集成电路 EDA 实验讲义

——HSPICE 设计与仿真

天津大学 微电子学院

Silu Cheng TJU

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。

S Instal Shield Wizard		
WELCOME TO SYNDPSYS PRODUCT'S PAMILY Hered Hered 2 (2018-9)		
	Includent State	
		SAULUSSA

步骤二:选择安装目录。Click "Next"选择 default 目录。

😰 Instit Shidd Waard	- c
WELCOME TO SYNDPSYS' PRODUCT'S FAMILY	
-SFICE Felosoci C 2009.09-SF1	
Eleven Bortinden Landin	
Well Star dawn Tele winned Se	
Exc. a vali instali PSPCE E 2009/09 PP in the Valimian Materia	
Te visit is the fields, disk. Next. Te instants a 15 and 160. Breves and ok	a di seconda di second
Charlenge (2000) SP But	m.
(Bes Net)	tere
	1000 (ALCOCOLO0304 MILLION
	SW PSVS

步骤三: Click "Next"选择"Typical Setup"。

alDend Waard	- E
COME TO SUDDENCE BRODUCTER FAMILY	
HERE Secret 201241	
Induit Strikel Water	X State Stat
Setup Type	
Draws for stranging halfbes, sale your reach.	
You an used to be a first data first fi	and the second
in contract	
18 Typical Setup	
C Summista	
ROBHAG	
d Badk Rearts	Densel
	000 000 000 000 0000
	APPART AND A APPART AND A APPART



タ	⇒	
勹	+	0

altheod Wined		- E
COME TO SYNDPSYS PRODUCT'S FAMILY		
Harris Harris C. 2000 Part		
	teind Shield Waled	
	Select Program Failur	
	Please vient a program (tota)	
	Internal allowers a lower to the Reason Ratio for theirs "has a stress owner table.	
	these or select product the entropy offender. Data Read to ceed the	
	Pug an Falan	
	PSAL CAMBO	
	A second days	
	Advenues Advenues Tude	
	Alter Validaria	
	Variant Diss (17.) National returnente	
	1056 p 20100 v	

步骤五: Click "Next"确定所有 Hspice Setup 选项,, InstallShield Wizard 开始 Hspice 2009 的安装。

步骤六: Click "OK"以确认 license 文件的路径变量设置的要求信息。HSPICE2009 安 装完成后,再设置系统环境变量。

Sector Shidd Ward	
WELCOME TO SYNDPSYS' PRODUCT'S FAMILY	
HEP GE Rotoce C 2001.01-891	
hitmakie 🚿	
A star format books interf	
😲 piewa modaly ma i Adj Urfridh yili fa a najvi pam	
	(PMD)DDPVCP
	D//IUFD//D

步骤七: Click "Finish"以完成安装。



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。

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。

变量	值	
FLEXLM_BATCH	1	
installdir	C:\synopsys\Hspice_C-2009.03-SP1	
installdir_C-2009.03-SP1	C:\synopsys\Hspice_C-2009.03-SP1	
OneDrive	C:\Users\silucheng\OneDrive	
Path	C:\Users\silucheng\AppData\Local\Microsoft\WindowsApps	s;
TEMP	C:\Users\silucheng\AppData\Local\Temp	
TMP	C:\Users\silucheng\AppData\Local\Temp	
统变量(S)	新建(N) 编辑(E) 删除	≩(D)
统变量(S) 变量	新建(N) 编辑(E) 删除 值	È(D)
统变量(S) 变量 ComSpec	新建(N) 编辑(E) 删除 值 C:\WINDOWS\system32\cmd.exe	È(D)
統变量(S) 变量 ComSpec configsetroot	新建(N) 编辑(E) 删除 值 C:\WINDOWS\system32\cmd.exe C:\WINDOWS\ConfigSetRoot	È(D)
統变量(S) 变量 ComSpec configsetroot DriverData	新建(N) 编辑(E) 删除 值 C:\WINDOWS\system32\cmd.exe C:\WINDOWS\ConfigSetRoot C:\WINDOWS\ConfigSetRoot C:\Windows\System32\Drivers\DriverData	≹(D)
統变量(S) 变量 ComSpec configsetroot DriverData KMP_DUPLICATE_LIB_OK	新建(N) 编辑(E) 删除 值 C:\WINDOWS\system32\cmd.exe C:\WINDOWS\ConfigSetRoot C:\Windows\System32\Drivers\DriverData TRUE	≹(D)
統变量(S) 变量 ComSpec configsetroot DriverData KMP_DUPLICATE_LIB_OK LM_LICENSE_FILE	新建(N) 编辑(E) 删除 值 C:\WINDOWS\system32\cmd.exe C:\WINDOWS\ConfigSetRoot C:\WINDOWS\ConfigSetRoot C:\Windows\System32\Drivers\DriverData TRUE C:\synopsys\hspice_2009-03.lic	≹(D)
統变量(S) 变量 ComSpec configsetroot DriverData KMP_DUPLICATE_LIB_OK LM_LICENSE_FILE MKL_SERIAL	新建(N) 编辑(E) 删除 值 C:\WINDOWS\system32\cmd.exe C:\WINDOWS\ConfigSetRoot C:\WINDOWS\ConfigSetRoot C:\Windows\System32\Drivers\DriverData TRUE C:\synopsys\hspice_2009-03.lic YES	≹(D)
統变量(S) 变量 ComSpec configsetroot DriverData KMP_DUPLICATE_LIB_OK LM_LICENSE_FILE MKL_SERIAL NUMBER_OF_PROCESSORS	新建(N) 编辑(E) 删除 值 C:\WINDOWS\system32\cmd.exe C:\WINDOWS\ConfigSetRoot C:\WINDOWS\ConfigSetRoot C:\Windows\System32\Drivers\DriverData TRUE C:\synopsys\hspice_2009-03.lic YES 5 4	≹(D)

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。

UI hspui	- [6132]							_		×
File Cor	nfiguration T	ool Help								
Design										
Title										
Listing										
Version	.									
+ Craion	U:\synopsys\	Hspice_C-2	2009.03-SP1	BIN \hspic	e.exe		• Mu	пасри с	ption	
TCISION	C:\synopsys\	Hspice_C-2 node	2009.03-SP1	/S mode	e.exe		<u> </u>	nacpu c	ption j	
Open	C:\synopsys\	Hspice_C-2		/S mode	e.exe	Exit	wh	at's	nev	

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。

☐ fg1_20/s - 记事本	- B 2
交件(F) - 鋼鋼(E) - 榴式(O) - 豊蚕(V) - 稲劫(H)	
<pre>serves BFITE C-000.09 32-011 (Amp 20 2000) winnt ****** Coveright (C) Downwers, Lo. 11 Kajnis Mennvel. This property is protected by law mail is majket to the the of this property is protected by law mail is majket to the the of this property is provided by the office of the property is provided by the Licens marrangement. HEFEL is the trademark of Symmetry. Inc. Hefel Difference is provided by the Difference to be based by the Licens marrangement. HEFEL is the trademark of Symmetry. Inc. Hefel Difference Difference to be based by the Licens marrangement. HEFEL Is the trademark of Symmetry. Inc. Hefel Difference Difference</pre>	
eeeee	
runivi = 3 bypass = 2 1****** ESPICE C-2009.09 32-BIT (Aug 24 2009) winnt ******	
*** figure 1.20 cmos: circuit design, layout, and simulation ***	
***** operating point information tnos: 25.000 temp: 25.000 ***** ***** operating point status is voltage simulation time is 0. mode ==voltage node =voltage	
+0:vin = 0. 0:vout = 0.	
***** job concluded 1****** ESPICE C-2009. 09 32-BIT (Aug 24 2009) winnt ******	
*** figure 1.20 cmos: circuit design, layout, and simulation ***	
****** job statistics summary tnos= 25.000 temp= 25.000 *****	
****** HCPICE Threads Information ******	
Commod Line Threads Count : 1 Available CFU Court : 4 Actual Bodel Frainastenicad Threads Count : 1 Actual Solver Threads Count : 1	

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

Ŧ	ß	
/	12	0

# AvanWaves B-2008.09-SP1 (20081124)		
Design Panels Mindow Measure Configuration Icols Melp	🚺 💽 Results Browser	
<u>, </u>	Design: D0: D:\BIN\lab_csl\CNOS	
Two list.	a teol 20	
	Hierarchy: Types: Curves:	
	- Valage X - Valage X Outer Swep	×
	Current X-Axis VOLIS Apply	Default
	Filter Apply	Default
	Close Help	
	X Acis	

- 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_p , V_m , 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 $I_{DSn} = \frac{1}{2}K_n \left(\frac{W}{L}\right)_n (V_{GS} - V_T)^2 (1 + \lambda_n V_{DS}), <u>求得对应的工艺参数 K_p</u>$

<u> K_n V_{tp} V_{tn} λ_p λ_n </u>

(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< VGS-VTHn<VDS 且

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

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

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)。



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。

Ida		Vds		
	15	1V	1.5V	
Ver	1V			
v gs	1.2V			

步骤九:计算 Kn, Vtn 和 \ n。所测的数据填入下表:

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_parasp - 记录本	-		×
文件(F) 編唱(E) 植式(O) 装着(V) 種助(H)			
PMOS I-V characteristic			í
M2 OUT IN VDD VDD pmos_3p3 L=0.35u W=3.5u			
VIN VDD IN 1			
.OPTIONS LIST NODE POST			
.DC VOUT 0 2.5 0.1 sweep VIN 1.0 1.2 0.1			
lih (*)synonsystem046005-1d benice' twical			
in consistent terms terms to them			
.END			
		_	>

计算 Kp, Vtp 和 λp 。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,

曲 Idsn=Idsp

$$\frac{Kn}{2} \left(\frac{Wn}{L}\right) (0.25Vdd - Vtn)^2 (1 + \lambda n \times 0.25Vdd)$$

= $\frac{Kp}{2} \left(\frac{Wp}{L}\right) (0.75Vdd - |Vtp|)^2 (1 + \lambda p \times 0.75Vdd)$

可得出 Wn/Wp。

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

