

集成电路 EDA 实验讲义

——HSPICE 设计与仿真

天津大学 微电子学院

实验一、Hspice 基础

1. 实验目的:

学习和掌握 EDA 仿真软件 Hspice;

2. 实验内容:

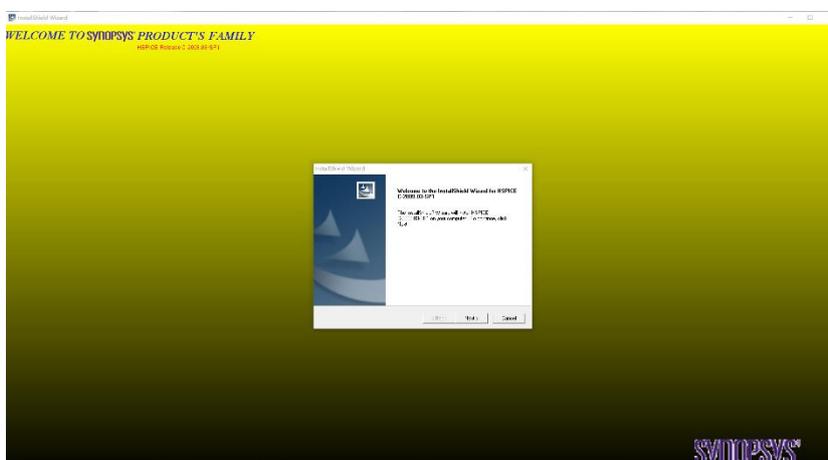
1) 安装和设置 Hspice

3. 实验原理:

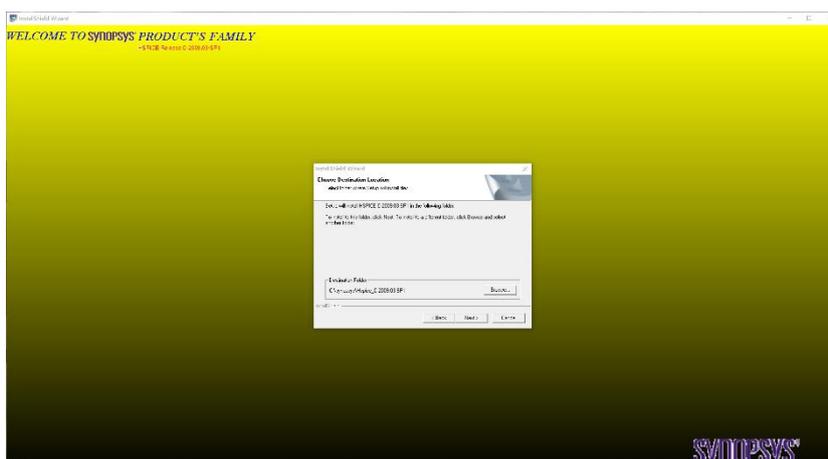
4. 实验步骤

安装、设置 HSPICE 仿真软件

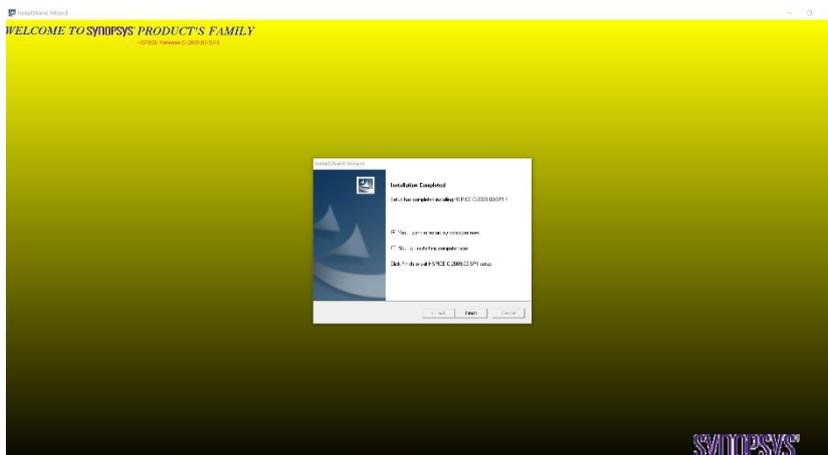
步骤一：双击安装文件，开始 Hspice Release C-2009.03-SP1 的安装 Wizard。



步骤二：选择安装目录。Click “Next” 选择 default 目录。

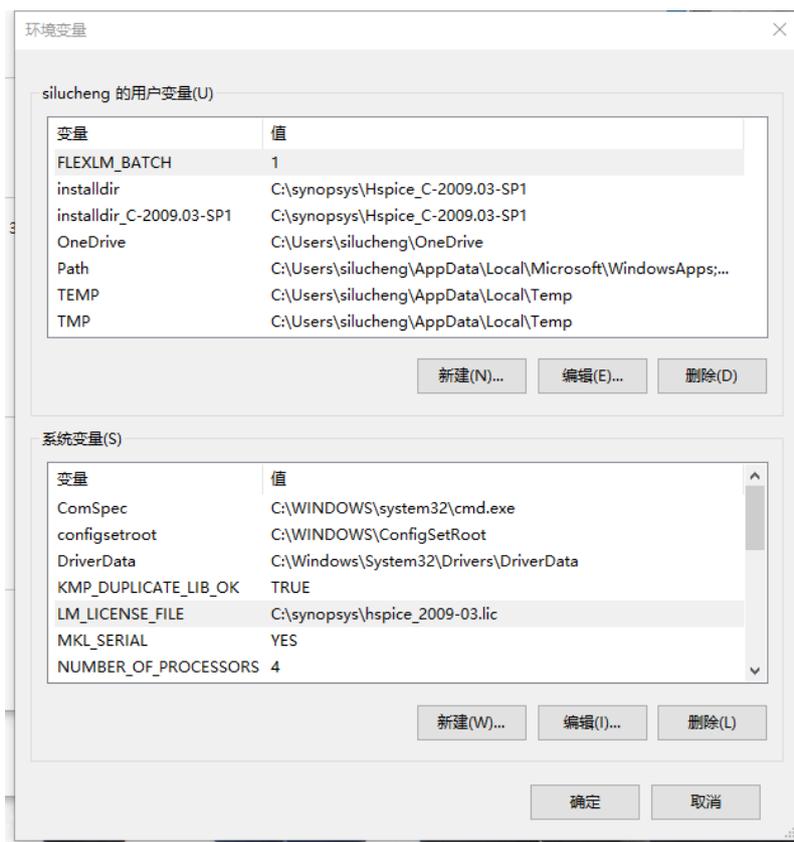


步骤三：Click “Next” 选择 “Typical Setup”。



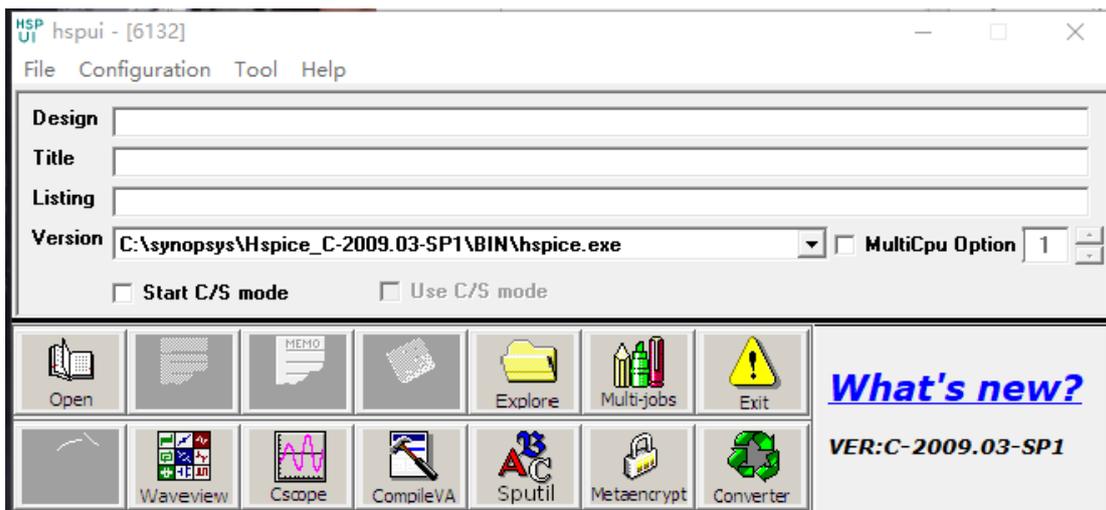
步骤八：设置 Hspice Release C-2009.03-SP1 的 license 文件路径变量。

1. 从目录 HSPICE 2009 中，复制 hspice_2009-03.lic 文件到目录 C:\synopsys\中。
2. 在桌面 desktop 上，在“我的电脑”或“Computer”上，右击鼠标；选“property”；再选“advanced environment variables”；选择“环境变量”，在“系统变量”中选”New”生成一个新环境变量如图所示。

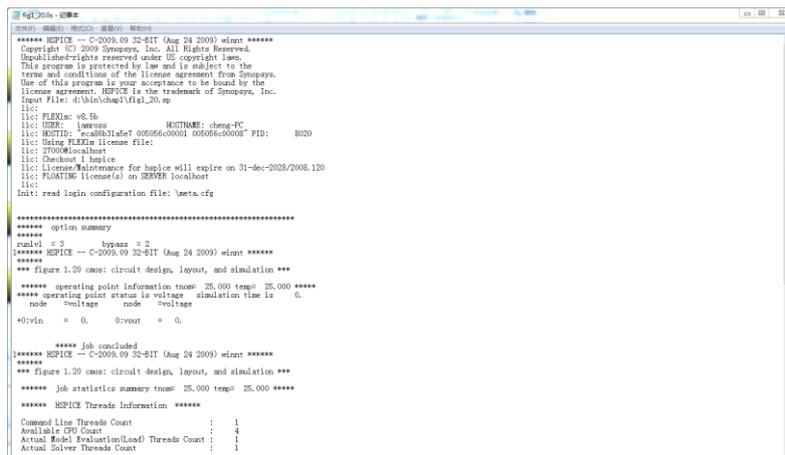


步骤九：测试 Hspice

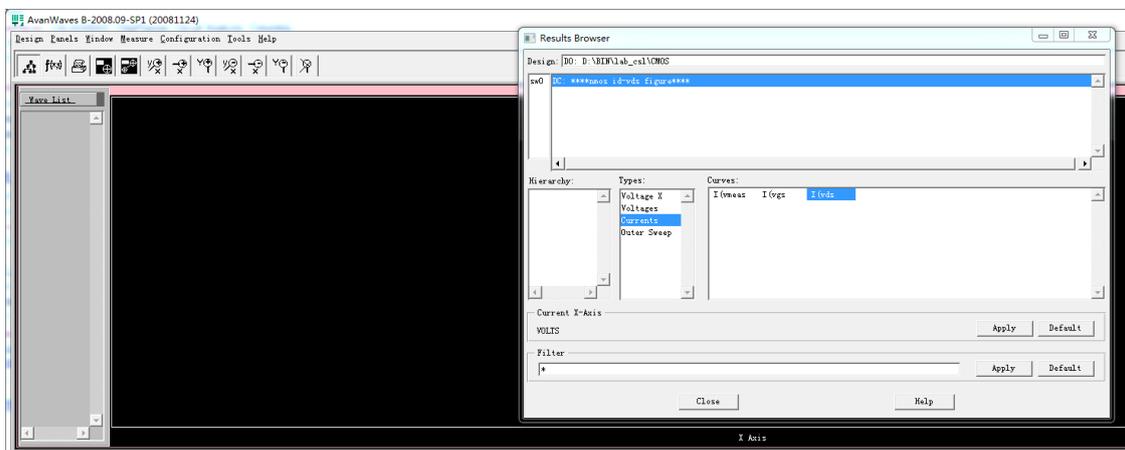
1. 点击 start(开始)，到 all programs ，点击 Hspice Release C-2009.03-SP1。Hspice Release C-2009.03-SP1 的用户界面显示如图。



2. 点击 Hspice 用户界面的 File，选 open，然后 open 目录下任意 Hspice 设计文件。Hspice 用户界面将自动装载相应的文档，
3. 点击 Hspice 用户界面中左下角的“Simulate”，Hspice 开始仿真，点击“Edit SL”查看仿真输出表。



5. 点击“Avanwave”查看仿真结果，在“Results Browser”窗口，选定仿真文件，观测图形。



6. 运行到此, Hspice Release C-2009.03-SP1 安装成功。

- sm046005-1d.hspice
- bias.sp

实验二、Hspice 常规练习

1. 实验目的:

学习和掌握仿真软件 Hspice 的基本流程, 可以熟练运用软件进行多种仿真。

2. 实验内容:

验证教材第一章第 3 节中所有 SPICE 程序。教材: 贝克 (Bader, R.J.) 著, 刘艳艳等译, CMOS 电路设计、布局与仿真, 人民邮电出版社, 2008.41)

3. 实验原理:

4. 实验步骤:

实验三、CMOS 工艺参数及基本特性仿真

1. 实验目的:

了解 CMOS 工艺技术及元器件模型，掌握 MOSFET 工作原理及其电压电流特征；通过仿真和计算，获得 CMOS 中 NMOS 和 PMOS 的工艺参数，为后续实验作准备。通过仿真，获得所给工艺中 NMOS 和 PMOS 的工艺参数，如 K_p , K_n , V_{tp} , V_{tn} , λ_p , λ_n 。

2. 实验内容:

(1) 对于给定长宽的 MOSFET，通过 Hspice 仿真，测得几组栅-源电压，漏-源电压和漏-源电流数据，代入公式 $I_{DSn} = \frac{1}{2} K_n \left(\frac{W}{L}\right)_n (V_{GS} - V_T)^2 (1 + \lambda_n V_{DS})$ ，求得对应的工艺参数 K_p , K_n , V_{tp} , V_{tn} , λ_p , λ_n 。

(2) 采用 0.35 微米工艺模型，在 HSPICE 中仿真 NMOS 管的曲线 I-V 特性，要求在同一图中画出不同 V_{GS} 条件下， I_{DS} - V_{DS} 特性曲线。

NMOS, PMOS 宽长比为 $W/L=0.35/0.35$, $1.4/0.35$, $3.5/0.35$, $35/0.35$ 。

3. 实验原理:

NMOS 和 PMOS 的 I-V 工作特性参见晶体管原理相关知识。

其中饱和区 $0 < V_{GS} - V_{THn} < V_{DS}$ 且

$$I_{DSn} = \frac{1}{2} K_n \left(\frac{W}{L}\right)_n (V_{GS} - V_T)^2 (1 + \lambda_n V_{DS}) \quad [1]$$

其中 K_n 是跨导参数， V_T 是 NMOS 阈值电压， W 和 L 是 NMOS 的宽和长度， λ_n 是沟道长度调制系数。

模拟电路中 CMOS 工作在饱和状态区，这一现象由 MOSFET 的小信号模型的线性特征所决定。

$$g_m = \frac{\Delta i_{ds}}{\Delta v_{gs}} \cong K_n \left(\frac{W}{L}\right)_n (V_{GS} - V_T)$$

饱和状态下 NMOS 电压电流关系公式[1]中的参数 K_n , V_T 和 λ_n 是 CMOS 工艺参数，理想状态下是常数。

针对具体 CMOS 工艺技术，通过仿真求取以上工艺参数是模拟电路设计的第一步。

4. 实验步骤:

步骤一：在本机目录 D:\...中，建一子目录 “project”，并将 download 的工艺库文件 sm046005-1d.hspice 放入 C:\synopsys\...

步骤二：在目录 D:\ project 中，建一子目录 “lab1” 用于实验一的工作目录。

步骤三：在目录 D:\project\lab1 中，用编辑器 Notepad 产生一个文件 nmos_para.sp 如图所示。此例所用工艺模型是 TSMC 0.35um (sm046005-1d.hspice)。

```

nmos_para.sp - 记事本
文件(F)  编辑(E)  格式(O)  查看(V)  帮助(H)
NMOS I-V characteristic
M1 OUT IN 0 0 nmos_3p3 L=0.35u W=3.5u
VIN IN 0 1
VOUT OUT 0 1
.OPTIONS LIST NODE POST
.DC VOUT 0 2.5 0.1 sweep VIN 1 1.2 0.1
.PRINT DC I(M1)
.lib 'C:\synopsys\sm046005-1d.hspice' typical
.END
    
```

步骤四：从本机的“start 开始”，打开 Hspice 用户界面 Hspui；在用户界面窗口，打开目录...\nmos_para.sp

步骤五：点击“Simulate”，仿真完成。

步骤六：选择“Avanwaves”，测量仿真结果。在“Result Browser”窗口，移动鼠标并点击选择仿真结果 sw0: DC nmos I-V Characteristics；在 Type 中选 currents，在 Curves 中，双击 I(M1)；在 AvaneWaves，显示 NMOS 在 Vgs 为 1v 和 1.2v 时的 I-V Characteristics。

步骤七：移动鼠标到 AvanWaves 窗口，点鼠标器右键，选“Grid off”；点击左上角菜单中”Windows” ,选” Flip Color “；点击左上角 WaveList 中 Do:Sw0:i(m1),移动鼠标到菜单中的” Panels “，选择” Edit Curve “修改仿真输出曲线的颜色（成黑色）。

步骤八：在 AvanWaves 中，用菜单中的“Measures”，如用 pointToPoint 分别测量 Vin (Vgs) 为 1v 和 1.2v 输出线上， Vout (Vds)为 1v 和 1.5v 时的电流。

步骤九：计算 Kn, Vtn 和 λ n。所测的数据填入下表：

Ids		Vds	
		1V	1.5V
Vgs	1V		
	1.2V		

步骤十：重复步骤三到步骤九，测 TSMC 0.35um 工艺中 pmos 参数 Kp, Vtp 和 λ p。

```

pmos_para.sp - 记事本
文件(F)  编辑(E)  格式(O)  查看(V)  帮助(H)
PMOS I-V characteristic
M2 OUT IN VDD VDD pmos_3p3 L=0.35u W=3.5u

VIN VDD IN 1
VOUT VDD OUT 1

.OPTIONS LIST NODE POST
.DC VOUT 0 2.5 0.1 sweep VIN 1.0 1.2 0.1
.lib 'C:\synopsys\sm046005-1d.hspice' typical
.END
    
```

计算 K_p , V_{tp} 和 λ_p 。所测的数据如下表：

Ids		Vsd	
		1V	1.5V
Vsg	1V		
	1.2V		

实验四:反相器设计

1.实验目的:

通过仿真,获得所用工艺设计反相器时 NMOS 和 PMOS 的物理大小的匹配,以便于 CMOS 工艺电路设计。

2.实验内容:

(1) 采用 0.35 微米工艺模型,利用 HSPICE 仿真 CMOS 反相器电路,在 1K, 100K, 10M, 1G, 10G 正弦输入条件下的瞬态波形。

(2) 利用 0.35 微米工艺,结合上一章实验中所获工艺参数设计一组输出电压为 0.25Vdd, 0.5Vdd,和 0.75Vdd 的 CMOS 反相器。

3.实验原理:

以输出电压 0.25Vdd 为例,

由 $I_{dsn}=I_{dsp}$

$$\begin{aligned} & \frac{K_n}{2} \left(\frac{W_n}{L}\right) (0.25V_{dd} - V_{tn})^2 (1 + \lambda_n \times 0.25V_{dd}) \\ = & \frac{K_p}{2} \left(\frac{W_p}{L}\right) (0.75V_{dd} - |V_{tp}|)^2 (1 + \lambda_p \times 0.75V_{dd}) \end{aligned}$$

可得出 W_n/W_p 。

4.实验步骤:

步骤一:用练习三中所获工艺参数,计算不同输出电压的反相器的 NMOS 和 PMOS 物理大小比例。

步骤二:编写反相器 Hspice 仿真程序。

步骤三:细调 NMOS 或者 PMOS,达到输出电压为 0.25Vdd, 0.5Vdd,和 0.75Vdd 的要求。

作 业

1. 世界上主流的集成电路设计 EDA 软件公司有哪几家，登陆公司主页浏览，介绍其主要的 EDA 工具（Cadence Synopsys Mentor 华大 ...）。
2. 简述数字集成电路、模拟集成电路设计流程（说明每一步流程中用到的 EDA 工具）。
3. 在 HSPICE 软件中，写出下图所示的运算放大器网表，并进行直流和交流分析。

Unit: um

