



**国家集成电路人才培养基地
培训资料(2)**

基本模拟电路实验

2006-7

目 录

基本模拟电路实验..... I

实验 1 二极管的 I-V 特性 1

 1.1 电路图..... 1

 1.2 设置各元件参数..... 1

 1.3 设置仿真参数..... 3

 1.4 电路仿真..... 5

实验 2 BJT 和 MOS 晶体管的 I-V 特性..... 6

 2.1 BJT 晶体管的 I-V 特性..... 6

 2.2 MOS 晶体管的 I-V 特性..... 9

 2.3 MOS 晶体管参数观察 13

实验 3 MOS 晶体管电容测试 体效应学习 15

 3.1 MOS 晶体管栅源电容测试 15

 3.2 体效应..... 18

 3.3 MOS 晶体管电容测试 20

实验 1 二极管的 I-V 特性

本实验的目的在于学会用 Cadence 观察二极管的 I-V 特性。

1.1 电路图

按照图 1.1 所示画出电路图。所用的元件分别是 analogLib 库中的 vdc、res、diode 和 gnd。

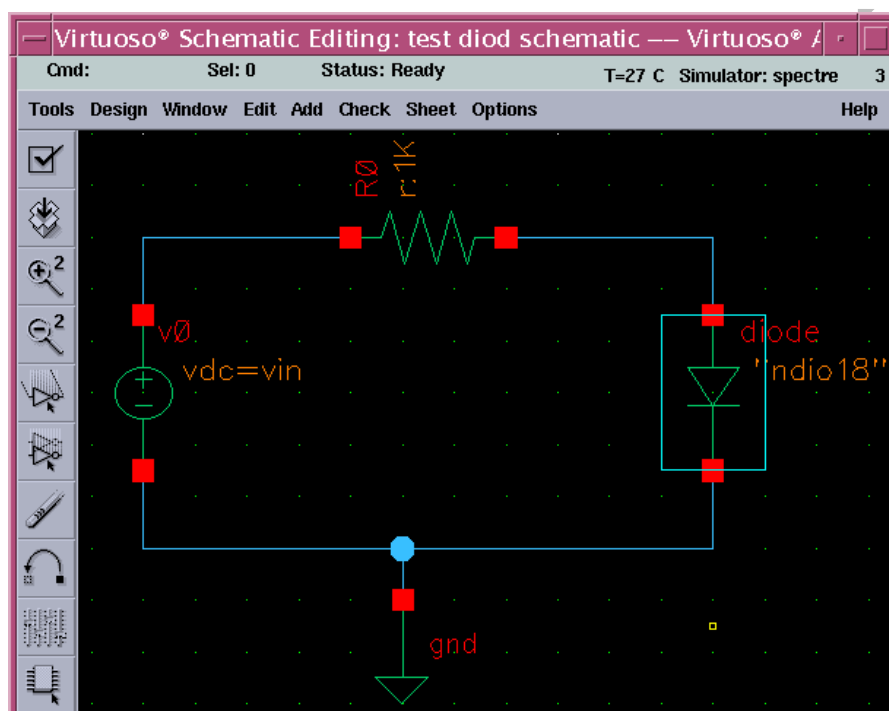


图 1.1 二极管的仿真电路图

1.2 设置各元件参数

在这里要设置二极管的参数、电压源的参数和电阻的参数。

二极管的参数设置如图 1.2 所示，在 Model name 栏填入 ndio18，说明用的是 1.8V 的电源电压，并且是 n⁺/pwell 二极管，在 Multiplier 处填入 1 (这代表此电路中用的二极管并联个数为 1)，其它参数都采用默认设置。

Property	Value	Display
Library Name	analogLib	off
Cell Name	diode	off
View Name	symbol	off
Instance Name	diode	off

CDF Parameter	Value	Display
Model name	ndiode	off
Device area		off
Junction perimeter factor		off
Length		off
Width		off
Multiplier	1	off

图 1.2 二极管参数设置图

电压源的参数设置图 1.3 所示，在 DC voltage 处填入 vin (填入变量是为了要做直流扫描)

Property	Value	Display
Library Name	analogLib	off
Cell Name	vdc	off
View Name	symbol	off
Instance Name	v1	off

User Property	Master Value	Local Value	Display
Ivsignore	TRUE		off

CDF Parameter	Value	Display
AC magnitude		off
AC phase		off
DC voltage	vin	off

图 1.3 电压源参数设置

电阻的参数设置如图 1.4 所示，在 Resistance 后面的框中输入电阻值(默认为 1k，此处采用默认值)。

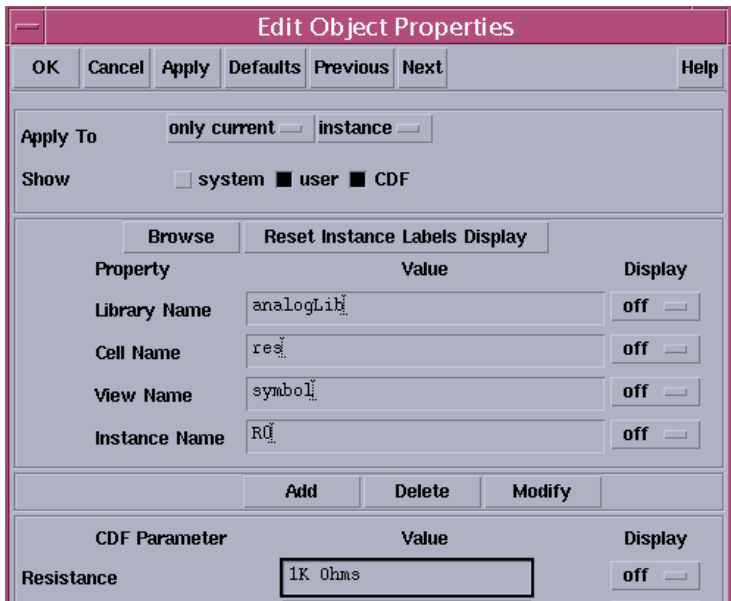


图 1.4 电阻参数设置

1.3 设置仿真参数

在原理图编辑框中，选 Tools→Analog Environment, 打开 ADE 对话框。

①设置库路径。在 ADE 窗口中,选 Setup→Model Libraries, 在 section 项填入工艺角 tt(典型工艺角), 然后让光标停留在 Model Library File 框中, 点击右下角的 Browse, 然后选择以下文件作为仿真模型库文件:

/cad/smic018_tech/Process_technology/Mixed-Signal/SPICE_Model/ms018_v1p6_spe.lib

然后点 Add, 得到如图 1.5 所示对话框: (最后点 ok 设置完毕)

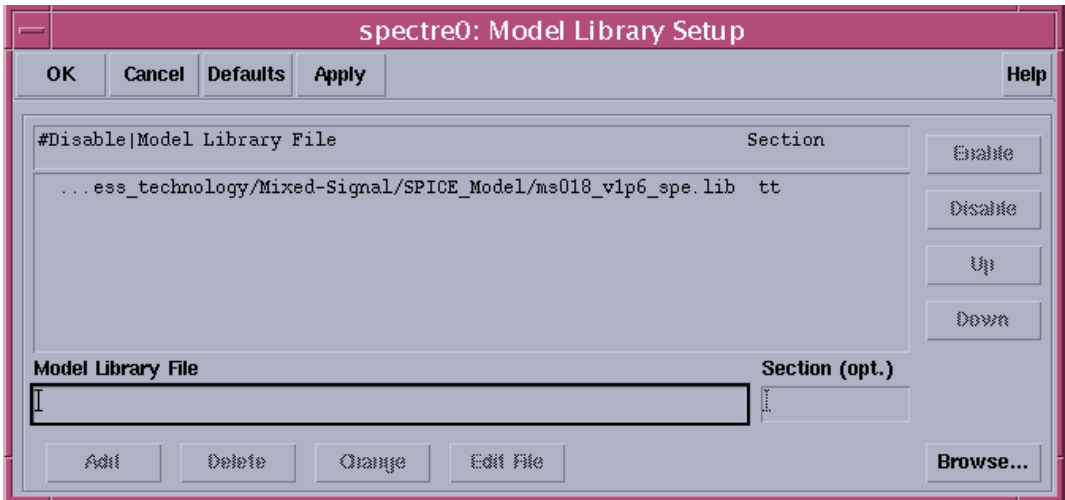



图 1.5 库路径设置



②编辑变量。在 ADE 窗口中点  按钮，就会弹出 EDV 窗口，然后在此窗口中点 Copy From，会自动从原理图中提出相应的变量，我们前边的 vin 会被自动提出。将其初始值设置为 0，初值可以任意，但一定要有，否则仿真会出错，如图 1.6 所示。

③选择分析类型。在 ADE 窗口中选 Analyses→Choose，就会弹出分析类型对话框(即 CA 窗口)，然后选中 dc，Save DC Operating Points(为了方便观察管子的工作点而选)，在 Sweep Variable 栏中选择 Design Variables，然后于 Variable Name 栏输入要扫描的变量 vin，具体设置如图 1.8 所示：(表示对 vin 做直流扫描，从 0 到 1.8V)最后点击 ok 设置完毕。

④输出设置。在 ADE 窗口中，选 Outputs→To Be Plotted→Selected On Schematic。然后在电路图中选择想要观察电流的结点，本实验选二极管的阳极(注意：观察电流点击元件的 pin 脚，会出现一个彩色圆圈；观察电压点击相应的连线，连线会改变颜色)，选择完成后按键盘上的 ESC 键退出选择输出状态。在 Analog design environment 窗口中的 Outputs 输出部分就可以看到我们所选择的点。然后选 Outputs→To Be Plotted→Add To 保存输出。点击 Seession→Save State 保存当前仿真设置。完整的设置好的 ADE 对话框如图 1.7 所示：

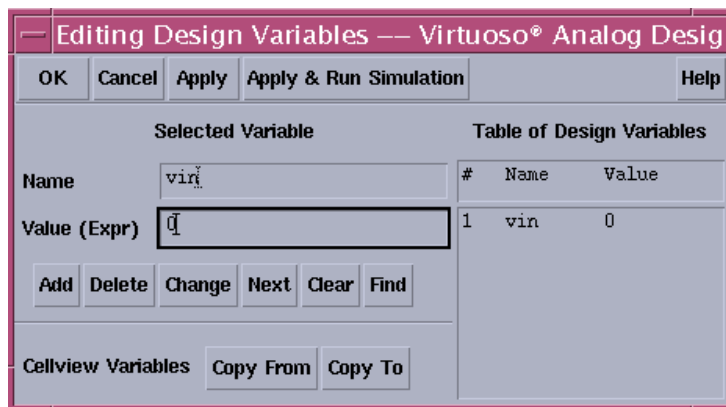


图 1.6 变量设置

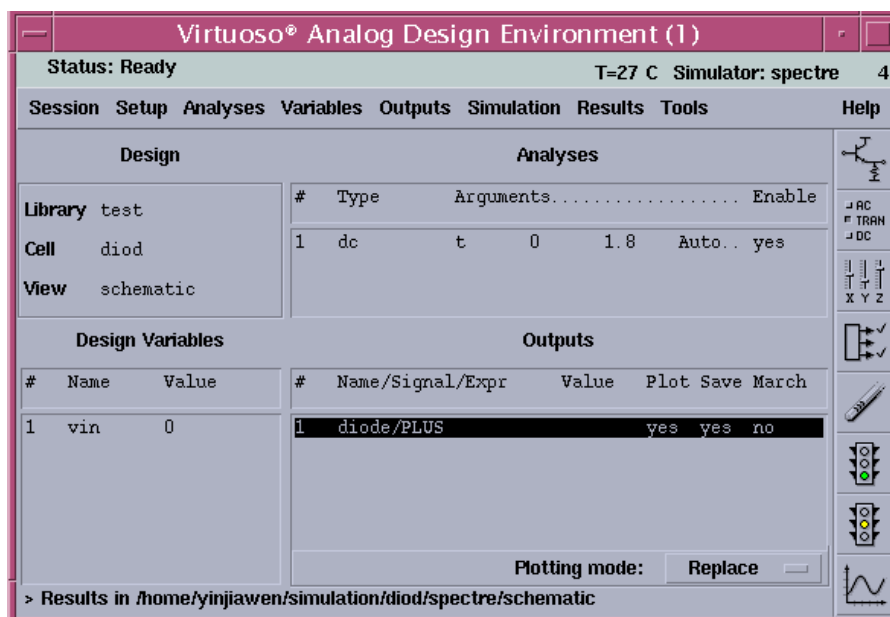


图 1.7 设置好的 ADE 窗口

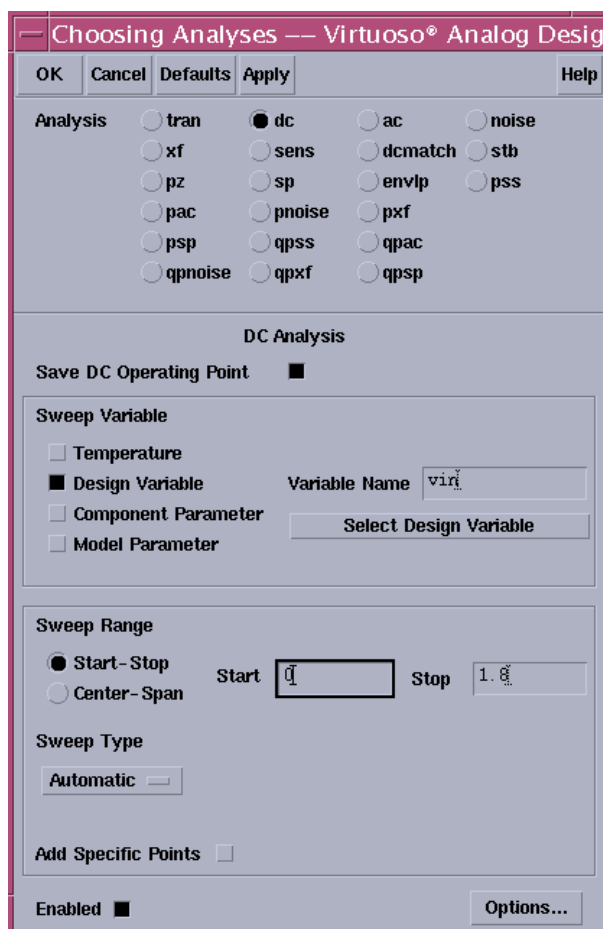


图 1.8 dc 分析设置

1.4 电路仿真

参数设置完毕之后,就可以开始电路仿真了。方法是在 ADE 窗口中,选 Simulation→Netlist and Run 就开始仿真了,如果整个过程都没错,那么系统会自动输出二极管的 I-V 曲线,如图 1.9 所示。可以看到该二极管的阈值电压大约是 0.75V 左右。

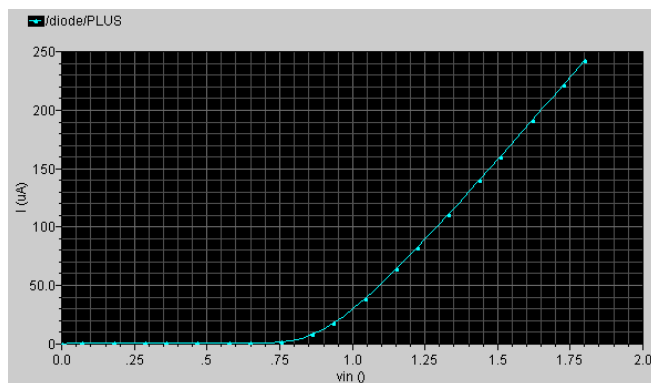


图 1.9 二极管的 I-V 特性曲线

实验 2 BJT 和 MOS 晶体管的 I-V 特性

本实验学习测量 BJT 和 MOS 管的 I-V 特性，并观察 BJT 和 MOS 管的 g_m 、 r_o 、 V_{gs} 、 V_{ds} 、寄生电容等参数。

2.1 BJT 晶体管的 I-V 特性

1、创建 cellview(bjt)

按照如图 2.1 所示画出电路图。用到的元件符号分别是 analogLib 库中的 vdc、res、npn、gnd。

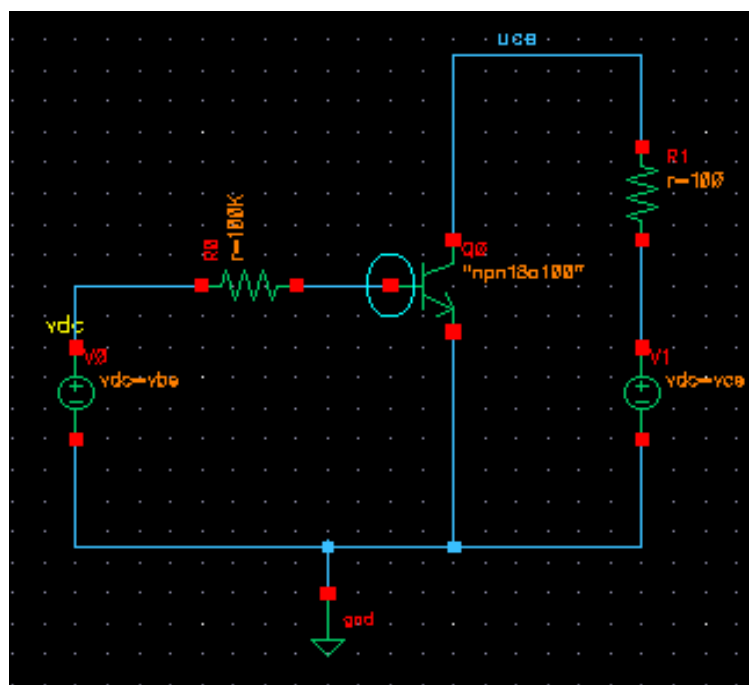


图 2.1 电路图

三极管的 Model 名为 npn18a100(可以从工艺库文件 /cad/smic018_tech/Process_technology/Mixed-Signal/SPICE_Model/ms018_vlp6_bjt_spe.mdl 中查到，其中 18 的意思为电压为 1.8V，100 代表晶体管发射区面积为 $100\mu\text{m}^2$)。参数 Multiplier 代表该种 npn 晶体管并联的个数)，这里我们设为 2，如图 2.2 所示。

为了得到三极管的输入与输出特性曲线，我们把发射极电压和基极电压分别设为变量 v_{ce} 和 v_{be} 。

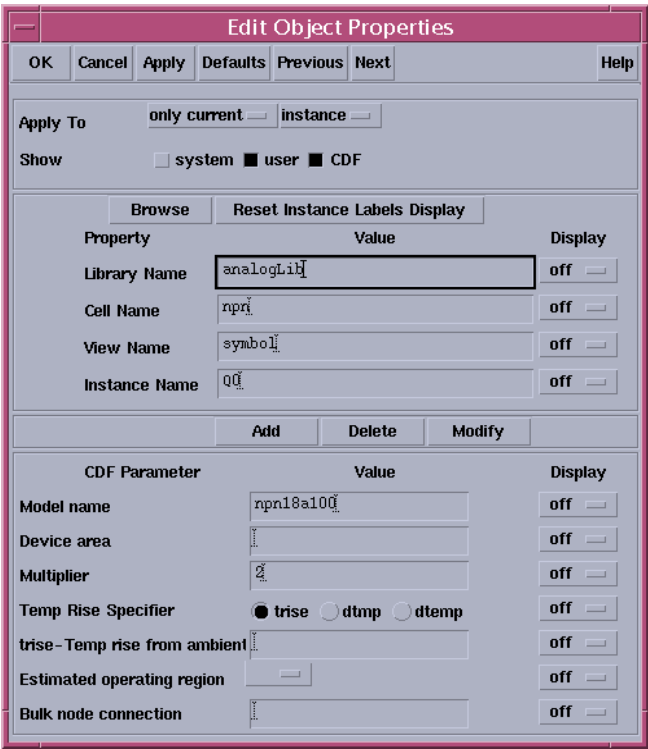


图 2.2 bjt 晶体管参数设置

2、输入特性

三极管的输入特性是指当集电极电压 V_{ce} 为常数时，基极与发射极间电压 V_{be} 与基极电流 i_b 之间的关系。

如同前一个实验介绍的方法，打开仿真窗口，先设置好 model 路径，模型文件依然选择 /cad/smic018_tech/Process_technology/Mixed-Signal/SPICE_Model/ms018_vlp6_spe.lib，注意 section 设为 bjt_tt。然后添加变量 vbe 和 vce。再按图 2.3 对话框设置好 DC 分析。其中 DC 分析是对 vbe 进行扫描，扫描范围从 0 到 1.8V。vce 的初始值设为 1.5V。最后设置输出，这里我们要看的是基极电流，所以点击三极管的基极 pin 脚。

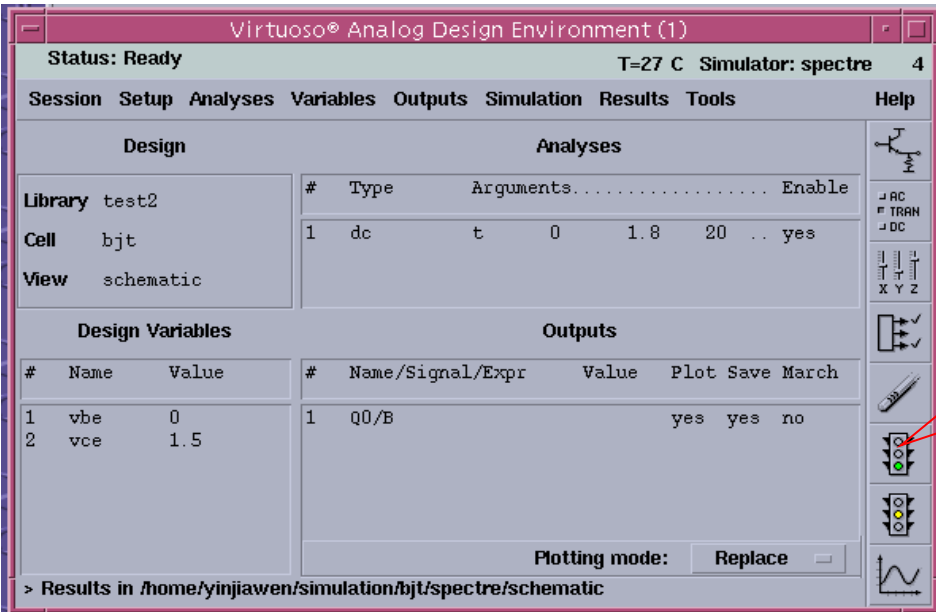


图 2.3 npn 三极管输入特性仿真设置

然后点“Netlist and Run”进行仿真。得到的输入特性曲线如图 2.4 所示。横坐标是基极-射极电压 v_{be} 的变化，纵坐标是基极电流 i_b 的变化。

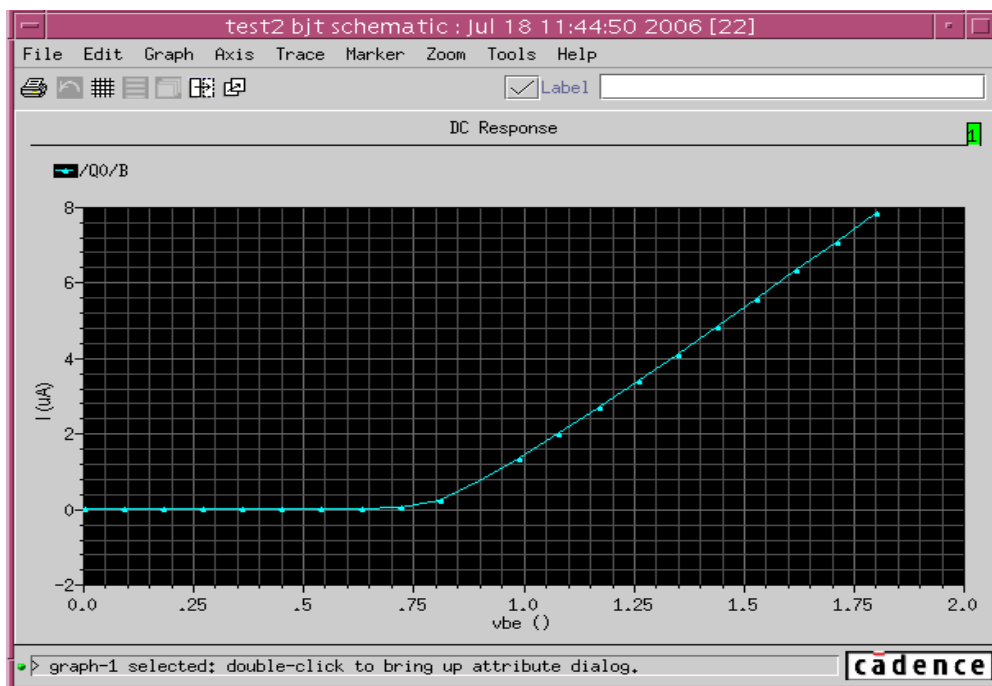


图 2.4 三极管的输入特性曲线

3、输出特性

三极管的输出特性是指以 i_B 为参变量的共射极电流 i_C 与 U_{CE} 之间的关系。

先设置好 Analog Design Environment 对话框，注意这次 DC 分析所扫描的变量是 v_{ce} ，扫描范围为 -0.3 到 1.8V。如图 2.5 所示：

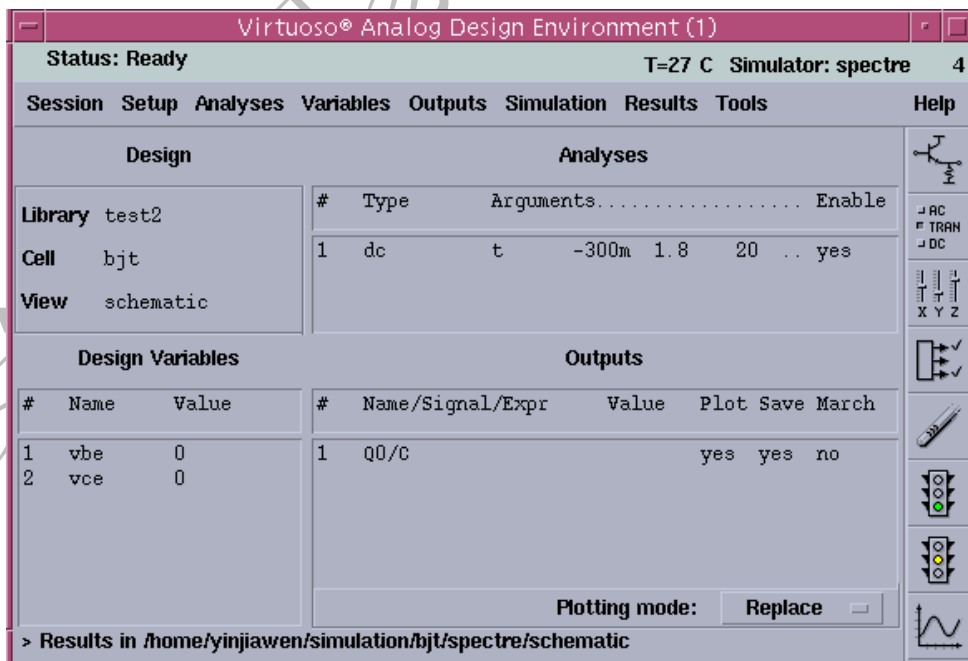


图 2.5 npn 晶体管输出特性仿真设置

然后点 Tools→Parametric，弹出如图 2.6 所示的 Parametric Analysis 窗口，进行参变

量设置。由于我们输入为电压源，无法把电流作为参变量，因此我们以 v_{be} 作为参变量。于 Variable Name 栏输入参变量 v_{be} ，范围为-0.3 到 1.8。参变量扫描方式选为 Linear Steps (线性步长改变)，步长设为 0.3。如图 2.6 所示。

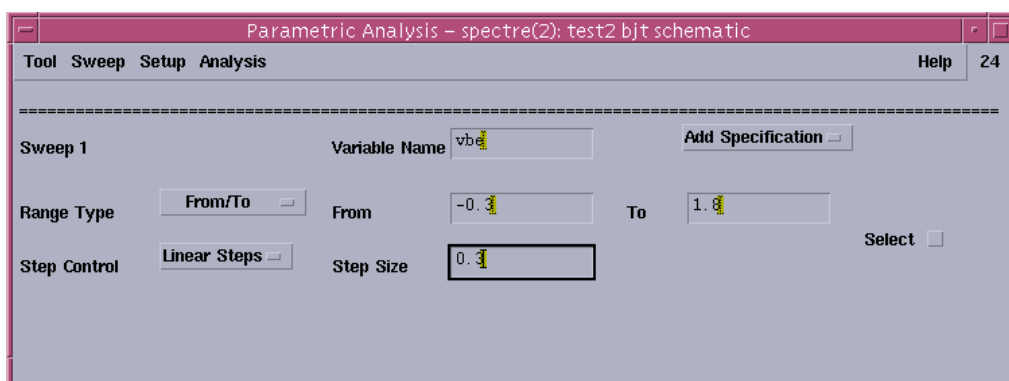


图 2.6 参量扫描窗口

然后点 Analysis→Start，得到三极管输出特性曲线，如图 2.7 所示。每条曲线都是在 v_{be} 固定时， I_c 随着 V_{ce} 电压改变而变化的曲线，改变 v_{be} 得到许多条曲线。

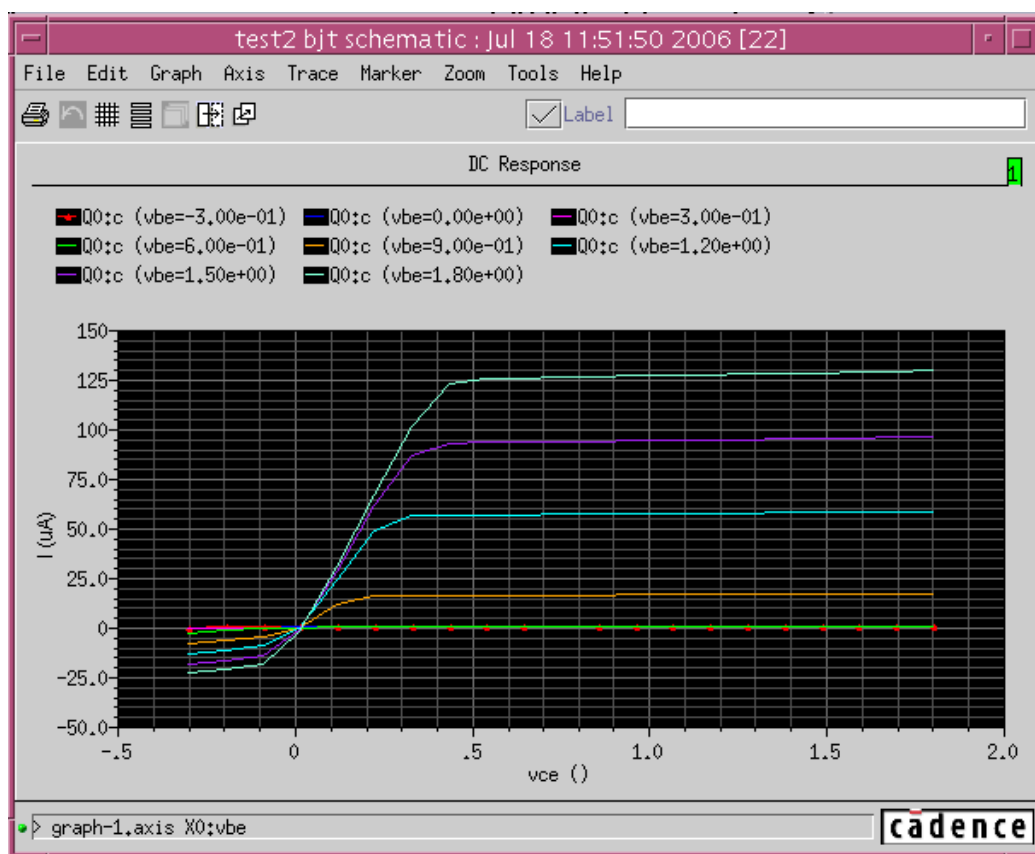


图 2.7 三极管的输出特性曲线

2.2 MOS 晶体管的 I-V 特性

1、创建 cellview 并画出电路图。这一步和前面的方法一致，电路图的 cell 名可以自己取。

各元件参数如图 2.8 所示，用到的元件符号为 analogLib 库中的 vdc、nmos4、vdd、gnd。

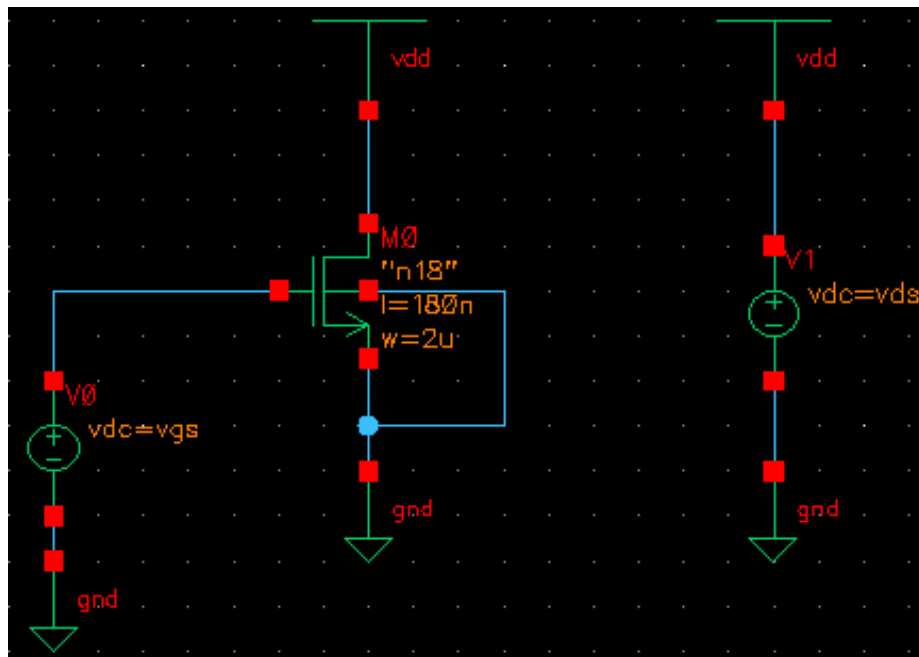


图 2.8 电路图

两个电压源和 mos 管的参数设置如下所示，其中要注意电压源 V0 的 DC voltage 值设为变量 vgs。同样的电压源 V1 的值设为变量 vds。

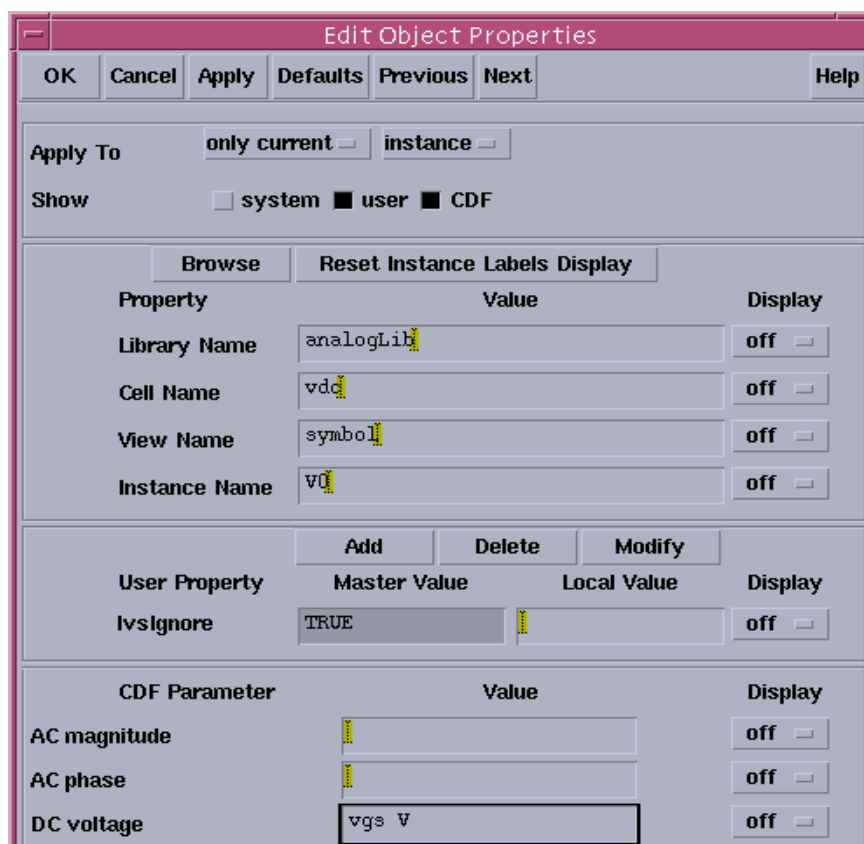


图 2.9 电压源的参数设置

nmos 晶体管的模型为 n18，这是 1.8v nmos 晶体管的模型，选择其栅长 l 为 0.18um，栅宽 w 为 2um，注意填入尺寸时不要加单位，系统会自动加上长度单位 M。

CDF Parameter	Value	Display
Model name	n18	off
Multiplier		off
Width	2u M	off
Length	180n M	off
Drain diffusion area		off

图 2.10 MOS 管的参数设置

2、设置仿真参数

如同前面的方法，打开仿真窗口，先设置好 model 路径，库文件与上面的相同，但工艺角 (section) 填入 tt。然后添加变量 vds 和 vgs。接着设置 DC 分析。其中 DC 分析是对 vds 进行扫描，扫描范围从 0 到 1.8V。vgs 的初始值设为 0V。最后设置输出，这里我们要观察的是 MOS 管的漏电流，所以点击 MOS 管的漏极。设置好后的仿真窗口如图 2.11 所示。

Design			Analyses			
Library	Cell	View	#	Type	Arguments.....	Enable
test2	mos1	schematic	1	dc	t 0 1.8 100m..	yes

Design Variables			Outputs					
#	Name	Value	#	Name/Signal/Expr	Value	Plot	Save	March
1	vds	0	1	M0/D		yes	yes	no
2	vgs	0						

图 2.11

在 Analog Design Environment 对话框中，点 tools→Parametric Analysis，弹出参变量分析窗口，我们以 vgs 作为参变量进行仿真，如图 2.12 所示。

Parametric Analysis - spectre(0): test2 mos1 schematic

Tool Sweep Setup Analysis Help 5

Sweep 1 Variable Name vgs Add Specification

Range Type From/To From 0 To 1.8

Step Control Linear Steps Step Size 0.3 Select

图 2.12 参变量分析参数设置窗口

3、仿真并观察 mos 管的输出特性曲线

在 Parametric Analysis 窗口中，点 Analysis→Start 开始扫描，如果无错则会弹出输出窗口和波形（mos 管的 I-V 输出特性曲线）。

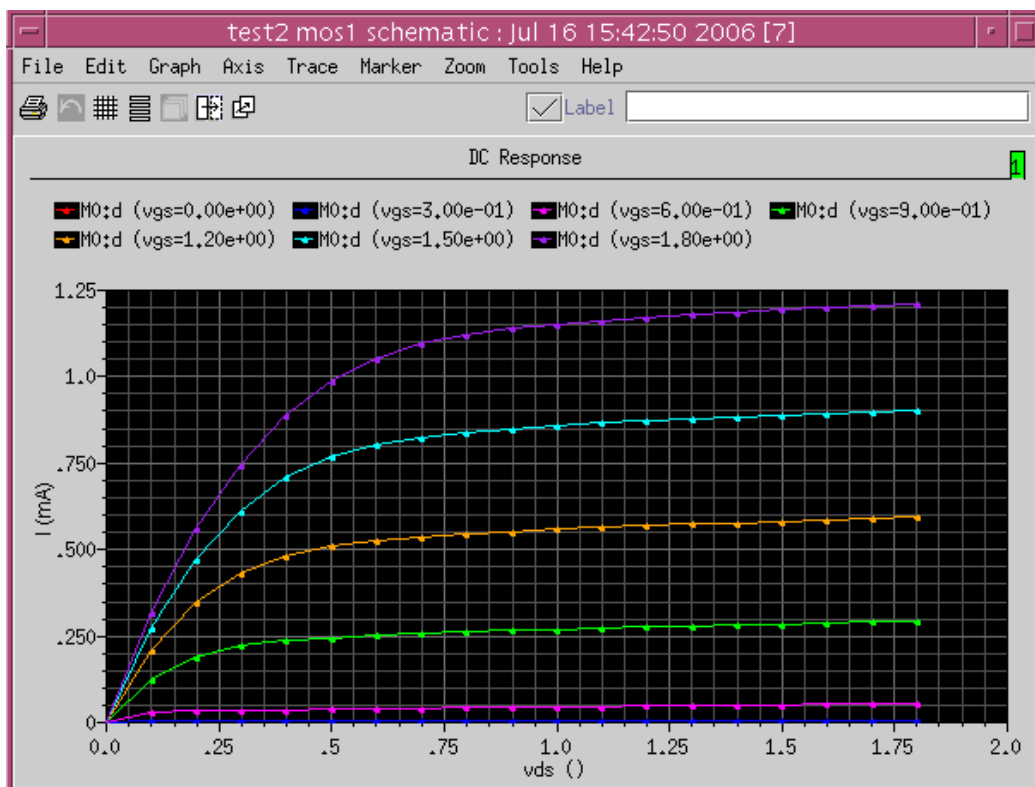


图 2.13 Mos 管的输出特性曲线

4、MOS 管的输入特性曲线

打开 Analog Design Environment 窗口，大部分设置同前边的仿真设置。只是变量 vds 的初始值为 1.8，vgs 的初始值为 0。设置好后如图 2.14 所示。

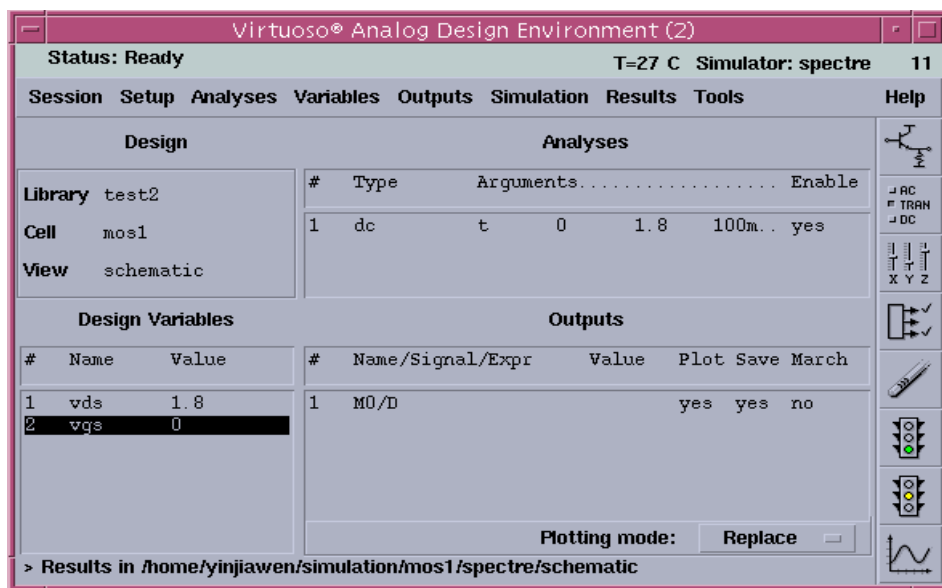


图 2.14

然后点 Netlist and Run, 就得到输出波形如下图所示：

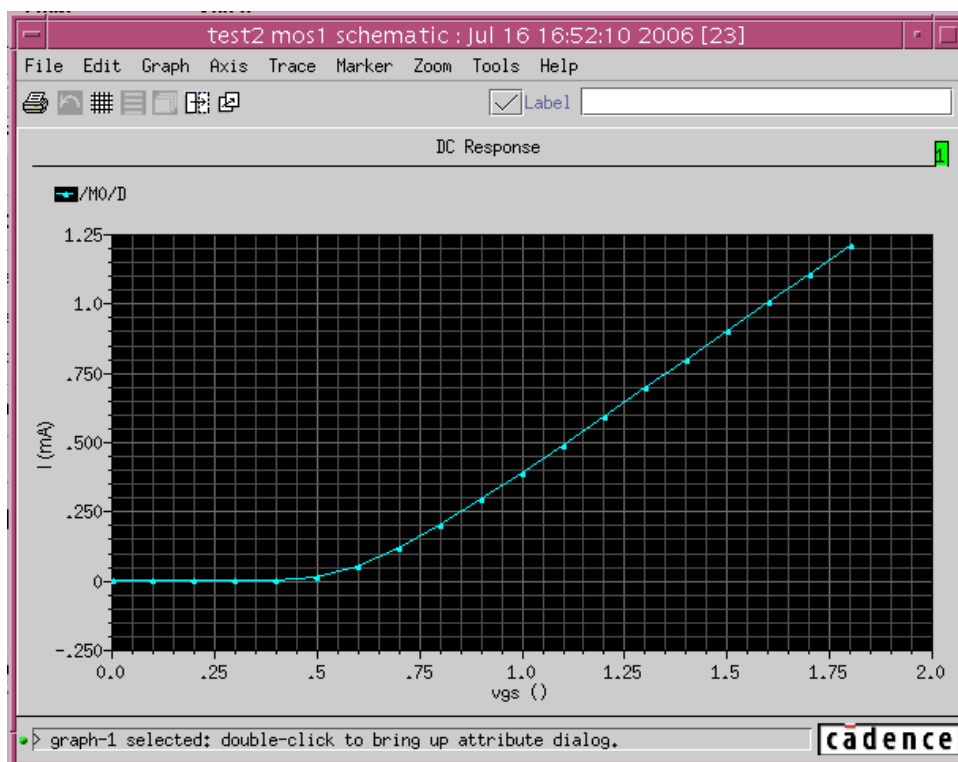


图 2.15 Mos 管的输入特性曲线

2.3 MOS 晶体管参数观察

在 Analog Design Environment 窗口中，点击 Results→print→DC Operating Points。如图 2.16 所示：

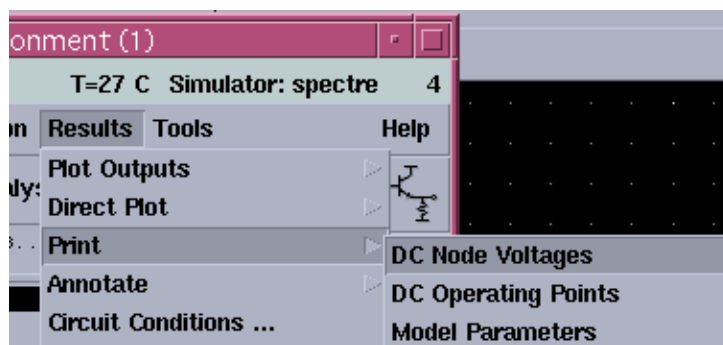


图 2.16

会弹出一个空白窗口，再在电路图上选择你想要观察的器件，则就会在空白窗口中显示你所选器件的各种参数，下图是选择 mos 管后的器件参数窗口。在此窗口中你就可以看到 mos 管的各种参数。

Results Display Window				
Window	Expressions	Info		
		Help	9	
signal	OP (" /M0" "??")	OP (" /M0" "??")	OP (" /M0" "??")	OP (" /M0" "??")
vgs	0	300m	600m	900m
ids	0	0	0	
lx1	0	0	0	
lx2	0	300m	600m	900m
lx3	0	0	0	
lx50	0	0	0	
lx4	0	0	0	
vds	0	0	0	
vgs	0	300m	600m	900m
vth	499.9m	499.9m	499.9m	499.9m
vbs	0	0	0	
vdsat	42.33m	42.75m	114m	250m
lv9	499.9m	499.9m	499.9m	499.9m
lv10	42.33m	42.75m	114m	250m
lv26	NaN	NaN	NaN	
gds	398.4p	1.993u	437.7u	
gm	0	0	0	
betaeff	4.565m	4.565m	4.528m	
gmbs	0	0	0	
cjs	1.845f	1.845f	1.845f	
cjd	1.845f	1.845f	1.845f	
lx12	-1.091f	-1.338f	-1.503f	
lx14	1.091f	1.769f	2.603f	
lx16	276.5m	215.1m	550m	

图 2.17

实验3 MOS 晶体管电容测试 体效应学习

通过本实验，学习使用 cadence 仿真工具中的 calculator，另外复习 MOS 电容和 MOS 管体效应的知识。

3.1 MOS 晶体管栅源电容测试

1、创建 cellview，按照图 3.1 所示画出电路，并设置好各元件的参数。

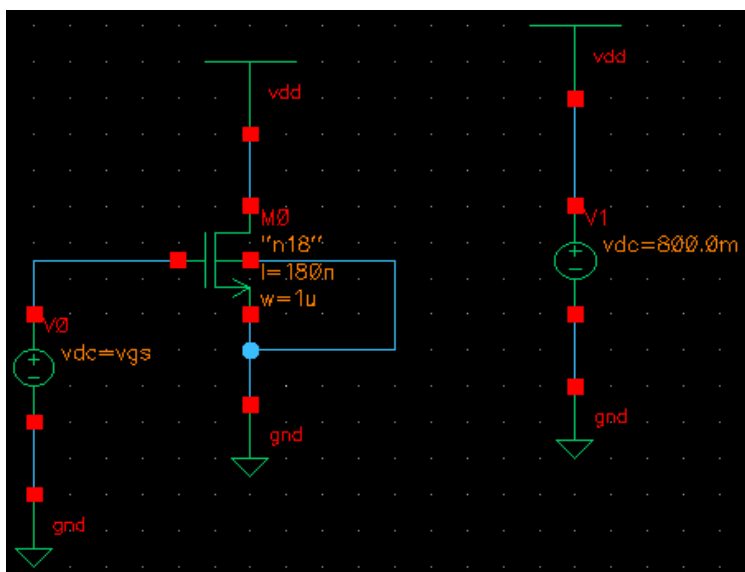


图 3.1 电路图

2、用和前面同样的方法设置 Analog Design Environment 对话框设好的对话框如下所示：

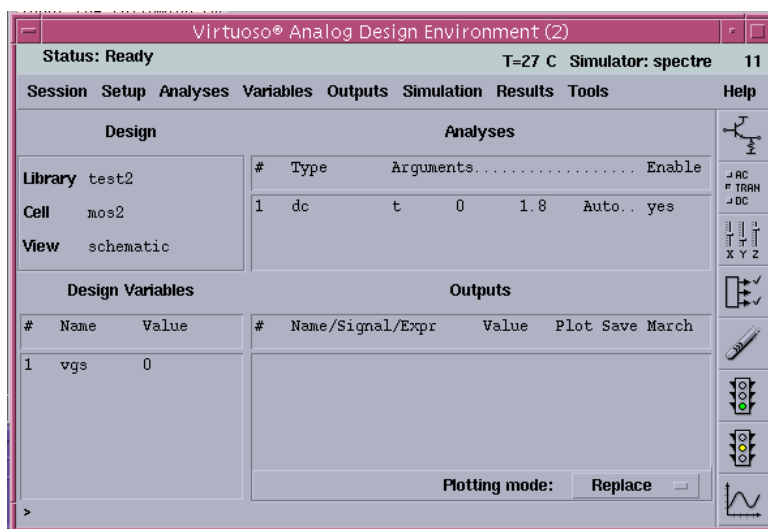


图 3.2

3、点 Netlist and Run

4、参量扫描

在 Analog Design Environment 对话框中点 tools→Parametric Analysis 弹出 Parametric Analysis, 按如下设置好参数。然后点 Analysis→Start.

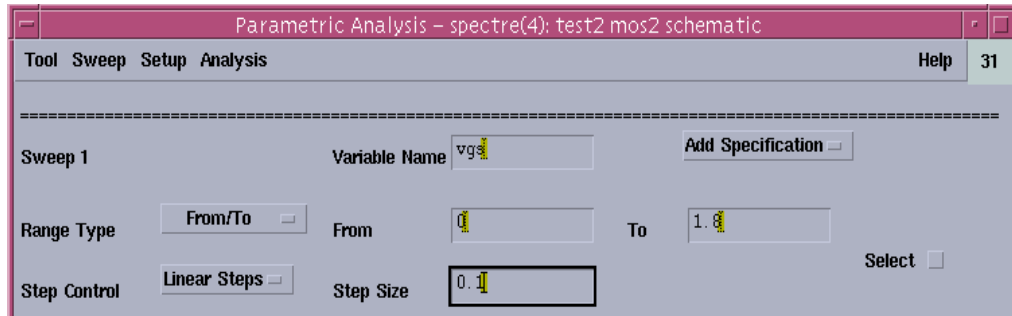


图 3.3

5、在 Analog Design Environment 窗口中点 output→setup 弹出如图 3.4 对话框

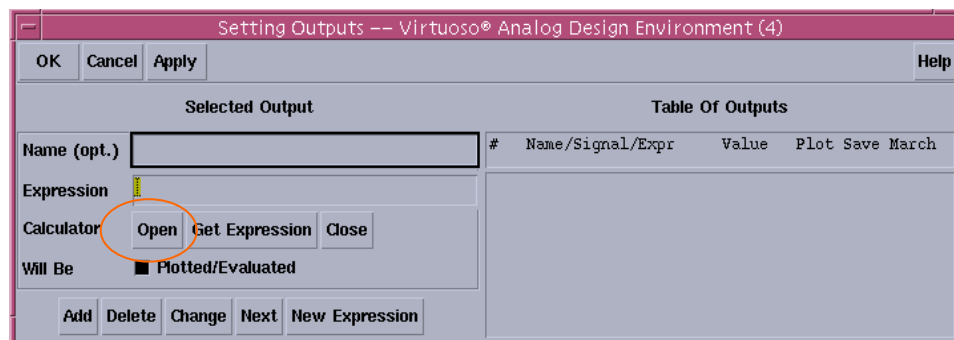


图 3.4

6、在图 3.4 对话框中点 Open, 打开 Calculator 对话框

在 Calculator 对话框中点 info→op 就会弹出如下对话框: (其中, op 代表 Operating Parameters)

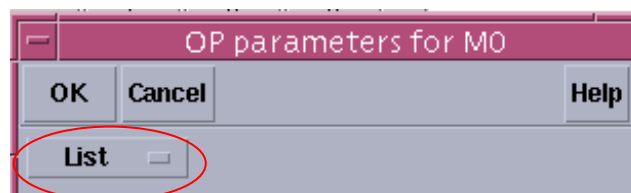


图 3.5

7、点击电路图中的 nmos 管, 然后点击图 3.5 对话框中的 list 则会出现一个下拉列表: (注意: 一定要选中所看的元件即 nmos 管, 你可以尝试一下不选择元件的 list 菜单和选择元件后的 list 菜单有什么区别。)

lx14	lx29
lx16	lx32
lx24	lx33
lx26	lx34
cgg	lx7
cqd	lx8
cgs	lx9
cgb	il
cdg	i3
cdd	i4

图 3.6

8、在下拉列表中选择 Cgs(如图 3.6),选中后 Calculator 窗口就会跳到最前面,在它的空白栏处就出现了一个表达式 $OP("/M0", "cgs")$,然后在表达式前加一个负号,要不然画出来的曲线是负值。

Calculator 对话框变为如图 3.7 所示:

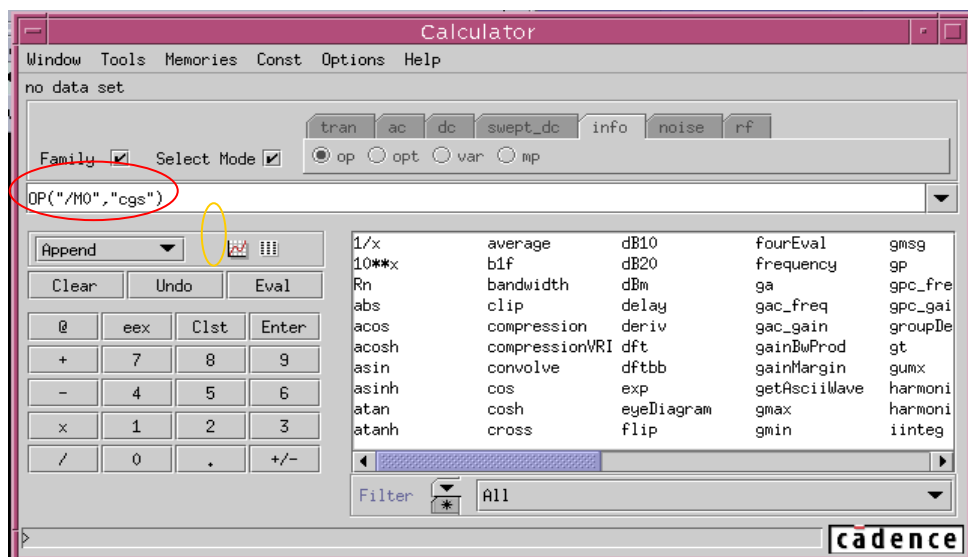


图 3.7 Calculator 窗口

9、在 Calculator 对话框中点击 plot 按钮(即带红色曲线的按钮),就得到如图 3.8 的波形,即 nmos 管的栅源电容随栅源电压变化的曲线。

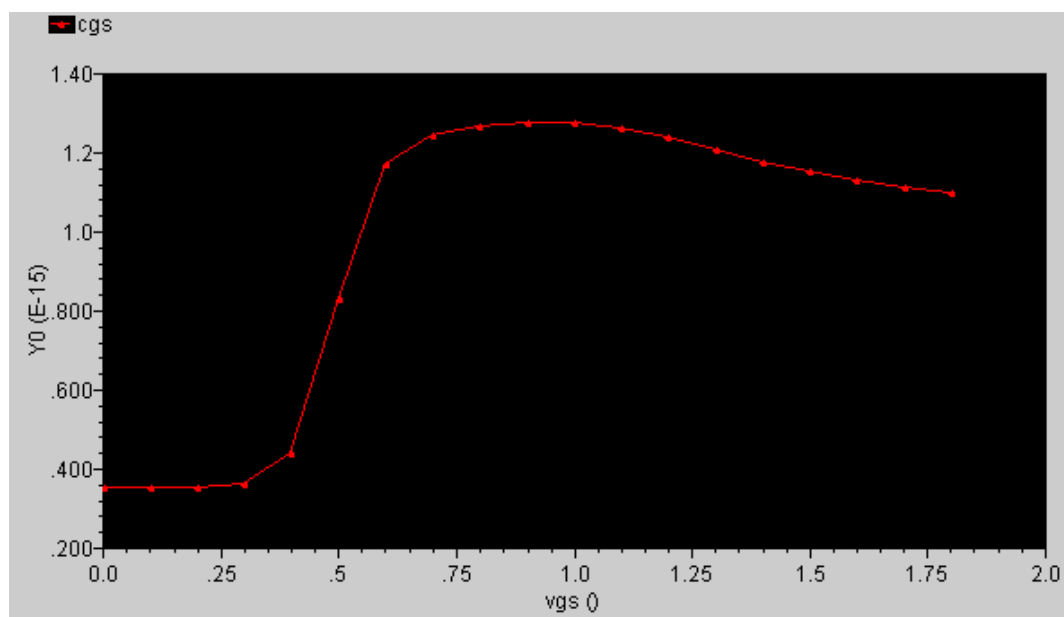


图 3.8 栅源电容随栅源电压的变化曲线

3.2 体效应

1、创建 cellview

电路图如下，按照图 3.9 的参数设置，设置好各元件的参数。

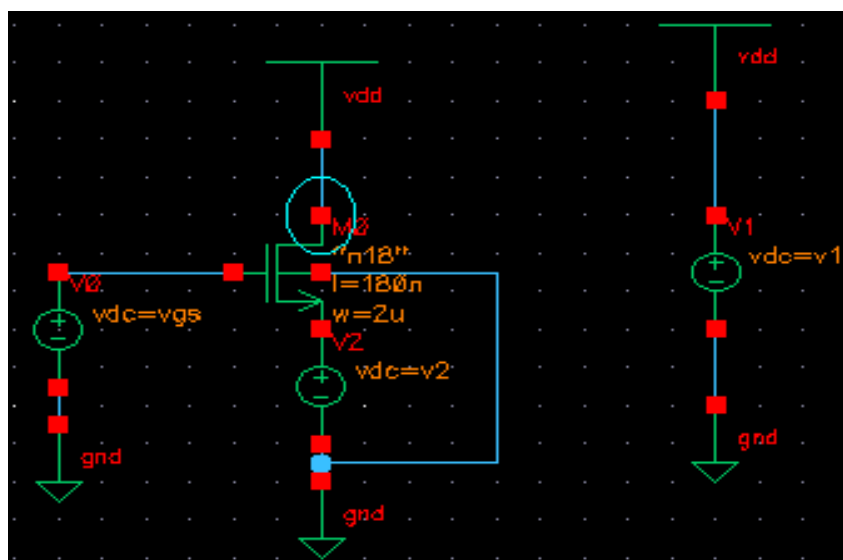


图 3.9 电路图

2、设置 Analoge Design Environment 对话框

设置好的对话框如下所示，注意别忘了加上库的路径。

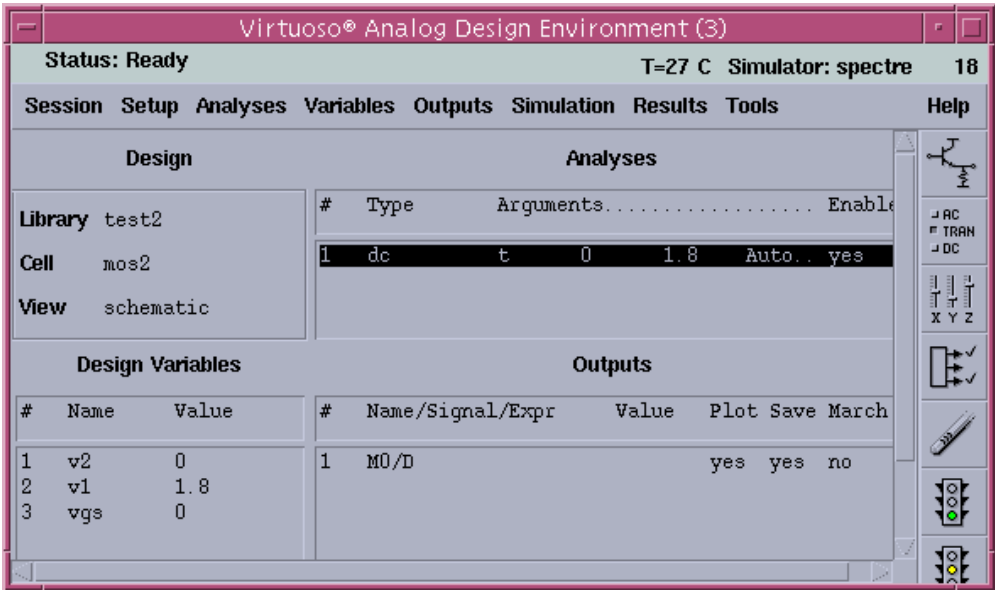


图 3.10

- 3、在 Analoge Design Environment 对话框中，点 tools→Parametric Analysis 弹出一个新对话框（前面已遇多次）

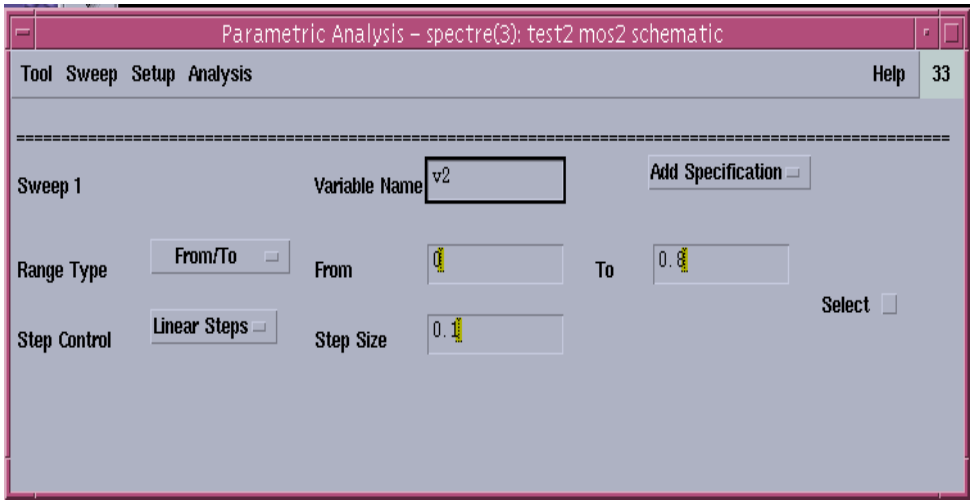


图 3.11

- 4、点 Analysis→Start, 得到一组输出波形曲线。波形如下：

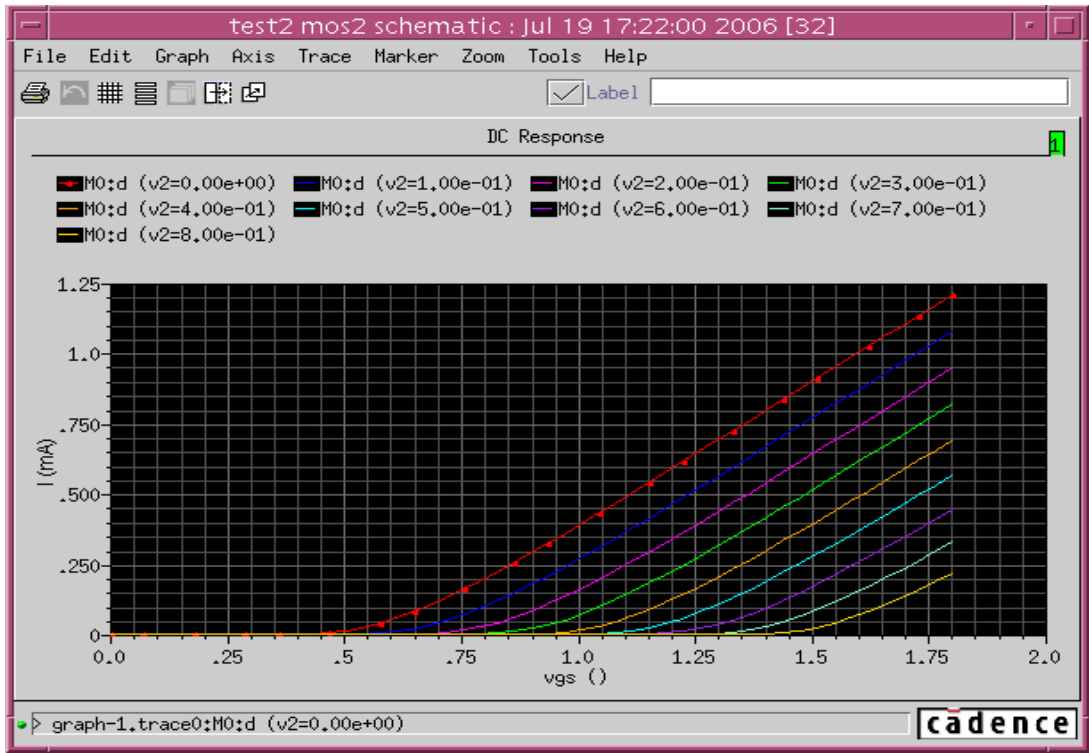


图 3.12 不同 V_{gs} 下的 mos 管的输入特性曲线（体效应影响）

5、从波形可以看出当源衬电压越大时，阈值电压越大，也就是 mos 管的开启电压越大，这是由于体效应的影响。

3.3 MOS 晶体管电容测试

MOS 晶体管电容是指当晶体管的栅漏都短接到地的时候，栅对源，栅对漏，栅对衬底三个电容之和。下面我们将对如何测量 MOS 晶体管电容做具体分析。电路图还是如图 3.9 所示，在这里要注意电压源 V_1 ， V_2 的值设为零。

1、设置 ADE 窗口

设置好的对话框如图 3.13 所示这里就不细说，只是 DC 分析只用保存工作点就可以了，注意不要忘了加库的路径，然后点击 Netlist and Run。

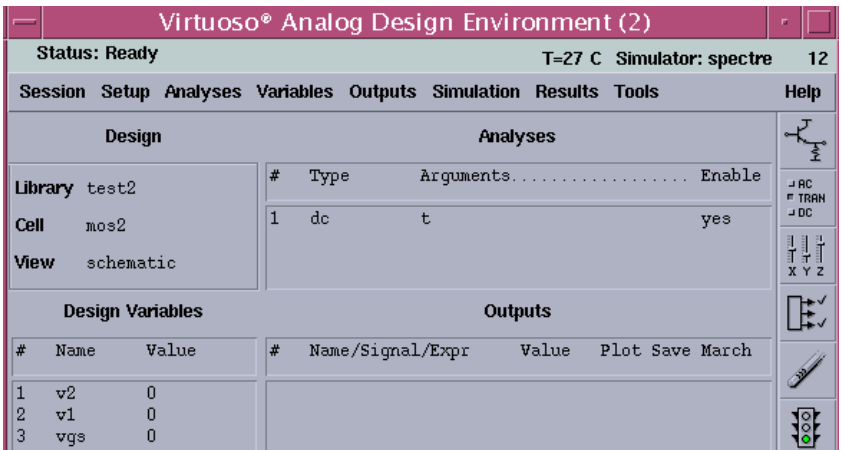


图 3.13

2、参量扫描

对 V_{gs} 做参量扫描，从负三伏到正三伏。PA 对话框的设置如图 3.14 所示：然后在 PA 对话框中点击 Analysis->Start 开始扫描。

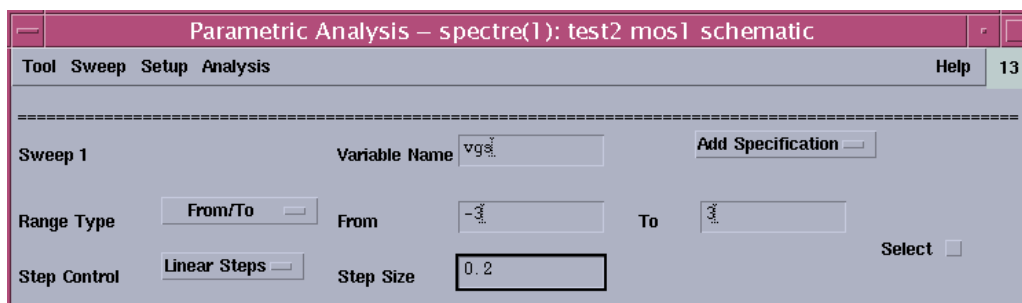


图 3.14

3、画波形

在 ADE 窗口中，选 Output->Setup 弹出图 3.15 的对话框。

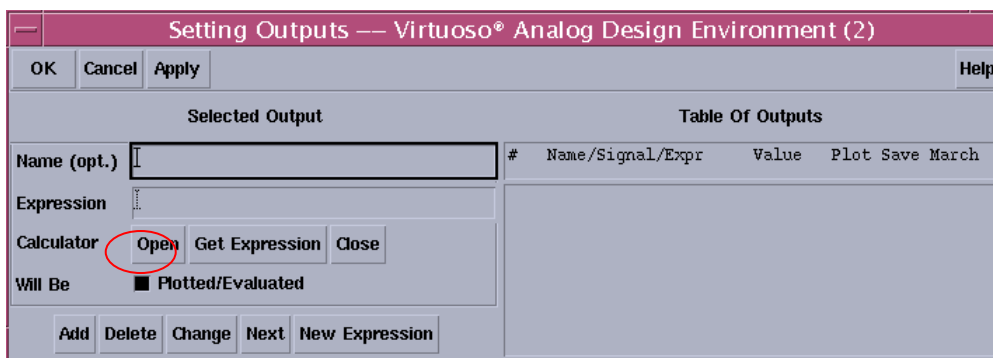


图 3.15

在图 3.15 中，点击 Open，打开 Calculator 对话框，如图 3.16 所示，在 Calculator 对话框中选择 Info->op，这时会弹出一个 Select an instance 的小框，这个时候在电路图中选中 mos 管，然后点击在 Select an instance 的小框中点击 list 就会出现一个列表，选择 Cgs，这个时候在 Calculator 窗口中就出现了 Cgs 的表达式，这个时候注意要在此表达式前加一个负号 (Cgs, Cgd, 和 Cgb 的表达式前面都要加负号)，加负号的方法是在 Calculator 窗口中点击“+/-”按钮，然后在 list 下拉列表中再选择 Cgd，加负号，这个时候再点击 Calculator 中的“+”号，此时才完成了 Cgs 和 Cgd 两个电容的相加。用同样的方法加上 Cgb 电容，然后点击 plot 按钮就得到了如图 3.17 所示的曲线：

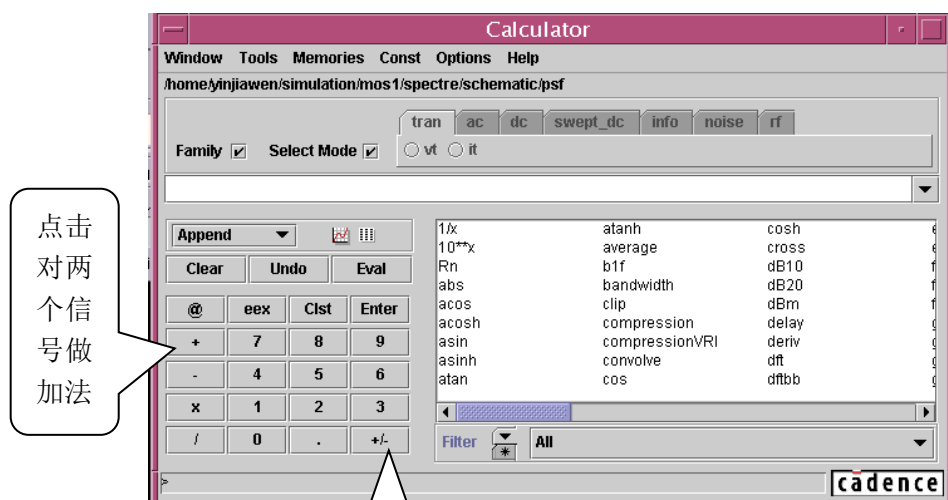


图 3.16

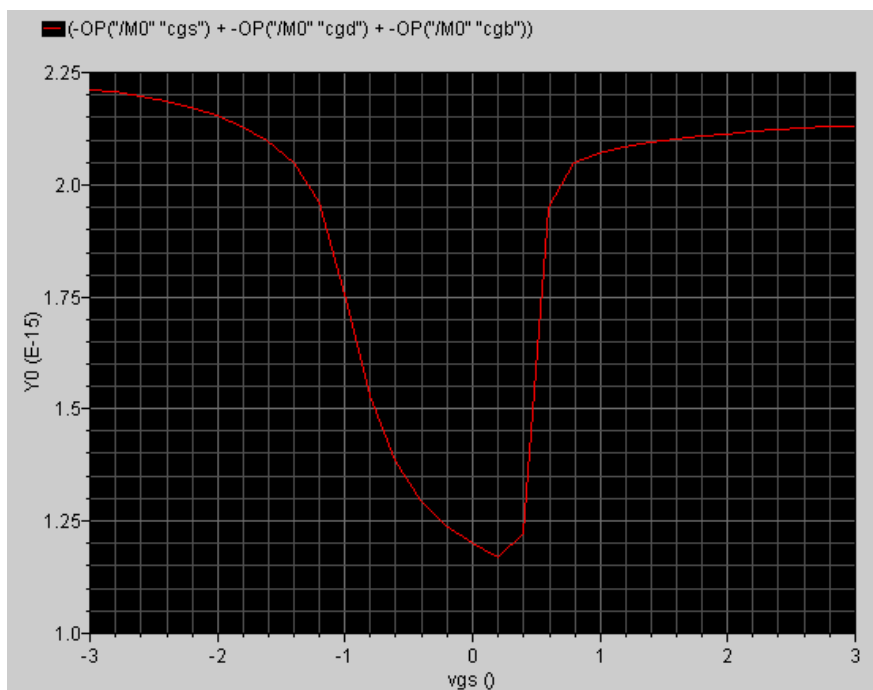


图 3.17 MOS 管电容随栅压变化曲线