右键**，选 **Create Vertical
Marker**，拖动垂直标线到 vd 约 1V 位置，NM1:d、PM1:d、NM2:d、PM2:d 的电
流值和 vd 值填写到表 3.3；



鼠标放在波形曲线上，**B** 键，右键生成垂直标线并拖到到横坐标 Vd 约 0.8V
位置，填写表 3.3。

选择 $v_d=0.8\sim 1V$ 原因是 MOS 输入 $0.9V$ ，输出 v_d 中心点 $0.9V$ 测量参数较好，且 i_d 可利用表 3.2 数据。

计算： $r_o=(V_{d1}-V_{d2})/(I_{d1}-I_{d2})$ ；注意 PMOS 电流是负值。

$$\lambda = \frac{1}{r_o I_d}$$

取 $V_d=0.9V$ 时 I_D 计算

表 3.3 估算 r_o 和 λ

mos		A 处(垂线 V1)		B 处(垂线 V2)		ro K Ω	Id(uA) Vd=0.9	λ 保留 3 位
器件	W/L	Id1(uA)	Vd1	Id2(uA)	Vd2			
NM1	1.8/0.18							
PM1	1.8/0.18							
NM2	8/0.8							
PM2	8/0.8							

若要删除波形上的测量值标注，Marker→Delete All。

9. 退出实验时保存仿真设置 state

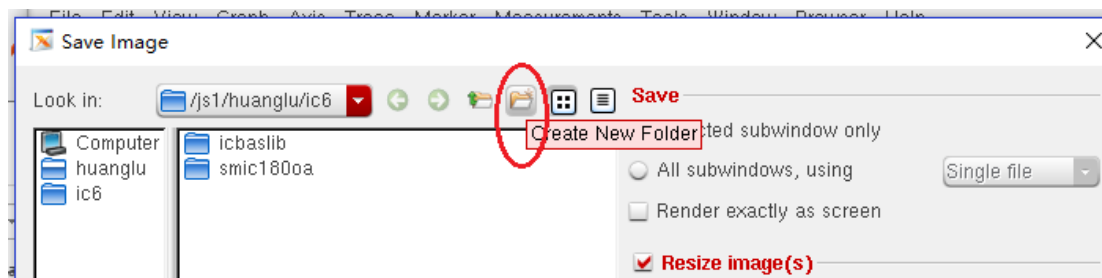
A.可以保存仿真设置：

如前述，在 ADE L () 库名 单元名 schematic 窗口，Session→Save State...。以后 Load State 即可重复仿真。

B.若要保存仿真图像结果

保存波形的目的是撰写设计工作文档。

Virtuoso(R) Visualization & Analysis XL 波形窗口中 File→Save Image...



可以创建一个新文件夹专门保存图像，Create New Folder 产生一个新文件夹 New Folder，改成有意义的名字。

双击目录名，Look In 栏中的路径随之改变；

在 File Name 栏中输入波形图文件名，有多种图形文件格式可选。

Save Image 对话框底部如下图： Save



C.关闭波形显示、ADE L 仿真窗口、ADE L () 仿真窗口、Schematic 电路图窗口、Library Manager 窗口、Virtuoso 窗口，最后退出 Xshell 远程桌面。

至此完成实验一步骤，申请实验教师或助教查看电路图、仿真设置与结果。

➤ **复工指南：**如中途因故退出 EDA 平台，需重新实验：

选择计算服务器节点 `ssh -X c01n??`（??=01~14）若仍是远程登录则无需设置环境 `setdt ic616 mmsim`

运行 `Virtuoso&`后打开 MOStest 单元：Tools→Library Manager，在 Library Manager 窗口中，选 icbaslab 库—>MOStest 单元，双击 schematic 视图(view)。

若先前已设置仿真并保存 Save State...，则在 schematic 窗口 Launch→ADE L 进入 ADE L()仿真窗口，Session—>Load State...，继续前次设计或仿真。

● 实验报告要求

1. 规定实验报告文档名：**实验一+学号姓名**，后续实验报告文档名如法炮制。
2. 根据仿真结果填写或计算表 3.2 和表 3.3 所要求的参数；
3. 回答提问：
 - A) nmvt18 和 n18 管的阈值电压大约相差多少？
 - B) 根据表 3.2，n18 的衬偏（体）效应使阈值电压增大了多少？
4. 简要给出设置 spectre DC 仿真的主要软件使用步骤（相关的菜单选择和参数设置）流程。