

بسمه تعالی

آموزش نرم افزار Synopsys HSPICE

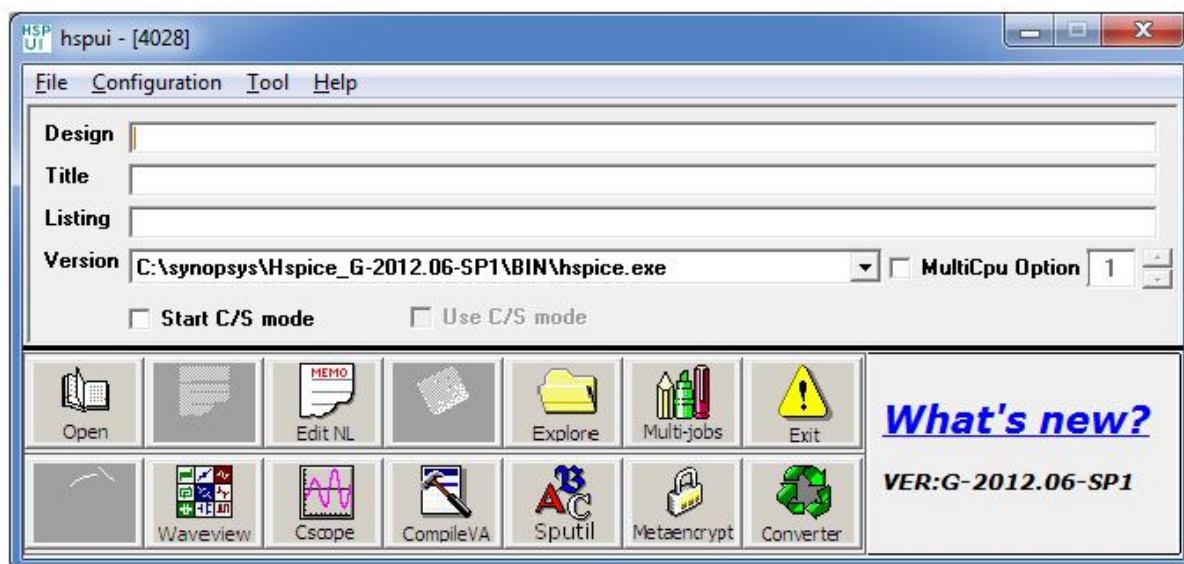
مباحث ویژه در مهندسی الکترونیک

گردآورنده: فرزاد رازی

پاییز ۹۶

بخش اول: آشنایی با محیط نرم افزار HSPICE

هنگامی که برای اولین بار نرم افزار HSPICE را باز می‌نمایید پنجره‌ای مانند شکل ۱-۱ برای شما باز می‌شود. در این پنجره با انتخاب گزینه "Open" می‌توانید فایل netlist شبیه‌سازی که از قبل ایجاد نموده‌اید (فایل با فرمت .sp) را باز نمایید.

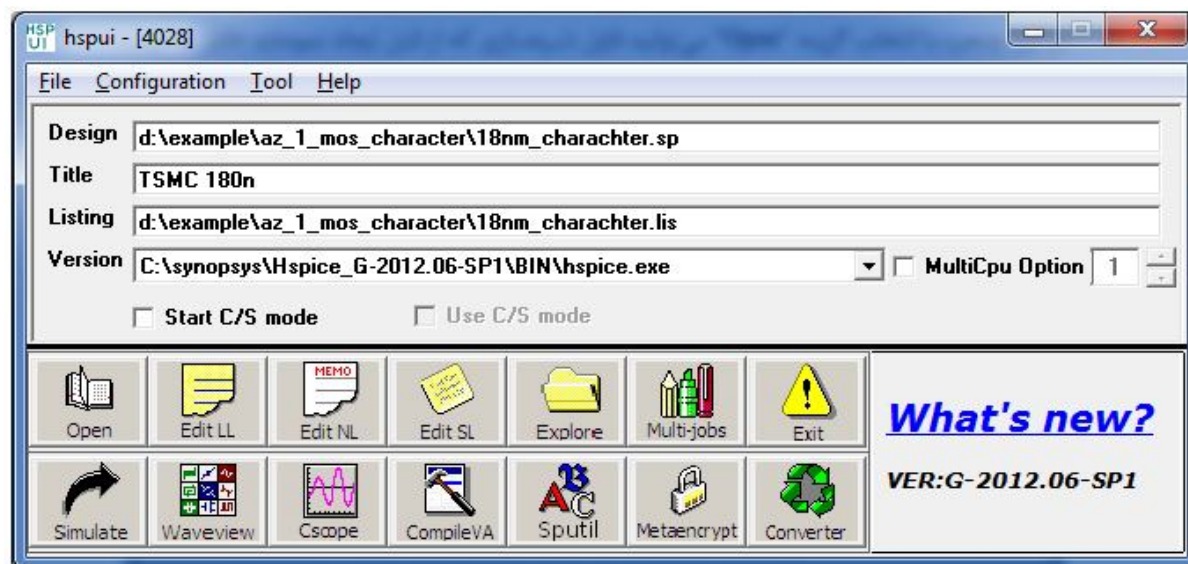


شکل ۱-۱ نمایش از پنجره اصلی برنامه

شکل ۱-۲ پنجره اصلی برنامه پس از باز کردن فایل شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. پنجره اصلی، اطلاعات مربوط به پروژه در حال کار را نشان می‌دهد. در قسمت "Design"، نام فایل "netlist" مداری که در حال حاضر در محیط برنامه باز شده است، قرار دارد. قسمت "Title" حاوی خطوط توضیحی است که در خط اول کد فایل "netlist" نوشته می‌شود و شرح مختصری از شبیه‌سازی مورد نظر را نشان می‌دهد. در قسمت "Listing" نام فایل lis. از پروژه شبیه‌سازی جاری نشان داده می‌شود که در آن اجرای عملیات شبیه‌سازی با جزئیات کامل توسط نرم افزار قرار داده می‌شود تا جهت بررسی بیشتر و یا رفع خطاهای شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گیرد.

برای شروع کار با انتخاب دکمه "Edit LL" می‌توانیم فایل قابل ویرایش شبیه‌سازی را مشاهده نماییم که به صورت یک فایل notepad می‌باشد. از این طریق می‌توان کدهای مربوط به شبیه‌سازی را ایجاد نمود و یا ویرایش کرد. توجه نمایید می‌بایستی پس از ویرایش فایل شبیه‌سازی و قبل از اجرای برنامه حتماً فایل را save نمایید، تا تغییرات اعمال شود.

پس کامل شدن کدهای مربوط به شبیه‌سازی مورد نظر، برای اجرای شبیه‌سازی از پنجره اصلی شکل ۲-۱ دکمه "Simulate" را انتخاب می‌نماییم، تا مرحله شبیه‌سازی آغاز شود. در این هنگام پنجره جدیدی باز می‌شود و مراحل شبیه‌سازی در حال اجرا را نشان می‌دهد. پس از تکمیل شبیه‌سازی این پنجره بسته شده دکمه "Edit LL" فعال می‌گردد.



شکل ۲-۱ نمایی از پنجره اصلی پس از باز نمودن فایل شبیه‌سازی

برای نمایش نتایج حاصل از شبیه‌سازی از دکمه "Edit LL" استفاده می‌نماییم. پس از شبیه‌سازی در همان آدرس فایل شبیه‌سازی، فایلی با فرمت lis. ایجاد می‌گردد که با فشردن دکمه "Edit LL" آن فایل به صورت خودکار باز می‌شود. در فایل به وجود آمده در ابتدا چک می‌نماییم که شبیه‌سازی به درستی و بدون هیچ خطایی کامل شده باشد. همانگونه که در شکل ۳-۱ نشان داده شده است، در صورت درستی در فایل نتایج عبارت "job concluded" و در غیر این صورت عبارت "job aborted" و لیست Error ها آورده می‌شود. اگر در حین عمل شبیه‌سازی خطایی رخ داده باشد، جزئیات مربوط به آن خطا در این فایل وجود خواهد داشت که به کمک آن می‌توانید علت بروز خطا را شناسایی کرده و آن را رفع نمایید. در ادامه فایل lis. مقدار مقادیر اندازه‌گیری شده و سایر نتایج حاصل از شبیه‌سازی آورده شده است.

```

*****
***** option summary
*****
runlvl = 3 bypass = 2
***** job concluded
1***** HSPICE - G-2012.06-SPI 32-BIT (Aug 27 2012) win32 *****
*****
tsmc 180n

```

شکل ۳-۱ محتوی فایل خروجی *.lis* در صورتی درست بودن شبیه سازی

با انجام عمل شبیه سازی، براساس نوع دستورات شبیه سازی که در فایل netlist خود استفاده کرده اید، فایل هایی با پسوندهای مختلف تولید می شود. برخی از مهمترین این پسوندها در جدول ۱-۱ آورده شده است. در مواردی که از یک دستور در کد شبیه سازی چندین بار استفاده نماییم از آن فایل خروجی چند نمونه تولید می شود که علامت # نشان دهنده شماره قایل خروجی است.

جدول ۱-۱ پسوند فایل های خروجی

پسوند فایل	محتویات فایل
.tr#	نتایج تحلیل پاسخ گذرا (Transient)
.sw#	نتایج تحلیل DC (جاروب DC)
.ac#	نتایج تحلیل ac
.mt#	نتایج اندازه گیری های تحلیل پاسخ گذرا
.ms#	نتایج اندازه گیری های تحلیل DC
.ma#	نتایج اندازه گیری های تحلیل ac
.ic	شرایط اولیه مدار

برای مشاهده شکل موج های ورودی، خروجی و گره های میانی مدار و در کل نتایج گرافیکی شبیه سازی می توان از دو گزینه "Waveview" و "Cscope" استفاده نمود. در اینجا به دلیل کارایی و سادگی بیشتر نرم افزار "Cosmos Scope" از محیط "Cscope" استفاده می نماییم که در ادامه به صورت کامل شرح داده خواهد شد.

بخش دوم : آشنایی با کد نویسی در HSPICE

در محیط شبیه سازی HSPICE ترتیب نوشتن خطوط و دستورات مهم نیست. در حالت کلی هر کد شبیه سازی در محیط HSPICE شامل شش بخش کلی می باشد که در زیر به شرح آنها می پردازیم.

(۱) **Title:** اولین سطر فایل یک عنوان اختیاری در رابطه با مدار مورد شبیه سازی می باشد که می تواند حاوی شرح مختصری از عملکرد آن باشد. این خط توسط برنامه شبیه ساز نادیده گرفته می شود و در شبیه سازی تاثیری ندارد

(۲) **Library:** هر مدار برای شبیه سازی نیاز به کتابخانه ای خاص دارد که مشخصات تکنولوژی مورد استفاده در طراحی مدار را شامل می شود. این مشخصات می تواند مواردی مانند خازن ها و مقاومتهای داخلی، مقادیر ثابت، فرمولها و سایر روابط مرتبط با آن تکنولوژی می باشد. ما در اینجا از دو کتابخانه ترانزیستورهای CMOS180 و CMOS32 استفاده می نماییم.

(۳) **Parameters:** در خلال کدنویسی در محیط HSPICE نیازمند تعریف پارامترهایی هستیم که نشان دهنده عدد ثابت و یا متغیر می باشند. برای مثال برای مقدار ولتاژ تغذیه بجای استفاده مکرر از عدد ۱٫۸ ولت میتوان این عدد را به پارامتر Vdd نسبت دهیم و از آن پس از این پارامتر استفاده نماییم. با این کار هم تغییر دادن پارامترها آسانتر می شود و هم کدنویسی ساختار یافته می گردد. در زیر مثالهایی از تعریف پارامتر آورده شده است.

.param Vdd = 1.8v

.param cl = 10nF

(۴) **Circuit Description:** این قسمت بدنه اصلی کد نویسی است که شامل توصیفات مدار موجود می باشد. این توصیفات شامل تعریف المانهای مدار مانند ترانزیستورها، خازن ها مقاومت ها و طریقه اتصال آنها به یکدیگر می باشد. همچنین در این قسمت می توان منابع تغذیه مانند منبع ولتاژ و جریان را تعریف و مقدار دهی نمود.

۵) **Analysis**: این بخش شامل همه دستوراتی است که نحوه شبیه سازی، نوع تحلیل ها، اندازه گیری ها و نحوه خروج داده ها را مشخص می نماید که برای این منظور بایستی از دستوراتی مانند TRAM، DC، MEASURE و غیره استفاده نمود. در ادامه ساختار این دستورات و نحوه استفاده از آنها به طور کامل شرح داده خواهد شد.

۶) **END**: آخرین خط در همه شبیه سازی ها می بایست دستور END باشد که نشان دهنده پایان شبیه سازی است

تخصیص شماره یا اسم به گره

هر مدار شامل چند گره و چند شاخه و یک یا چند ورودی و یک یا چند خروجی خواهد بود. گره ها به دو صورت مشخص می شوند: با نام (حرف یا کلمه) یا با شماره (عدد). در نامگذاری گره ها بصورت غیر عددی، نام گره ها نباید بیشتر از ۱۶ کاراکتر باشد و حتماً با یکی از حروف الفبا آغاز گردد. در نامگذاری می توان از کاراکترهای زیر استفاده کرد.

_ [] < > / - + * % \$ # !

گره ها می توانند از ۰ تا 1E16-1 شماره گذاری شوند. در این میان تنها گره شماره ۰ است که نشان دهنده گره زمین است و با نمادهای GND یا GND! یا GRONND هم نشان داده می شود. ترتیب شماره گذاری بقیه گره ها مهم نیست. در شماره گذاری گره ها می توان بجای اعداد از اسمهای مختلفی (جهت خوانا تر شدن یا معنی دار شدن اسم گره ها) از جمله in1, in2, out1, out2 و غیره استفاده کرد.

روش بیان المانها

در برنامه HSpice هر نوع عنصر یا المان مدار دارای یک اسم است که این اسم با یک حرف مشخص شروع می شود. جدول ۱-۲ اولین حرف در نامگذاری اجزاء مدار را برای المان های مختلف مشخص می کند. اسم هر عنصر می تواند دارای ۱۶ کاراکتر مختلف باشد و از آن ۱۶ کاراکتر حرف اول حتماً باید مطابق جدول قبل انتخاب گردد بقیه کاراکترها می توانند شامل حرف و عدد باشند که بطور دلخواه انتخاب می گردند. در اسم گذاری تفاوتی بین حروف کوچک و بزرگ وجود ندارد.

جدول ۱-۲ حروف اول نام المان‌های مختلف

B	بافر	K	ضریب کوپلاژ
C	خازن	L	سلف
D	دیود	M	ترانزیستور ماسفت
E	منبع ولتاژ وابسته به ولتاژ	Q	ترانزیستور BJT
F	منبع جریان وابسته به جریان	R	مقاومت
G	منبع جریان وابسته به ولتاژ	T , U , W	خطوط انتقال
H	منبع ولتاژ وابسته به جریان	V	منبع ولتاژ مستقل
I	منبع جریان مستقل	X	فراخوانی زیر مدار
J	ترانزیستور جی فت و مسفت		

بطور کلی فرمت نوشتن یک عنصر دو سر از یک مدار در برنامه HSPICE به صورت زیر می‌باشد:

مقدار N+ N- نام المان

N+ و N- نام دو گره است که در دو سر المان قرار گرفته است و جریان از گره N+ (با پتانسیل بیشتر) به سمت گره N- (با پتانسیل کمتر) حرکت می‌کند. در زیر چند مثال آورده شده است:

R1 net1 net2 10KOHM

Cload out1 0 10pf

L1 2 3 1mH

مقادیر اجزاء مدار در برنامه HSPICE می‌توانند اعداد صحیح مثبت و منفی و یا اعشاری و یا نمایی باشند. برای مثال اعدادی مثل 12, -0.012 و $12E-4$ قابل قبول هستند. همچنین برای ضریب اعداد می‌توان از پسوندهای لاتین استفاده نمود. در جدول زیر نماد ضرایب اعداد و واحدهای استاندارد پارامترها که به صورت پیش‌فرض در HSPICE قرار دارند، آورده شده است.

جدول ۲-۲ نماد ضرایب اعداد و واحدهای استاندارد پارامترها

A	1e-18	K	1e3
F	1e-15	MEG (or X)	1e6
P	1e-12	MI	25.4e6
N	1e-9	G	1e9
U	1e-6	T	1e12
M	1e-3		

A	آمپر	H	هانری
V	ولت	F	فاراد
Hz	هرتز	DEG	درجه
OHM	اهم		

یکی از مهمترین اجزای مدارهای دیجیتال ترانزیستورها هستند. ترانزیستورهای انواع مختلفی مانند MOSFET, BJT, JFET و CNEFT دارند که در این درس فقط به توضیح ترانزیستورهای MOSFET پرداخته خواهد شد.

برای تعریف ترانزیستور MOSFET در ابتدا باید از حرف M استفاده نمود و در پس آن میتوان هر اسم مجاز دیگری را قرار داد. پارامترهای بعدی به ترتیب گره‌هایی هستند که نشان دهنده پایه‌های درین (nd)، گیت (gd) و سورس (sd) می‌باشند. پارامتر nb نشان دهنده پایه بدنه ترانزیستور است که می‌بایستی در ترانزیستورهای نوع nMOS به زمین و در ترانزیستورهای نوع pMOS به Vdd متصل شوند (در صورت عدم نیاز به بایاس بدنه). Mname پارامتری است که دو نوع ترانزیستور nMOS و pMOS را از یکدیگر متمایز می‌نماید.

در زیر نحوه تعریف ترانزیستور و خصوصیات آن آورده و سپس برای درک بهتر یک مثال زده شده است. جدول ۲-۳ علایم اختصاری و توضیحی مختصر راجب پارامترهای دیگر این المان را نشان می‌دهد.

Mxxx nd ng ns <nb> mname <<L = >length> <<W = >width>
+ <AD = val> AS = val> <PD = val> <PS = val>
+ <NRD = val> <NRS = val> <RDC = val> <RSC = val> <OFF>
+ <IC = vds,vgs,vbs> <M = val> <DTEMP = val>
+ <GEO = val> <DELVTO = val>

مثال :

M1 vdd gate source 0 nmos L=.35u W=10u

جدول ۲-۳ پارامترهای مربوط به ترانزیستورهای MOSFET

L	طول کانال ترانزیستور (متر)
W	پهنای کانال ترانزیستور (متر)
AD	مساحت درین
PD	محیط درین با احتساب گوشه های کانال
PS	محیط سورس با احتساب گوشه های کانال
OFF	حالت اولیه ترانزیستور در لحظه صفر
DTEMP	اختلاف دمای ترانزیستور و مدار (درجه سلسیوس)

روشهای تعریف منبع تغذیه:

از دیگر المانهای مهم در مدارهای دیجیتال منابع تغذیه می باشند. منابع تغذیه انواع گوناگونی دارند و غالبا وظیفه آنها اعمال ورودی به مدار است. انواع مختلفی از منابع مستقل وجود دارند که از مهمترین آنها می توان به منابع DC، منابع AC، منابع پالسی (Pulse)، منابع پاره خطی (PWL: Piece Wise Linear)، منبع FM و AM اشاره کرد. در اینجا به صورت کاملتر راجب برخی از منابع پر کاربرد صحبت خواهد شد و به ارائه مثالهایی از آنها می پردازیم.

منبع ولتاژ یا جریان DC:

برای تعریف منبع جریان در HSPICE می بایستی در ابتدای نام منبع از حرف V استفاده نمود، همچنین برای تعریف منبع جریان از حرف I استفاده می شود. در ادامه گره های نشان دهنده پایه های مثبت (N+) و منفی

(N-) آورده شده و سپس نوع آن که DC است، مشخص می‌شود. در آخر مقدار منبع DC برای کار در مدار تعیین می‌شود. در زیر شاختر کلی برای منبع ولتاژ و جریان DC به همراه مثالی آورده شده است.

Vx N+ N- DC Value → VVdd net1 0 DC 1.8v
Ix N+ N- DC Value → Ims ina n12 DC 10mA

در مثال اول یک منبع ولتاژ با نام Vdd تعریف شده است که پایه مثبت آن net1 و پایه منفی آن زمین می‌باشد. همچنین مقدار این منبع ۱٫۸ ولت می‌باشد. مثال دوم نیز یک منبع جریان بین گره‌های ina و n12 می‌باشد که مقدار آن ۱۰ میلی آمپر است.

منابع جریان AC هم به همین صورت می‌باشد با این تفاوت که نوع آنها به جای CD، نوع AC می‌باشد و در آخر فاز منبع جریان مشخص می‌شود. فرمت کلی منابع AC در زیر آورده شده است.

Vx N+ N- AC Value Phase
Ix N+ N- AC Value Phase

منبع ولتاژ یا جریان پالسی:

این نوع منابع برای تجزیه و تحلیل گذرای (Transient) مدارها استفاده می‌شوند. و به ترتیب دارای شکل کلی زیر می‌باشند.

Vx N+ N- Pulse V1 V2 TD TR TF PW PER
Ix N+ N- Pulse V1 V2 TD TR TF PW PER

مثال:

Vin ina 0 Pulse 0 5V 5uS 5uS 10uS 500uS 1ms

یعنی منبع ولتاژ پالسی بین گره‌های ina و صفر که دارای ولتاژ اولیه صفر بوده، پس از تأخیر TD=5uS به مقدار ۵ ولت می‌رسد و به اندازه PW=500uS در ۵ ولت باقی می‌ماند. این کار به صورت دوره‌ای هر 1ms تکرار می‌شود. همچنین مقدار زمان Rise برابر 5us و زمان Fall برابر یا 10us می‌باشد.

منبع ولتاژ یا جریان پاره خطی (Piece Wise Linear):

این نوع منبع یکی از پرکاربردترین انواع منبع جریان می باشد و کارایی زیادی برای تجزیه و تحلیل گذرای (Transient) مدارها استفاده می شوند. شکل کلی این منبع به صورت زیر می باشد.

V _x	N ⁺	N ⁻	PWL	T ₁	V ₁	T ₂	V ₂	T ₃	V ₃	...	T _n	V _n	R	T _d
I _x	N ⁺	N ⁻	PWL	T ₁	I ₁	T ₂	I ₂	T ₃	I ₃	...	T _n	I _n	R	T _d

این منبع از تعدادی زوج نقطه زمان-مقدار تشکیل شده است، به طوریکه منبع ولتاژ در لحظه T_i دارای ولتاژ V_i می باشد. با اتصال زوج نقطه ها متوالی به یکدیگر نمودار شکل خواهد گرفت که از زمان T_d شروع شده و R بار تکرار می گردد. در زیر مثالی از این منبع ولتاژ آورده شده است.

Vin 1 0 PWL 0 0 8us 24v 16us 32v 28us 32v 34us 12v 44us 0v

