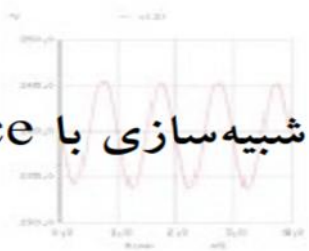
مقدمه ای بر تحلیل مدارها با
Hspice



خودآموز شبیه‌سازی با HSpice

تهیه کننده :

کاظم فریدی

دانشجوی کارشناسی ارشد

مهندسی معماری سیستمهای کامپیوتری

دانشگاه آزاد اسلامی واحد بافت

فهرست

مقدمه ۲

بخش اول- شبیه‌سازی ۳

معرفی نرم‌افزار و بخش‌های مختلف آن ۳

شروع یک پروژه شبیه‌سازی در HSpice ٤

فایل‌های خروجی حاصل از شبیه‌سازی ٥

بخش دوم- رسم شکل موج‌ها در نرم‌افزار AvanWaves ٦

معرفی نرم‌افزار AvanWaves و بخش‌های مختلف آن ٦

مشاهده خروجی‌های حاصل از شبیه‌سازی- پنجره Results Browser ۷

رسم شکل موج‌ها ۹

مشخص کردن مقادیر و انجام اندازه‌گیری‌ها بر روی شکل موج ۱۲

تنظیمات پیشرفته نمایش شکل موج ۱٦

انجام محاسبات بر روی خروجی‌های حاصل از شبیه‌سازی ۱۸

بخش سوم- شبیه‌سازی و تحلیل همزمان چند مدار ۲۲

شبیه‌سازی همزمان مدارها در HSpice ۲۳

نمایش همزمان خروجی حاصل از چند مدار در نرم‌افزار AvanWaves ۲٤

پنجره Current Design ۲٦

رسم شکل موج‌ها ۲٦

بخش چهارم - ضمایم ۲۹

فایل‌های netlist مدارها ۲۹

مراجع ۳۲

مقدمه

در این خودآموز نحوه شروع یک پروژه شبیه‌سازی در نرم‌افزار HSpice، تولید شکل موج‌های خروجی و نیز روش ترکیب شکل موج‌ها از چندین مدار را شرح می‌دهیم. نسخه HSpice مورد استفاده در مثال‌های انجام شده در این خودآموز نسخه ۲۰۰۵ است، بنابراین در صورتی که شما از نسخه دیگری از این نرم‌افزار استفاده می‌کنید، برخی از تصاویر نشان داده شده در این خودآموز به نسخه مورد استفاده ممکن است متفاوت باشد. اما توابع اصلی اساساً در نسخه‌های مختلف بدون تغییر باقی می‌مانند.

در این راهنما فرض بر این است که فایل‌های netlist را آماده کرده‌اید و این فایل‌ها بدون خطاهای دستوری می‌باشند. اگر در رابطه با نحوه نوشتن فایل‌های netlist اطلاعات کافی ندارید، به راهنماهای مربوطه مراجعه نمایید.

بخش اول- شبیه‌سازی

معرفی نرم‌افزار و بخش‌های مختلف آن

برنامه HSpice 2005 را با اجرای برنامه Hspui X-2005.09 از منوی Programs ویندوز تحت زیرمنوی HSPICE X-2005.09 اجرا نمایید. در شکل زیر نمایی از پنجره اصلی نرم‌افزار نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌کنید، یک پروژه شبیه‌سازی در آن باز شده و آماده شبیه‌سازی می‌باشد. در قسمت‌هایی از این خودآموز از این مدار نمونه برای ارائه مثال‌ها استفاده خواهیم کرد. مدار مذکور، یک مدار گیت XOR می‌باشد که با استفاده از ترانزیستورهای MOSFET ساخته شده است. فایل netlist مربوط به این مدار در قسمت ضمایم همین خودآموز موجود است. همچنین فایل آماده آن نیز به فایل PDF همین خودآموز ضمیمه شده است.

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 ابتدای فایل netlist است که به عنوان توصیفی کلی از پروژه شبیه‌سازی جاری نشان داده می‌شود. در قسمت Listing نام فایل lis. خروجی نشان داده شده است. در فایل lis. مراحل اجرای عملیات شبیه‌سازی با جزئیات کامل توسط نرم‌افزار قرار داده می‌شود تا جهت بررسی بیشتر و یا رفع خطاهای شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گیرد.

نوار کنترل موجود در قسمت پایین پنجرهٔ نرم‌افزار، امکان دسترسی به بخش‌های مختلف آن را فراهم می‌کند. در اینجا تنها به صورت اجمالی به نحوه عملکرد هر یک از این دکمه‌ها اشاره می‌کنیم. توضیحات کامل مربوط به بخش‌های اصلی، در ادامه این خودآموز آورده شده است.

با استفاده از دکمه Open می‌توانید فایل netlist مربوط به مدار خود را به برنامه معرفی کنید. با این کار یک پروژه شبیه‌سازی جدید آغاز می‌شود.

دکمه Simulate جهت انجام عملیات شبیه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. پروژه‌های شبیه‌سازی همزمان را نیز می‌توان با استفاده از دکمه Multi-jobs مدیریت کرد.

دکمه AvanWaves، نرم‌افزار AvanWaves را که به همراه بسته نرم‌افزاری HSpice ارائه می‌شود باز می‌کند. نرم‌افزار AvanWaves محیطی را جهت رسم و مشاهده خروجی‌های حاصل از شبیه‌سازی فراهم می‌کند. دکمه Cscope برای ارتباط با نرم‌افزار CosmosScope قرار داده شده است. این نرم‌افزار نیز مشابه نرم‌افزار AvanWaves برای رسم و مشاهده شکل موج‌های خروجی حاصل از شبیه‌سازی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. اما با توجه به اینکه این نرم‌افزار به همراه HSpice عرضه نمی‌شود، در اینجا تنها از نرم‌افزار AvanWaves جهت رسم شکل موج‌ها استفاده خواهیم کرد.

برای دسترسی سریع‌تر به فایل‌های netlist و lis. مربوط به پروژه جاری، دو دکمه Edit NL و Edit LL در این قسمت قرار داده شده‌اند. دکمه Exit نیز برای اتمام کار با نرم‌افزار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

شروع یک پروژه شبیه‌سازی در HSpice

جهت آغاز یک پروژه شبیه‌سازی می‌بایست ابتدا مدار خود را در قالب یک فایل netlist قابل استفاده در HSpice توصیف کنید. یک فایل netlist، علاوه بر تعیین مشخصات کلیه قطعات و افزاره‌های مورد استفاده در مدار و نحوه سیم‌بندی آن، خروجی‌های مورد انتظار شما از شبیه‌سازی را نیز تعیین می‌کند.

پس از اینکه فایل netlist مدار مورد نظر را آماده کردید، باید آن را به برنامه HSpice معرفی نمایید تا عمل شبیه‌سازی بر اساس آن انجام گیرد. برای این کار، دکمه Open را فشار دهید تا پنجره Open Design ظاهر شود. در این پنجره که مشابه پنجره‌های Open استاندارد در ویندوز می‌باشد، به مسیر حاوی فایل مربوطه رفته و فایل netlist مدار را که معمولاً دارای پسوند sp. است، انتخاب نمایید. در صورتی که فایل خود را با پسوند دیگری ذخیره کرده‌اید، برای مشاهده و انتخاب آن، در قسمت پایین پنجره، حالت Files of type را به All Files تغییر دهید.

با انتخاب فایل موردنظر و انتخاب دکمه Open در کادر مکالمه، HSpice فایل netlist مدار را باز کرده و اطلاعات مربوط به آن را در محل‌های Design، Title و Listing که در بالا توضیح داده شدند، قرار می‌دهد.

اکنون برای انجام عمل شبیه‌سازی، دکمه Simulate را فشار دهید. با این کار HSpice به طور خودکار کلیه مراحل شبیه‌سازی را انجام داده و در صورت عدم وجود خطا در فایل netlist، خروجی‌های شبیه‌سازی را در فایل‌های جداگانه در همان دایرکتوری که فایل netlist مدار قرار دارد، ذخیره می‌کند. تعداد و نوع این فایل‌ها بسته به انواع و تعداد شبیه‌سازی متفاوت است. برخی از مهمترین این فایل‌ها در بخش "فایل‌های خروجی حاصل از شبیه‌سازی" در همین خودآموز معرفی شده‌اند.

در صورتی که فایل netlist، حاوی خطای دستوری باشد (به عنوان مثال ممکن است دو node مختلف در مدار را با نام یکسان تعریف کرده باشید)، عمل شبیه‌سازی بدون تولید خروجی متوقف می‌شود. بنابراین برای اطمینان از اینکه عمل شبیه‌سازی با موفقیت انجام شده و فایل‌های خروجی جدیدی تولید شده است، می‌توانید فایل lis. را با فشار دکمه Edit LL مشاهده نمایید. 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.

فایل‌های خروجی حاصل از شبیه‌سازی

با انجام عمل شبیه‌سازی، براساس نوع دستورات شبیه‌سازی که در فایل netlist خود استفاده کرده‌اید، فایل‌هایی با پسوندهای مختلف تولید می‌شود. برخی از مهمترین این پسوندها در جدول زیر آورده شده است.

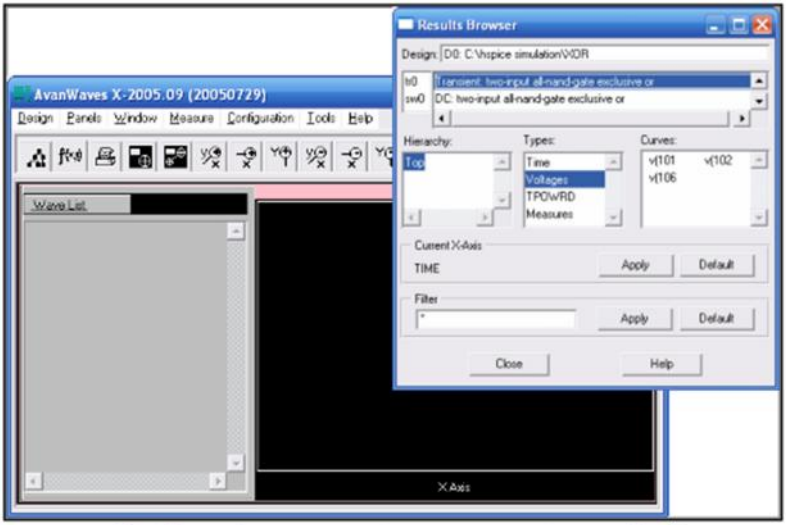
محتویات فایل	پسوند فایل
نتایج تحلیل پاسخ گذرا(Transient)	.tr#
نتایج تحلیل DC (جاروب DC)	.sw#
نتایج تحلیل ac	.ac#
نتایج اندازه‌گیری‌های تحلیل پاسخ گذرا	.mt#
نتایج اندازه‌گیری‌های تحلیل DC	.ms#
نتایج اندازه‌گیری‌های تحلیل ac	.ma#
شرایط اولیه مدار	.ic

در این جدول # به عنوان شماره شبیه‌سازی است که این خروجی مربوط به آن می‌باشد. بطور مثال، اگر در فایل netlist خود دو دستور جاروب DC و یک دستور محاسبه پاسخ گذرا داشته باشید، پس از پایان موفقیت‌آمیز شبیه‌سازی، دو فایل mydesign.sw0 و mydesign.sw1 حاوی خروجی مربوط به دو تحلیل DC و فایل mydesign.tr0 محتوی نتایج حاصل از تحلیل پاسخ گذرا می‌باشد. در این مثال نامگذاری فرض کردیم که نام فایل netlist مدار، mydesign.sp باشد.

بخش دوم- رسم شکل موج‌ها در نرم‌افزار AvanWaves

معرفی نرم‌افزار AvanWaves و بخش‌های مختلف آن

برای دسترسی به برنامه AvanWaves، دکمه AvanWaves را در پنجره اصلی نرم‌افزار HSpice فشار دهید. توجه نمایید در صورتی که یک پروژه شبیه‌سازی را در HSpice باز کرده باشید، ولی عمل شبیه‌سازی را برای تولید فایل‌های خروجی انجام نداده باشید، با باز کردن برنامه AvanWaves به این طریق، پیام هشداری مبنی بر عدم وجود داده‌های لازم جهت رسم شکل موج‌ها دریافت خواهید کرد. بنابراین قبل از اجرای برنامه، مدار خود را در HSpice شبیه‌سازی کرده و از اتمام موفقیت‌آمیز عمل شبیه‌سازی اطمینان حاصل نمایید. ما مدار نمونه خود را شبیه‌سازی کرده و برنامه AvanWaves را اجرا کرده‌ایم. مدار نمونه، یک گیت XOR می‌باشد که در قسمت ضمایم همین خودآموز آورده شده است. شکل زیر وضعیت برنامه را بلافاصله پس از اجرای آن نشان می‌دهد.



در برنامه AvanWaves، هر ترسیم شکل موج می‌بایست بر روی یک صفحه ترسیم که به آن اصطلاحاً Panel گفته می‌شود انجام گیرد. هیچگونه محدودیتی در تعداد Panelهای مورد استفاده وجود ندارد، ولی در هر لحظه تنها امکان مشاهده همزمان تعداد محدودی از آنها در پنجره برنامه AvanWaves وجود دارد. ما کار خود را بر روی یک Panel، که از ابتدا وجود داشته است، ادامه

می‌دهیم. معمولاً زمانی به تعداد Panelهای بیشتری نیاز خواهید داشت که بخواهید دو یا چند شکل موج متفاوت را همزمان رسم و مشاهده نمایید.

همانطور که مشاهده می‌کنید، با اجرای برنامه AvanWaves پنجره دیگری بنام پنجره Results Browser نیز بطور خودکار باز شده است. این پنجره، همانطور که از نام آن پیداست، کلیه نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدار در HSpice را بصورت گروه‌بندی شده و براساس نوع شبیه‌سازی در اختیار قرار می‌دهد. در واقع با اجرای برنامه AvanWaves، این برنامه بطور خودکار کلیه نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدار جاری در HSpice را شناسایی کرده و آن‌ها را در پنجره Results Browser قابل دسترسی می‌سازد. می‌توانید از منوی Tools تحت فرمان Results Browser به این پنجره دسترسی داشته باشید. در قسمت بعدی بطور دقیق‌تر محتویات این پنجره را مورد بررسی قرار خواهیم داد.

نرم‌افزار AvanWaves امکانات کاملی را برای رسم شکل موج‌ها، انجام اندازه‌گیری‌ها بر روی آنها، ذخیره و مشاهده آنها فراهم می‌کند. دسترسی به تمام این امکانات و فرامین مربوطه از طریق منوهای مختلف این نرم‌افزار امکان‌پذیر می‌باشد که در بخش‌های بعدی این خودآموز به آنها خواهیم پرداخت.

مشاهده خروجی‌های حاصل از شبیه‌سازی- پنجره Results Browser

همانطور که قبلاً اشاره شد، پنجره Results Browser کلیه نتایج موجود را که در طول عمل شبیه‌سازی تولید شده‌اند، در اختیار شما قرار می‌دهد. شکل زیر این پنجره را پس از انجام عمل شبیه‌سازی و اجرای برنامه AvanWaves نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌نمایید، کلیه موارد شبیه‌سازی‌شده در قسمت بالای این پنجره لیست شده‌اند که با انتخاب هر یک از آنها، داده‌های مربوط به آن (نظیر ولتاژها و جریان‌ها) در قسمت میانی پنجره بصورت گروه‌بندی شده بر اساس نوع داده (مثلاً گروه Voltages حاوی کلیه ولتاژهای اندازه‌گیری شده و یا گروه Currents حاوی کلیه جریان‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد) نشان داده می‌شود. بطور مثال، در شکل زیر اولین مورد شبیه‌سازی شده که یک تحلیل پاسخ گذرا بوده است، انتخاب‌شده است. در قسمت میانی پنجره در قسمت Types، انواع داده‌های موجود در این شبیه‌سازی نشان داده شده است (زمان (Time)، ولتاژها (Voltages)، توان مصرفی (TPOWRD)، مقادیر اندازه‌گیری شده (Measures)). اکنون با انتخاب هر یک از این گروه‌ها، مثلاً گروه Voltages، کلیه داده‌های از آن نوع (ولتاژها در شکل زیر) که قابل رسم بصورت شکل موج هستند، در قسمت Curves نمایش داده می‌شوند. با توجه به این شکل، ولتاژ گره‌های 101، 102 و 106 موجود و قابل استفاده می‌باشند. در حقیقت آنچه که از این پنجره برای شما در رسم شکل موج‌ها قابل استفاده خواهد بود همین مقادیر لیست شده در قسمت Curves می‌باشند. نحوه رسم شکل موج برای این مقادیر در قسمت بعدی شرح داده خواهد شد.

نکته دیگری که باید به آن توجه کرد، زمانی پیش می‌آید که از یک نوع شبیه‌سازی (مثلاً جاروب DC) چند مورد در فایل netlist شما موجود باشد. همانطور که در شکل نیز مشاهده می‌کنید، ما برای مدار نمونه خود یک تحلیل پاسخ گذرا و دو تحلیل DC (جاروب DC) انجام داده‌ایم که خطوط متناظر با آنها در داخل فایل netlist مدار ما به این صورت بوده است:

```
**Specify analysis and display
.DC VA 0 3.3 .01 VB 0 0 0.1
.DC VB 0 3.3 .01 VA 0 0 0.1
.PROBE V(106)
*Delays and Power
.TRAN .01N 20N
```

نتایج مربوط به پاسخ گذرا، با توجه به اینکه تنها یک نمونه از این نوع تحلیل داشته‌ایم، مسلماً اولین مورد لیست شده در قسمت فوقانی پنجره Results Browser (یعنی مورد مشخص شده با پیشوند Transient) می‌باشد. اما از دو مورد دیگر لیست شده در این پنجره، یعنی دو گزینهٔ دارای عنوان مشابه DC: two-input all-nand-gate exclusive or، کدامیک مربوط به اولین تحلیل DC، یعنی دستور

```
.DC VA 0 3.3 .01 VB 0 0 0.1
```

و کدامیک مربوط به دومین تحلیل DC، یعنی دستور

```
.DC VB 0 3.3 .01 VA 0 0 0.1
```

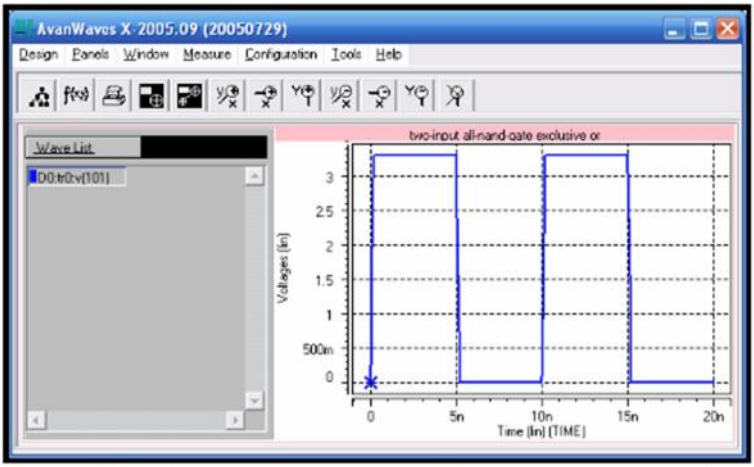
می‌باشد؟

از قسمت "فایل‌های خروجی حاصل از شبیه‌سازی" در همین خودآموز بیاد دارید که HSpice خروجی‌های حاصل از هر نوع شبیه‌سازی را در فایلی با نام ویژه ذخیره می‌کند و بسته به تعداد شبیه‌سازی‌های از یک نوع، به انتهای پسوند فایل خروجی، یک شماره اختصاص می‌دهد که این شماره همان شماره ترتیب شبیه‌سازی‌ها است. با انجام شبیه‌سازی این مدار نیز با توجه به وجود دو دستور تحلیل DC، دو فایل خروجی با پسوندهای sw0. و sw1. تولید می‌شود (فایل‌های xor.sw0 و xor.sw1) که یکی حاوی نتایج اولین جاروب DC و دیگری حاوی نتایج مربوط به دومین جاروب DC می‌باشد. نرم‌افزار HSpice این شماره‌های مربوط به فایل‌ها را براساس ترتیبی که این دستورات در فایل netlist آمده‌اند، به فایل‌ها اختصاص می‌دهد. بنابراین، در اینجا نتایج اولین دستور جاروب DC در فایلی با پسوند sw0. و نتایج دومین دستور جاروب DC در فایلی با پسوند sw1. ذخیره شده است و برنامه

AvanWaves نیز این را می‌داند و نوع محتویات هر فایل خروجی را براساس همین قاعده تشخیص می‌دهد. اگر در شکل بالا دقت کنید متوجه همین پسوندها در سمت چپ لیست موجود در قسمت فوقانی این پنجره می‌شوید. اولین پسوند که tr0 می‌باشد مربوط به تحلیل پاسخ گذراست که تنها یک مورد از آن وجود داشته است.

رسم شکل موج‌ها

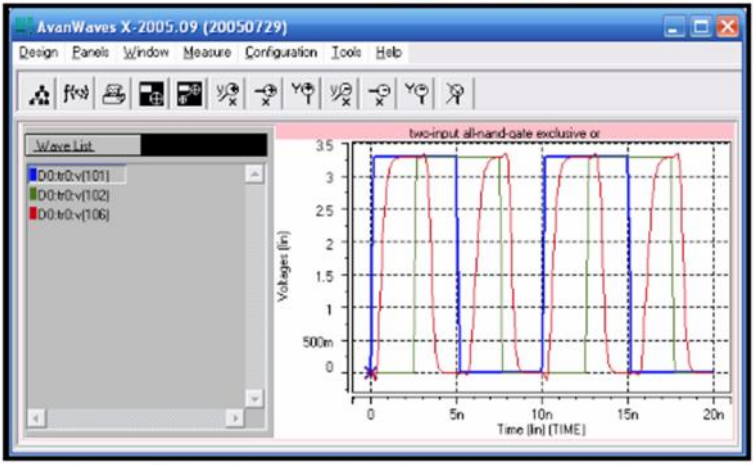
تا اینجا شبیه‌سازی مدار را با موفقیت به اتمام رسانده و خروجی‌های مورد نظر را نیز در پنجره Results Browser شناسایی کرده‌ایم. اکنون زمان رسم شکل موج‌ها رسیده است. این کار نیز تقریباً به سادگی انجام عمل شبیه‌سازی است؛ تنها کافی است که داده مورد نظر برای رسم (مثلاً ولتاژ گره 101 در تحلیل پاسخ گذرا) را با دکمه وسط ماوس، بر روی صفحه ترسیم (Panel) کشیده و رها کنید. برای این کار ابتدا در پنجره Results Browser داده مورد نظر را در گروه‌های موجود شناسایی کرده، با دکمه وسط ماوس بر روی آن کلیک کنید. در همین حال که دکمه وسط ماوس را پایین نگه داشته‌اید، اشاره‌گر ماوس را حرکت داده و آن را بر روی یکی از Panelهای پنجره اصلی برنامه AvanWaves حرکت دهید. اکنون با رها کردن دکمه وسط ماوس شکل موج مربوط به داده مورد نظر (به عنوان مثال ولتاژ گره با شماره 101) در صفحهٔ ترسیم رسم می‌شود. در شکل زیر این شکل موج به این روش رسم شده است.



همانطور که ملاحظه می‌کنید، ما جهت نمایش بهتر شکل موج، رنگ پشت زمینه صفحهٔ ترسیم را به رنگ سفید درآورده‌ایم. این کار براحتی از طریق منوی Window تحت فرمان Flip Color قابل انجام است. تغییر رنگ صفحه ترسیم، خصوصاً در مواقعی که می‌خواهید نمودارهای خود را بر روی کاغذ چاپ کنید، بسیار مفید واقع می‌شود.

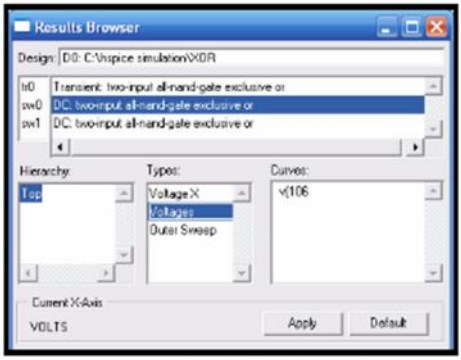
بیایید کار را با رسم شکل موج‌های دیگری ادامه دهیم. فرض کنید می‌خواهیم در مدار خود، شکل موج ولتاژ دوسرِ ورودی (یعنی گره 102 – گره 101 اولین ورودی مدار است) و نیز شکل موج ولتاژ خروجی مدار (یعنی گره 106) حاصل از تحلیل پاسخ گذرا را همزمان مشاهده کرده و با یکدیگر مقایسه نماییم. با توجه به اینکه هر سه‌ی این مقادیر بر حسب متغیر زمان واحدی رسم خواهند شد،

می‌توانیم هر سه‌تای آنها را بر روی یک صفحهٔ ترسیم با محورهای X و Y مشترک نمایش دهیم. برای این کار، داده‌های مربوط به ولتاژ گره‌های 102 و 106 را از پنجره Results Browser به همان روشی که برای گره 101 انجام دادید، با دکمه وسط ماوس گرفته و بر روی همان Panelای که قبلاً ولتاژ گره 101 را بر روی آن رسم کرده بودید، کشیده و رها کنید. اگر داده‌های خود را درست انتخاب کرده باشید، باید به نتیجه‌ای مشابه با شکل زیر برسید.



نگران تفاوت رنگ و شکل خطوط نمودارهای خود با نمودارهای نشان داده شده در اینجا نباشید. در هنگام رسم هر شکل موج جدید، برنامه AvanWaves رنگ و شکل خط خاصی را برای شکل موج جدید انتخاب می‌کند. البته می‌توانید این تنظیمات را براساس سلیقه و نیاز خود تغییر دهید. این تنظیمات در قسمت "تنظیمات پیشرفته نمایش شکل موج" در همین خودآموز شرح داده شده است.

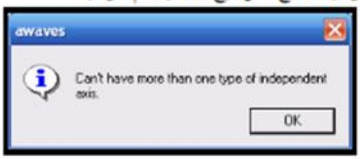
حال بیایید شکل موج ولتاژ DC حاصل از اولین جاروب DC انجام شده در حین شبیه‌سازی را رسم نماییم. برای این کار، نخست باید قلم داده مربوط به این پارامتر را در پنجره Results Browser پیدا کنیم. بنابراین دومین گزینه در لیست موجود در قسمت بالایی این پنجره را که متناظر با فایل با پسوند sw0 (یعنی نتایج مربوط به اولین تحلیل DC) می‌باشد را انتخاب کرده، سپس در بخش Types گروه Voltages را انتخاب می‌کنیم زیرا به دنبال رسم ولتاژ DC هستیم و بنابراین باید داده مورد نظر خود را در گروه ولتاژها جستجو کنیم (شکل زیر).



همانطور که در شکل مشاهده می‌کنید، در قسمت Curves تنها یک ولتاژ قابل دسترسی وجود دارد که آن هم ولتاژ گره 106 (خروجی مدار) می‌باشد، زیرا ما در فایل netlist مدار خود با آوردن دستور زیر از HSpice خواسته‌ایم که تنها ولتاژ این گره را در فایل‌های نتیجه ذخیره نماید و علاقه ای به داشتن ولتاژ گره‌های دیگر مدار در این تحلیل DC نداشته‌ایم:

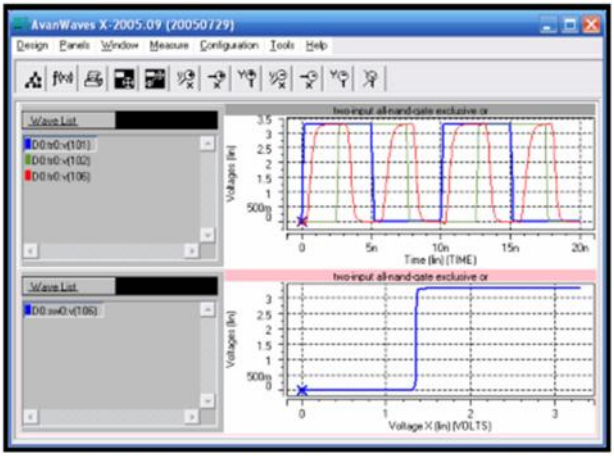
.PROBE V(106)

بنابراین تنها می‌خواهیم که شکل موج DC ولتاژ گره 106 را در این تحلیل DC مشاهده نماییم. برای انجام این کار نیز مشابه حالت قبل، داده مورد نظر را با دکمه وسط ماوس گرفته و بر روی همان Panelای که شکل موج‌های قبلی بر روی آن قرار دارند، کشیده و رها کنید. بله، با خطای زیر مواجه می‌شوید و هیچ شکل موج جدیدی رسم نمی‌شود:



همانطور که به خاطر دارید ولتاژهای قبلی ما که مربوط به تحلیل پاسخ گذرا بودند، براساس متغیر زمان (Time) رسم شده بودند، یعنی محور X نمودار، متغیر زمان را نشان می‌داد. در حالی که در این تحلیل DC، ولتاژ گره 106 براساس ولتاژ گره‌های ورودی محاسبه شده است و بنابراین محور X در حین رسم آن باید ولتاژ باشد نه زمان؛ و از آنجا که امکان نمایش همزمان دو متغیر مستقل بر روی یک محور وجود ندارد، AvanWaves نمی‌تواند آن را رسم کند و این پیغام خطا را نمایش می‌دهد. بنابراین باید این ولتاژ را در Panel دیگری رسم کنیم.

برای افزودن یک صفحه ترسیم (Panel) جدید، از منوی Panels فرمان Add را انتخاب کنید و یا ترکیب کلیدی Ctrl+A را یکبار فشار دهید. به این ترتیب AvanWaves یک Panel دیگر در زیر Panel قبلی که شکل موج‌های قبلی را بر روی آن رسم کرده بودیم، اضافه می‌کند. اکنون ولتاژ گره 106 را از پنجره Results Browser با دکمه وسط ماوس گرفته و بر روی Panel خالی جدیدی که اضافه کرده‌اید، کشیده و رها کنید. با این کار شکل موج مربوط به این ولتاژ رسم می‌گردد (شکل زیر).

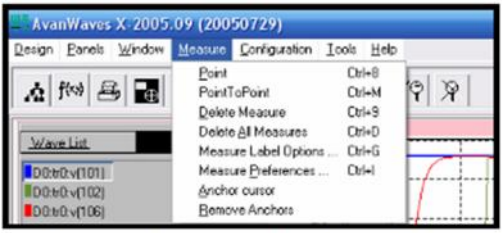


بهتر است کل کاری را که تا اینجا انجام داده‌ایم ذخیره نماییم تا بتوانیم بعدها نیز این شکل موج‌ها را به همین شکل داشته باشیم. برای این کار وارد منوی Configuration شده و فرمان Save را انتخاب کنید. در پنجره‌ای که باز می‌شود، باید نامی را وارد کنید تا این شکل موج‌ها به آن نام ذخیره شود. در هنگام ذخیرهٔ شکل موج‌ها این نکته مهم را به خاطر داشته باشید که با این کار تصویر خود شکل موج‌ها ذخیره نمی‌شود، بلکه تنظیمات جاری Panelها و محورهای آنها و نیز رنگ شکل موج‌ها است که ذخیره می‌شود و بنابراین اگر بخواهید دوباره همان شکل موج‌ها را به همان شکلی که ذخیره کرده‌اید مشاهده کنید، باید مدار شما و فایل netlist آن دقیقاً همان فایل قبلی باشد. البته برای گرفتن تصویر از روی شکل موج‌ها می‌توانید ترکیب کلیدی Alt+PrtScr را در حالتی که پنجره اصلی نرم‌افزار AvanWaves فعال است، فشار دهید تا تصویر این پنجره در حافظه موقتی ویندوز (کلیپ‌بورد) ذخیره شود. سپس می‌توانید تصویر گرفته شده را در برنامه‌های دیگر نظیر Microsoft Word از حافظه موقت بازیابی کرده (از طریق دستور Paste) و از آن استفاده نمایید.

بازکردن شکل موج‌های از قبل ذخیره شده نیز از طریق فرمان Open در منوی Configuration قابل انجام است. با انتخاب این فرمان، پنجره‌ای باز می‌شود که در آن می‌توانید شکل موج مورد نظر خود را از لیستی که کلیه شکل موج‌های ذخیره شدهٔ موجود در آن قرار دارند، انتخاب کنید.

مشخص کردن مقادیر و انجام اندازه‌گیری‌ها بر روی شکل موج

گاهی اوقات لازم است که اندازه‌گیری‌هایی را بر روی شکل موج‌های رسم شده انجام دهید و یا مقادیر دقیق نقاط حساس را بر روی نمودار مشخص کنید. AvanWaves امکانات کاملی را برای این کار در اختیارتان قرار می‌دهد. این امکانات از طریق منوی Measure قابل دسترسی می‌باشند.



این فرامین به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند. دسته اول برای قراردادن و ویرایش نشانگرهای اندازه‌گیری به همراه برچسب‌های اطلاعاتی بر روی شکل موج‌ها استفاده می‌شوند (دستورات Point، PointToPoint، Delete Measure، Delete All، Measures، Measure Label Options). دسته دیگر برای قراردادن و حذف خطوط راهنما به منظور اندازه‌گیری‌های دقیق‌تر بکار رفته (فرامین Anchor Cursor و Remove Anchors)، و سومین دسته که شامل فرمان Measure Preferences می‌باشد حاوی گزینه‌هایی برای داشتن کنترل بیشتر بر محل قراردادن نشانگرهای اندازه‌گیری است. در زیر عملکرد هر یک از این فرامین بطور خلاصه شرح داده شده است:

:Point

این فرمان مختصات X و Y نقطه انتخاب‌شده بر روی شکل موج و نیز مشتق نمودار در آن نقطه را نمایش می‌دهد. پس از انتخاب این فرمان، نام محورهای X و Y و نیز مختصات جاری محلی از شکل موج که اشاره‌گر ماوس بر روی آن قرار دارد، در دو کادر متنی که در بالای سمت راست پنجره اصلی برنامه قرار دارند، نمایش داده می‌شود. با حرک اشاره‌گر ماوس بر روی شکل موج، مختصات نقطه جاری در این کادرهای متنی نمایش داده می‌شود. پس از تعیین محل مناسب، در آن نقطه یک‌بار کلیک کنید تا مشخصات ذکر شده، در نقطه مورد نظر بر روی نمودار قرار داده شود.

:PointToPoint

از این فرمان برای اندازه‌گیری شیب بین دو نقطه بر روی شکل موج استفاده می‌شود. برای استفاده از این فرمان، پس از انتخاب آن، با حرکت اشاره‌گر ماوس بر روی نمودار، نقطه ابتدایی خطی را که می‌خواهید شیب آن را اندازه بگیرید معین کنید. سپس در نقطه مورد نظر کلیک کرده و بدون رهاکردن دکمه ماوس، اشاره‌گر ماوس را تا نقطه انتهایی کشیده و دکمه ماوس را رها کنید. با این کار کادری بر روی نمودار نمایش داده می‌شود که در آن علاوه بر مختصات X و Y نقطه انتهایی و نیز مشتق شکل موج در آن نقطه، شیب خط واصل بین دو نقطه ابتدایی و انتهایی نیز نمایش داده می‌شود.

:Delete Measure

با اجرای هر یک از فرامین اندازه‌گیری (Measurement)، AvanWaves نشانگری را در محل مربوط به آن اندازه‌گیری بر روی نمودار قرار می‌دهد. با استفاده از این نشانگرها می‌توانید اندازه‌گیری‌های از قبل انجام شده را انتخاب نمایید. فرمان Delete Measure نشانگر اندازه‌گیری انتخاب‌شده بر روی نمودار را حذف کرده و کلیه اطلاعات مربوط به آن را از روی نمودار پاک می‌کند. برای انتخاب چند نشانگر بطور همزمان، کلید Shift را پایین نگه داشته و نشانگرها را انتخاب نمایید.

:Delete All Measures

با اجرای این فرمان، کلیه نشانگرهای اندازه‌گیری از روی نمودار حذف می‌شوند.

:Measure Label Options

تحت این فرمان می‌توانید اطلاعاتی را که AvanWaves در برچسب‌های مربوط به هر اندازه‌گیری قرار می‌دهد انتخاب کنید. بطور مثال می‌توانید با استفاده از این فرمان، از AvanWaves بخواهید تا در فرامین Point و PointToPoint مختصات X و Y را نمایش ندهد. علاوه بر آن، با استفاده از این پنجره می‌توانید محل قراردادن برچسب‌های مربوط به هر اندازه‌گیری را تعیین کنید.

:Anchor Cursor

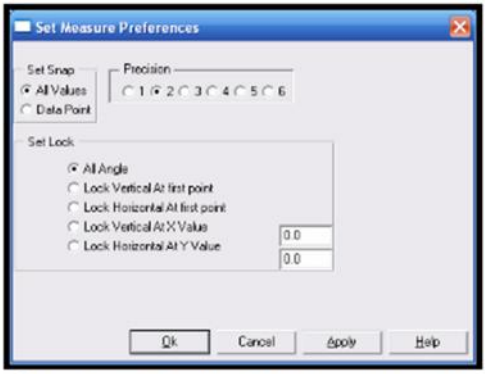
از این فرمان برای قرار دادن خطوط راهنمای عمودی بر روی نمودار استفاده می‌شود. نکته جالب توجه در رابطه با خطوط راهنما این است که اگر در صفحه خود چندین Panel داشته باشید که محور X آن‌ها از یک نوع داده باشد (مثلاً زمان یا ولتاژ)، خطوط راهنما بر روی تمام این Panelها در یک امتداد رسم شده و امکان قراردادن نشانگرهای اندازه‌گیری را در راستای همدیگر فراهم می‌کنند. برای قراردادن خطوط راهنما بر روی نمودار، فرمان Anchor Cursor را از منوی Measure انتخاب کنید. با انتخاب این فرمان، خطی عمودی بر روی نمودار در محل اشاره‌گر ماوس نشان داده می‌شود که با حرکت اشاره‌گر ماوس محل آن بر روی نمودار تغییر می‌کند. برای قراردادن اولین خط راهنما، در محلی بر روی نمودار کلیک نموده و بدون رهاکردن ماوس، محل اشاره‌گر را تغییر دهید. مشاهده می‌نمایید که اولین خط راهنما در محلی که کلیک کردید قرار داده شده است و هنوز یک خط راهنمای دیگر به اشاره‌گر ماوس چسبیده است. اشاره‌گر ماوس را به محل دیگری که می‌خواهید خط راهنمای دوم را قرار دهید برده و دکمه ماوس را رها کنید تا دومین خط راهنما نیز بر روی نمودار قرار داده شود. اگر فقط به یک خط راهنما نیاز دارید، پس از اولین کلیک، دکمه ماوس را رها کنید. این نکته را نیز در نظر داشته باشید که حداکثر می‌توانید دو خط راهنما بر روی نمودار خود داشته باشید. همچنین در نسخه جاری AvanWaves تنها امکان رسم خطوط راهنمای عمودی وجود دارد.

:Remove Anchors

اجرای این فرمان خطوط راهنمای موجود بر روی نمودار را حذف می‌کند.

:Measure Preferences

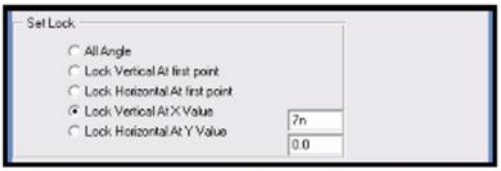
با اجرای این دستور، پنجره Set Measure Preferences باز می‌شود. در این پنجره می‌توانید دقت مقادیر نمایش داده شده در اندازه‌گیری‌ها را تعیین کنید. علاوه بر آن می‌توانید محدوده اندازه‌گیری را محدودتر نمایید تا اندازه‌گیری‌های دقیق را براحتی انجام دهید. در شکل زیر پنجره Set Measure Preferences نشان داده شده است.



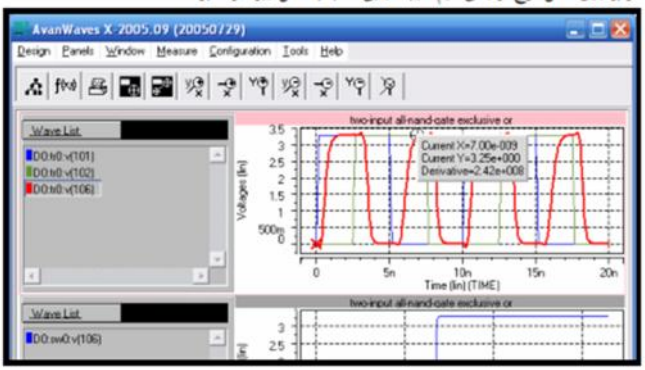
در قسمت Precision تعداد ارقام اعشاری مقادیر نشان داده شده در داخل برچسب‌های اطلاعاتی نشانگرهای اندازه‌گیری تعیین می‌شود.

در قسمت Set Snap دو گزینه وجود دارد: All Values و Data Point. همانطور که می‌دانید در حین عملیات شبیه‌سازی تعداد نقاط تولید شده محدود است و نموداری که از کنار هم قراردادن و رسم آن نقاط حاصل می‌شود، نموداری گسسته خواهد بود. ولی AvanWaves برای داشتن نمایش بهتر، این نقاط را بهم متصل می‌کند تا نموداری پیوسته ارائه دهد. نقاط میانی بین این نقاط از طریق روش‌های درون‌یابی تولید می‌شوند. هنگامی که بر روی نمودار اندازه‌گیری‌هایی را انجام می‌دهید، این احتمال وجود دارد که نقاط انتخاب‌شده در اندازه‌گیری از همان نقاط درون‌یابی شده انتخاب شوند. برای جلوگیری از وقوع این حالت می‌توانید گزینه Data Point را انتخاب نمایید تا AvanWaves نقاط قابل انتخاب در اندازه‌گیری‌ها را تنها به نقاط واقعی محاسبه شده در حین شبیه‌سازی محدود نماید.

با استفاده از گزینه‌های موجود در قسمت Set Lock می‌توانید نقاط انتخاب‌شده در حین اندازه‌گیری را به مقادیر خاصی محدود کنید. به عنوان مثال اگر می‌خواهید دو نقطه ابتدایی و انتهایی که بر روی نمودار مشخص می‌کنید (با استفاده از فرمان PointToPoint)، بطور افقی در یک امتداد باشند، گزینه Lock Horizontal At first point را انتخاب کرده و اندازه‌گیری خود را انجام دهید. مشاهده خواهید کرد که AvanWaves نقاط ابتدایی و انتهایی خط را بگونه‌ای انتخاب می‌کند که هر دو دارای مقدار مؤلفه Y یکسانی باشند (بطور افقی در یک امتداد باشند). همین کار را می‌توانید برای انتخاب نقاطی که در یک راستای عمودی قرار دارند، با انتخاب گزینه Lock Vertical At first point انجام دهید. همچنین اگر بخواهید اندازه‌گیری را در مقدار X یا Y خاصی محدود نمایید، می‌توانید به ترتیب یکی از گزینه‌های Lock Vertical At X Value و یا Lock Horizontal At Y Value را انتخاب کرده و مقدار X یا Y را در کادر عددی مربوطه درج نمایید. به عنوان یک مثال، همان شکل موج مربوط به پاسخ گذرا را که محور X آن زمان را نشان می‌دهد، در نظر بگیرید. فرض کنید می‌خواهیم مقدار ولتاژ گره 106 را در زمان 7ns بر روی شکل موج مشخص نماییم. با توجه به اینکه اندازه‌گیری دقیق در زمان 7ns بطور دستی بسیار دشوار است، در پنجره Set Measure Preferences، اندازه‌گیری را به مقدار 7ns بر روی محور X محدود می‌کنیم. برای این کار گزینه Lock Horizontal At X Value را انتخاب کرده و مقدار 7n را در کادر عددی مربوطه درج می‌کنیم (همانند شکل زیر). سپس دکمه OK را برای اعمال تغییرات فشار می‌دهیم.



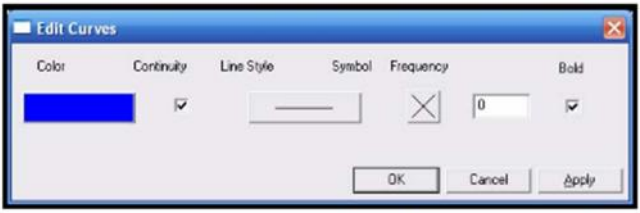
اکنون برای مشخص‌کردن نقطه مورد نظر بر روی شکل موج، ابتدا شکل موج مربوط به ولتاژ گره 106 را در ستون سمت چپ Panel حاوی شکل موج‌ها (Wave List) انتخاب کرده و با استفاده از فرمان Point از منوی Measure، نشانگر اندازه‌گیری را در نقطه مورد نظر بر روی شکل موج قرار می‌دهیم. نتیجه نهایی مشابه با شکل زیر خواهد بود.



تنظیمات پیشرفته نمایش شکل موج

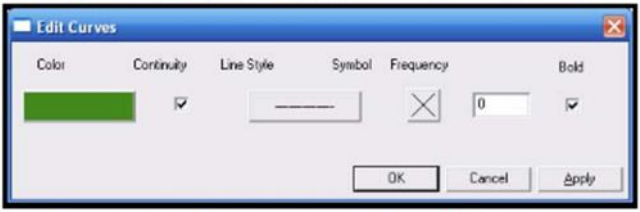
اگر قسمت‌های قبلی را انجام داده باشید، حتماً مشاهده کرده‌اید که با رسم هر شکل موج جدید، AvanWaves آن شکل موج را با رنگی متفاوت از شکل موج قبلی رسم می‌کند. همچنین گاهی اوقات رنگ‌های انتخاب‌شده توسط AvanWaves برای شکل موج جدید بگونه‌ای است که امکان تمایز شکل موج‌های رسم شده در یک صفحه ترسیم را از یکدیگر بر روی صفحه نمایش و یا در خروجی چاپگر، دشوار می‌سازد.

برای حل این مشکل، AvanWaves امکان تغییر مشخصات ظاهری شکل موج‌ها را برای کاربر فراهم کرده است. این گزینه‌ها تحت فرمان Edit Curves از منوی Panels قابل دسترسی می‌باشند. البته به خاطر داشته باشید که قبل از اجرای این فرمان باید شکل موج یا شکل موج‌های مورد نظر خود را به حالت انتخاب درآورده باشید. برای انتخاب یک شکل موج، گزینه مربوط به آن را از ستون سمت چپ Panel حاوی آن شکل موج انتخاب نمایید. برای انتخاب همزمان چند شکل موج، کلید Ctrl را پایین نگه داشته، بر روی شکل موج‌های مورد نظر در ستون سمت چپ Panel حاوی آن‌ها کلیک کنید. در شکل زیر پنجره Edit Curves نمایش داده شده است.

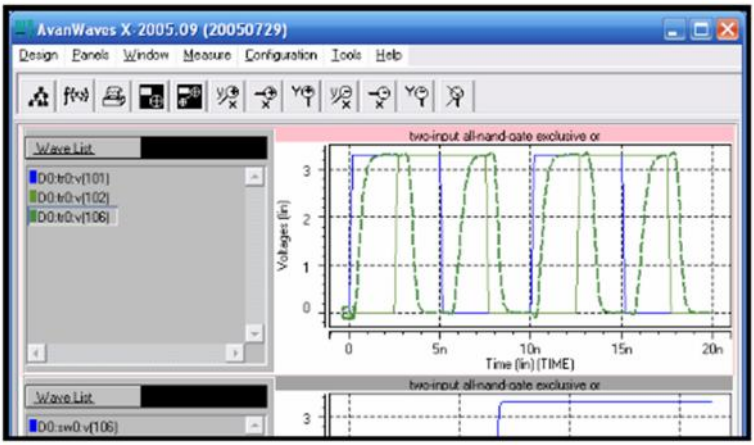


این پنجره دارای گزینه‌های مختلفی برای تغییر رنگ، تغییر شکل و تغییر نحوه ترسیم شکل موج است. به عنوان مثال، برای تغییر رنگ شکل موج می‌توانید رنگ جدید را در قسمت Color انتخاب نمایید. گزینه Continuity نحوه ترسیم شکل موج را تعیین می‌کند. همانطور که قبلاً نیز به آن اشاره شد، نتایج حاصل از شبیه‌سازی محدود می‌باشند و شکل موج حاصل از آنها در حقیقت یک نمودار گسسته از نقاط است، ولی AvanWaves هنگام رسم، نقاط میانی را درون‌یابی می‌کند تا شکل موج پیوسته ای رسم نماید. اما با انتخاب این گزینه برای یک شکل موج، AvanWaves از درون‌یابی و ترسیم نقاط جدید بر روی شکل موج خودداری کرده و تنها نقاط واقعی محاسبه شده در حین شبیه‌سازی را بر روی نمودار مشخص می‌کند. در این حالت، اگر تعداد نقاط محاسبه شده کم باشند، گسستگی نمودار به وضوح مشاهده می‌شود. همچنین برای تعیین شکل نقاط قرار داده شده بر روی نمودار، می‌توانید در قسمت Symbol یکی از شکل‌های موجود را انتخاب نمایید. در قسمت Frequency می‌توانید تعداد نقاط قرار داده شده بر روی نمودار را تعیین کنید. عددی که در اینجا وارد می‌کنید تعیین می‌کند که چه تعداد از نقاط موجود، بر روی شکل موج نمایش داده خواهند شد. به عنوان مثال، وارد کردن عدد ۲ به AvanWaves می‌گوید که نقاط موجود را یکی در میان بر روی نمودار قرار دهد. عدد صفر نیز باعث می‌شود فقط اولین نقطه موجود، بر روی نمودار قرار داده شود. در قسمت Line Style نیز می‌توانید الگوی رسم خطوط شکل موج را مشخص نمایید (خط پیوسته، خط نقطه چین دار، ...).

به عنوان یک مثال، می‌خواهیم شکل موج قرمزرنگ نشان داده شده در شکل قبل را (که شکل موج مربوط به گره خروجی مدار در تحلیل پاسخ گذرا می‌باشد)، تغییر رنگ داده و شکل خط آن را نیز به صورت خط چین در آوریم. برای این کار شکل موج مورد نظر را به حالت انتخاب در آورده، از منوی Panels فرمان Edit Curves را انتخاب می‌کنیم. در پنجره حاصل، رنگ سبز را برای شکل موج انتخاب کرده، در قسمت Line Style نیز حالت خط چین را برای آن انتخاب می‌کنیم. تنظیمات به شکل زیر خواهد بود.



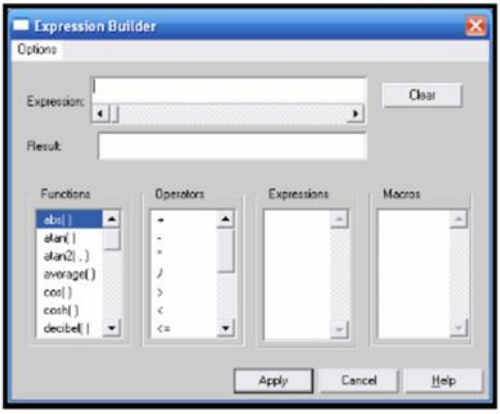
پس از انجام تنظیمات مورد نظر، دکمه OK را فشار می‌دهیم تا این تغییرات بر روی شکل موج اعمال شوند. شکل زیر نتیجه حاصل را نشان می‌دهد.



انجام محاسبات بر روی خروجی‌های حاصل از شبیه‌سازی

یکی از امکانات بسیار جالب توجه که AvanWaves در اختیار شما قرار می‌دهد، امکان رسم نمودارها و شکل موج‌های محاسبه شده می‌باشد. شکل موج‌های محاسبه شده بصورت عبارت‌های معمول ریاضی بیان می‌شوند. البته متغیرهای شما در این عبارت‌های ریاضی همان خروجی‌های حاصل از شبیه‌سازی می‌باشند.

کلیه محاسبات انجام شده بر روی شکل موج‌ها در پنجره Expression Builder انجام می‌شود. برای دسترسی به این پنجره، از منوی Tools گزینه Expressions را انتخاب نمایید. شکل زیر، پنجره Expression Builder را در حالتی که هیچ عبارت محاسباتی تعریف نشده است، نشان می‌دهد.



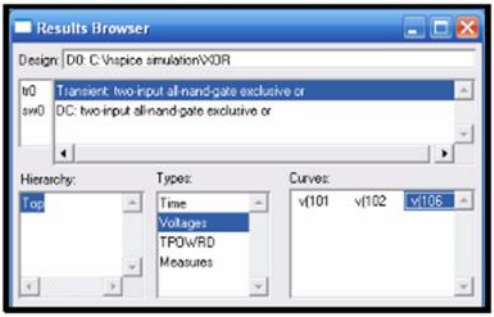
برای تعریف یک عبارت محاسباتی جدید، باید آن را در قسمت Expression وارد نمایید. همچنین برای اینکه بتوانید از عبارت ریاضی تعریف شده برای رسم شکل موج و یا نوشتن عبارت‌های ریاضی دیگر استفاده نمایید، باید به هر عبارت ریاضی نامی اختصاص دهید. این نام در قسمت Result نوشته می‌شود. پس از تعریف کامل عبارت ریاضی و اختصاص یک نام معتبر به آن، دکمه Apply را فشار دهید تا عبارت جدید ایجاد شود.

AvanWaves عملگرها و توابعی را فراهم کرده است که می‌توانید از آنها در داخل عبارت‌های محاسباتی استفاده نمایید. لیست کامل توابع موجود در قسمت Functions و لیست عملگرهای قابل استفاده در قسمت Operators در این پنجره قرار دارد.

نحوه نوشتن عبارت‌های محاسباتی به سادگی رسم شکل موج‌ها می‌باشد. این کار را همراه با انجام یک مثال شرح می‌دهیم تا بخوبی با نحوه نوشتن این عبارت‌ها آشنا شوید.

می‌خواهیم نمودار مشتق ولتاژ گره خروجی (گره شماره 106) مدار نمونه خود (مدار گیت XOR) را رسم کنیم. قبلاً شکل موج‌های ولتاژهای ورودی و خروجی را با هم رسم کرده‌ایم و شکل موج جدید را نیز می‌خواهیم در کنار شکل موج‌های قبلی قرار دهیم. برای محاسبه مشتق یک شکل موج در یک نقطه می‌توانیم از تابع derivative() که در لیست توابع موجود قرار دارد استفاده کنیم. این تابع یک نقطه از شکل موج را به عنوان ورودی گرفته و مشتق شکل موج را در آن نقطه با توجه به مقادیر قبلی و بعدی شکل موج محاسبه می‌کند. این تابع را در قسمت Functions پیدا کرده و بر روی آن دوبار کلیک نمایید تا به عبارت محاسباتی اضافه شود. تا اینجا عبارت ما به شکل زیر شده است:

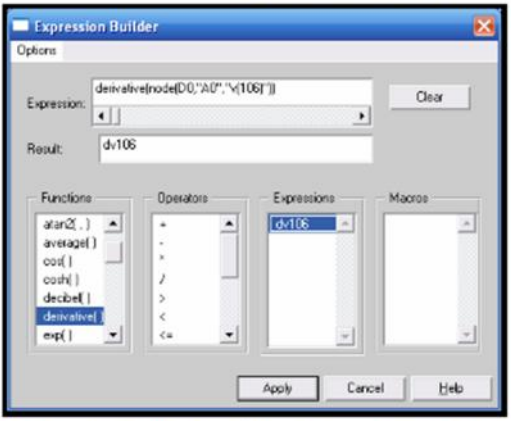
اکنون باید ولتاژ گره خروجی (گره 106) را به عنوان یک متغیر به عبارت خود اضافه کنیم. برای این کار پنجره Results Browser را که قبلاً برای رسم شکل موج‌ها از آن استفاده کردیم، باز کرده و ولتاژ گره 106 را در قسمت پاسخ گذرا بیابید (شکل زیر).



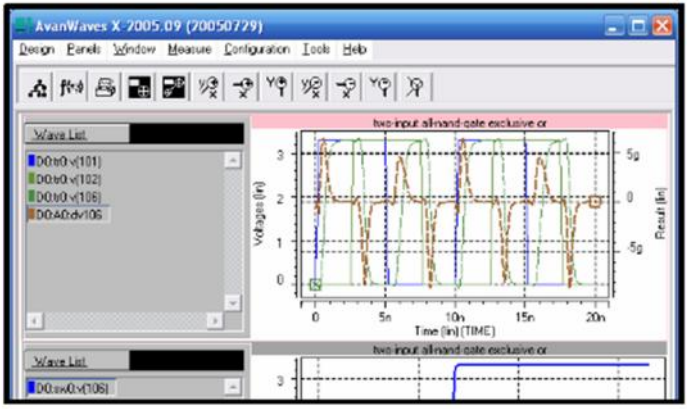
اکنون همانند روشی که برای رسم شکل موج‌ها انجام می‌دادید، v(106 را با دکمه وسط ماوس بگیرید. قبلاً برای رسم شکل موج این مقدار را بر روی صفحه ترسیم می‌کشیدیم. اما در اینجا که می‌خواهیم این مقدار را در عبارت محاسباتی خود قرار دهیم، به جای کشیدن و رهاکردن این مقدار بر روی صفحه ترسیم، آن را بر روی پنجره Expression Builder کشیده و در قسمت Expression که عبارت محاسباتی قرار دارد، دکمه ماوس را رها کنید. با این کار، AvanWaves ولتاژ گره 106 را بصورت یک متغیر درآورده و بطور خودکار آن را در محل مناسبی در داخل عبارت محاسباتی اضافه می‌کند. تا اینجا عبارت محاسباتی ما کامل شده است و باید

نامی را به آن اختصاص دهیم. این نام را در قسمت Result در پنجره Expression Builder وارد نمایید. ما نام dv106 را برای این عبارت محاسباتی انتخاب کرده‌ایم.

هنوز کار تمام نشده است. دکمه Apply را فشار دهید تا عبارت محاسباتی جدید با نام تعیین شده ایجاد شده و به لیست عبارت‌های موجود در قسمت Expressions در همین پنجره اضافه شود (شکل زیر).



اکنون نوبت به رسم نمودار این عبارت محاسباتی رسیده است. دقیقاً مشابه همان کاری که برای رسم شکل موج‌ها انجام می‌دادید، عبارت مورد نظر را از لیست Expressions در پنجره Expression Builder با استفاده از دکمه وسط ماوس گرفته و آن را بر روی صفحه ترسیمی که شکل‌های موج‌های قبلی بر روی آن قرار دارند بکشید و دکمه ماوس را رها کنید. با انجام این کار شکل موج مشتق ولتاژ گره 106 رسم می‌شود. شکل زیر نتیجه حاصل را نشان می‌دهد. نمودار مشتق با رنگ قهوه‌ای پررنگ و بصورت خط چین رسم شده است.

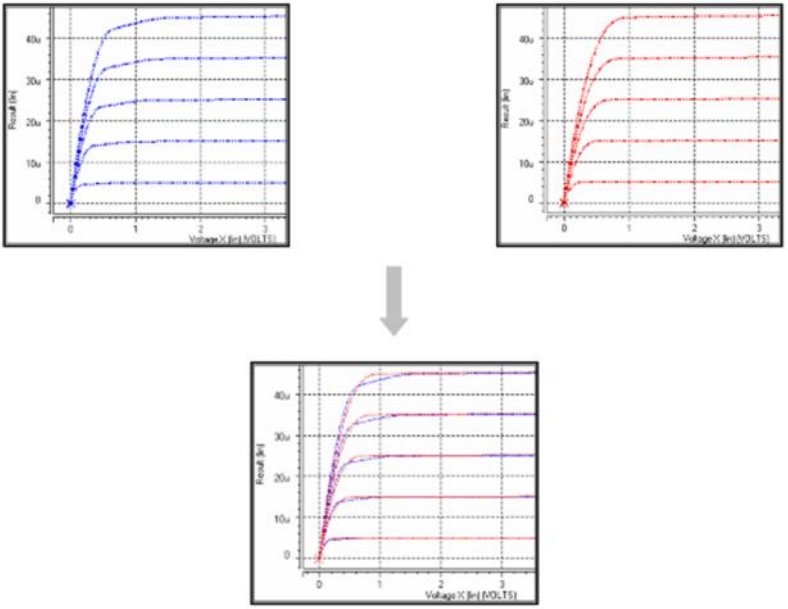


همانطور که ملاحظه کردید، انجام محاسبات بر روی شکل موج‌ها، انعطاف‌پذیری زیادی را در رسم شکل موج‌ها فراهم نموده است. عبارت‌های محاسباتی ایجاد شده محدود به عبارت‌های تک تابعی نبوده و شما می‌توانید هر عبارت محاسباتی با پیچیدگی‌های مختلف را ایجاد نمایید. علاوه بر آن، در این پنجره امکان تعریف توابع محاسباتی جدید علاوه بر توابع موجود وجود دارد. این کار با استفاده از ماکروها (از طریق منوی Options در پنجره Expression Builder) انجام می‌شود. با توجه به اینکه خیلی به ندرت نیاز به استفاده از ماکروها پیدا می‌کنید، در اینجا نحوه ایجاد ماکروها را شرح نمی‌دهیم. در صورتی که علاقه‌مند هستید می‌توانید جزئیات مربوط به نحوه نوشتن ماکروها را در راهنمای نرم‌افزار AvanWaves بیابید.

بخش سوم – شبیه‌سازی و تحلیل همزمان چند مدار

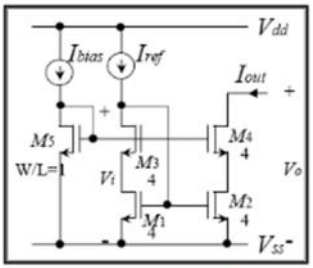
حالتی را در نظر بگیرید که روی یک مدار تغییراتی را اعمال کرده‌اید و می‌خواهید تغییرات حاصله را در قالب شکل موج مشاهده کرده و آن را با خروجی مدار اولیه مقایسه کنید تا از میزان تأثیر تغییرات اعمال شده در مدار مطلع شوید. یک روش می‌تواند رسم جداگانه شکل موج خروجیِ هر مدار و قراردادن نمودارها در کنار یکدیگر برای مقایسه باشد. در این صورت برای بدست آوردن مقیاسی از میزان تفاوت دو شکل موج حاصل از دو مدار، باید روی هر دو نمودار بسیار دقیق شده و احتمالاً اندازه‌گیری‌هایی را انجام دهید. حال اگر تعداد مدارها بیشتر باشد، این روش نمی‌تواند کارایی کافی در نمایش تفاوت عملکرد دو مدار داشته باشد.

آیا روش دیگری وجود دارد که بتوان در آن براحتی این تفاوت‌ها را نمایش داد؟ اگر می‌توانستیم همه این شکل موج‌های حاصل از چندین مدار را بر روی یک نمودار واحد رسم کنیم، خروجی بسیار گویایی خواهیم داشت. نمودار حاصل می‌تواند احساس کاملی از تفاوت عملکرد مدارها را به بیننده منتقل کند.

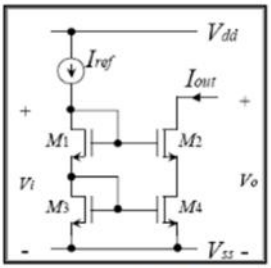


نرم‌افزار HSpice برای حل این مشکل امکان شبیه‌سازی و نمایش خروجی همزمان حاصل از چند مدار را فراهم نموده است. این قابلیت نه تنها در هنگامی که نیاز به نمایش همزمان شکل موج‌ها دارید، بلکه در مواردی هم که تعداد پروژه‌های شبیه‌سازی زیاد است می‌تواند مفید واقع شود. در اینگونه موارد به جای بازکردن جداگانهٔ هر پروژه و شبیه‌سازی آن که کار بسیار وقت‌گیری است، می‌توانید عمل شبیه‌سازی همه پروژه‌ها را تنها با یک کلیک انجام دهید!

در این بخش به عنوان یک نمونه عملی، دو مدار منبع جریان آینه‌ای زیر را شبیه‌سازی کرده و خروجی آنها را بر روی یک نمودار واحد رسم می‌کنیم. فایل‌های مربوط به این دو مدار در قسمت ضمایم همین خودآموز موجود بوده و به فایل PDF نیز ضمیمه شده است.



مدار ۲ (current mirror2.sp)

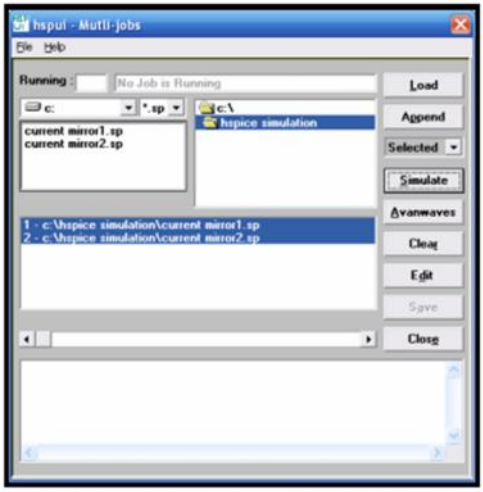


مدار ۱ (current mirror1.sp)

لازم به ذکر است که عمل شبیه‌سازی مدارها می‌تواند جداگانه انجام شود، ولی خروجی‌های آنها همزمان روی یک نمودار نمایش داده شوند؛ و برعکس می‌توان عمل شبیه‌سازی مدارها را همزمان انجام داده، ولی خروجی‌ها را بطور جداگانه مشاهده کرد. بنابراین شبیه‌سازی همزمان چندین مدار در مواردی که تعداد مدارها برای شبیه‌سازی زیاد باشد، می‌تواند بطور قابل ملاحظه‌ای در وقت صرفه‌جویی کرده و بطور مؤثری مفید واقع شود. ما نیز در اینجا دو مدار را بطور همزمان شبیه‌سازی می‌کنیم تا با نحوه انجام این کار آشنا شوید، ولی همانطور که می‌دانید شبیه‌سازی جداگانه دو مدار کار چندان وقت‌گیری نیست!

شبیه‌سازی همزمان مدارها در HSpice

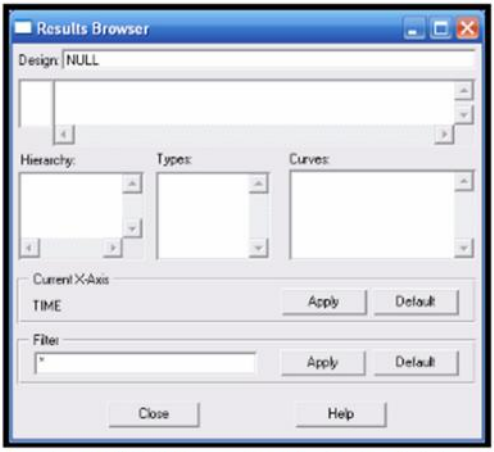
برای شبیه‌سازی همزمان چند مدار در HSpice، از پنجره اصلی HSpice روی دکمه Multi-jobs کلیک کنید تا پنجره Multi-jobs که امکان شبیه‌سازی همزمان مدارها را فراهم می‌کند، باز شود. قبل از شروع شبیه‌سازی باید فایل‌های موردنظر خود را برای شبیه‌سازی انتخاب نمایید. برای این کار، در این پنجره دایرکتوری حاوی فایل‌هایی را که می‌خواهید شبیه‌سازی نمایید، انتخاب کنید. با انتخاب دایرکتوری، کلیه فایل‌های netlist موجود در آن در سمت چپ نشان داده می‌شود. برای افزودن این فایل‌ها به لیست فایل‌های شبیه‌سازی، دکمه Append را فشار دهید. فایل‌ها به لیست موجود در قسمت میانی این پنجره اضافه می‌شوند. به این روش می‌توانید هر تعداد فایل که لازم است برای شبیه‌سازی انتخاب کرده و به لیست شبیه‌سازی اضافه نمایید. در مثال ما، تنها دوفایل current mirror1.sp و current mirror2.sp برای شبیه‌سازی به لیست اضافه شده‌اند.



اکنون برای شبیه‌سازی فایل‌های خود باید دکمه Simulate در همین پنجره را فشار دهید. دقت کنید که این دکمه در حالت عادی غیرفعال است. برای فعال شدن آن فایل‌های موجود در لیست شبیه‌سازی را انتخاب نمایید. برای این کار اولین فایل موجود در لیست را با کلیک ماوس انتخاب کرده، کلید Shift را پایین نگه داشته و بر روی آخرین فایل موجود در لیست کلیک کنید. با این کار کلیه فایل‌های موجود در لیست انتخاب می‌شوند. یک راه سریع‌تر برای این کار، انتخاب گزینه All Files از لیست پایین‌گشودنی موجود در زیر دکمه Append است. البته انتخاب دستی فایل‌ها این امکان را می‌دهد که فایل‌ها را گروه به گروه شبیه‌سازی نمایید. اکنون با کلیک بر روی دکمه Simulate، فایل‌های انتخاب‌شده یکی پس از دیگری شبیه‌سازی شده و خروجی‌های آنها تولید می‌شود. به خاطر داشته باشید که فایل‌های netlist باید بدون اشکالات دستوری باشند. در غیراینصورت عمل شبیه‌سازی هیچ فایل خروجی تولید نخواهد کرد.

نمایش همزمان خروجی حاصل از چند مدار در نرم‌افزار AvanWaves

به منظور استفاده همزمان از شکل موج‌های چند مدار در AvanWaves، باید هر یک از فایل‌های این مدارها را در AvanWaves باز کنید. در نمونه‌های شبیه‌سازی که در بخش‌های قبلی این خودآموز انجام داده‌ایم، نرم‌افزار AvanWaves را از صفحه اصلی پنجره HSpice با کلیک بر روی دکمه AvanWaves اجرا می‌کردیم. با این کار، HSpice بطور خودکار فایل جاری شبیه‌سازی‌شده را در نرم‌افزار AvanWaves باز می‌کرد. اما در حالت چند مداری، باید فایل‌ها را بطور دستی در AvanWaves باز کنیم. برای این کار، نرم‌افزار AvanWaves را از طریق منوی Programs ویندوز، تحت زیر منوی HSPICE X-2005.09 با اجرای برنامه Avanwaves X-2005.09 اجرا کنید. پس از اجرای برنامه، با توجه به اینکه هیچ مداری در حال حاضر در آن باز نمی‌باشد، پنجره Results Browser نمایش داده نمی‌شود. همچنین اگر پنجره Results Browser را از طریق منوی Tools باز کنید، مشاهده خواهید کرد که قسمت خروجی‌ها در این پنجره خالی است، زیرا هیچ مداری در حال حاضر باز نشده است (شکل زیر).

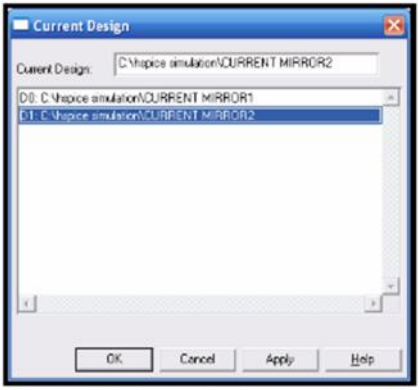


اکنون باید فایل‌های مربوط به مدارهای خود را که شبیه‌سازی کرده‌ایم، در AvanWaves باز کنیم. این کار از طریق فرمان Open از منوی Design قابل انجام است. با اجرای این دستور، پنجره Open Design باز می‌شود. در این پنجره به دایرکتوری حاوی فایل‌های شبیه‌سازی شده بروید. با تغییر دایرکتوری، کلیه فایل‌های netlist موجود در دایرکتوری انتخابی در لیست فایل‌ها نشان داده می‌شود. در مثال ما فایل‌های current mirror1.sp و current mirror2.sp نمایش داده شده‌اند. ابتدا فایل current mirror1.sp را انتخاب کرده و دکمه Apply را فشار می‌دهیم تا فایل انتخاب‌شده باز شود. همین کار را برای فایل current mirror2.sp نیز انجام می‌دهیم. پس از اینکه کلیه فایل‌های مورد نیاز خود را به این طریق باز کردید، پنجره Open Design را ببندید.

همانطور که متوجه شده‌اید، با کلیک بر روی دکمه Apply، پنجره Results Browser بطور خودکار نمایش داده شده و کلیه خروجی‌های حاصل از شبیه‌سازی را برای مدار اخیراً باز شده نمایش می‌دهد. در واقع با بازکردن یک مدار جدید، AvanWaves آن را به لیست فایل‌های باز شدهٔ خود اضافه کرده و آن را به عنوان مدار جاری محیط نرم‌افزار انتخاب می‌کند. پنجره Results Browser نیز در هر لحظه تنها قابلیت نمایش خروجی‌های حاصل از یک مدار را دارد که آن هم مدار جاری محیط نرم‌افزار است. بنابراین برای دسترسی به خروجی‌های مدارهای باز شدهٔ دیگر، باید مدار مورد نظر را به عنوان مدار جاری محیط نرم‌افزار انتخاب کنید. این کار از طریق پنجره Current Design انجام می‌شود.

پنجره Current Design

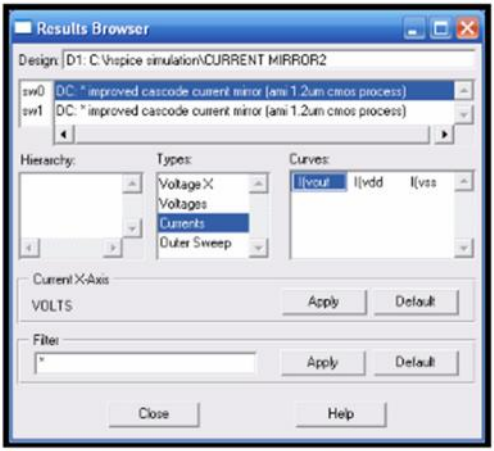
برای نمایش پنجره Current Design، از منوی Design گزینه Current را انتخاب نمایید.



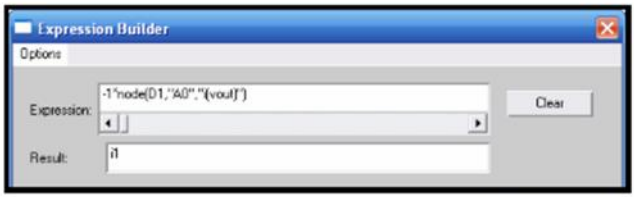
در پنجره Current Design کلیه مدارهای بازشده در محیط نرم‌افزار نمایش داده می‌شود. برای انتخاب یکی از مدارها به عنوان مدار جاری محیط نرم‌افزار، مدار مورد نظر را از لیست انتخاب کرده، دکمه Apply را فشار دهید. با انجام این کار، پنجره Results Browser نیز بطور خودکار نمایش داده می‌شود که در آن می‌توانید به خروجی‌های حاصل از شبیه‌سازی مدار مربوطه دسترسی داشته باشید.

رسم شکل موج‌ها

اکنون می‌خواهیم شکل موج‌های جریان خروجی این دو منبع جریان مورد شبیه‌سازی را در داخل یک صفحه ترسیم رسم نماییم. کار را با مدار اول آغاز می‌کنیم. ابتدا از پنجره Current Design مدار مربوط به فایل current mirror1 را به عنوان مدار جاری محیط نرم‌افزار انتخاب نمایید تا خروجی‌های مربوط به آن در پنجره Results Browser نمایش داده شود. شکل موج مورد نظر، جریان خروجی است که می‌خواهیم آن را بر حسب ولتاژ خروجی رسم کنیم. بنابراین از پنجره Results Browser اولین تحلیل DC را انتخاب کرده، از گروه Currents گزینه I(vout) را انتخاب کنید (شکل زیر).



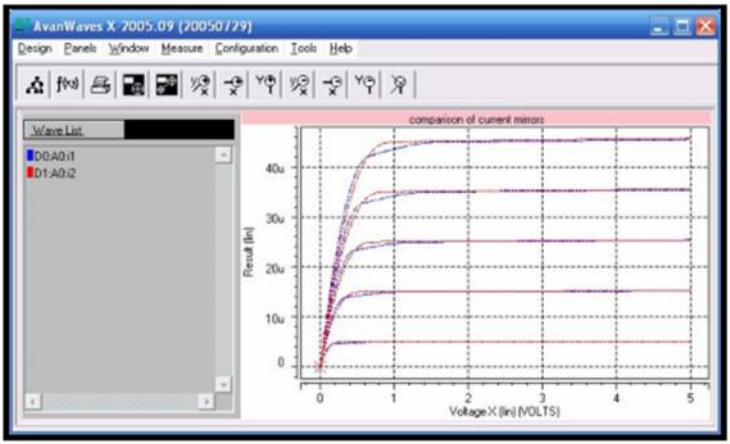
با توجه به اینکه مقدار جریان خروجی در این دو مدار منفی است، شکل موج حاصل از آن در زیر خط صفر محور Y واقع می‌شود. اما در مقایسه مشخصه خروجی منابع جریان آینه‌ای، تنها مقدار مطلق جریان برای ما مهم است و علاقه ای به دانستن جهت جریان خروجی نداریم. بنابراین بهتر است که قدر مطلق مقدار جریان را رسم نماییم. برای این کار کافی است که مقدار جریان را در عدد ۱- ضرب کنیم. این کار را در پنجره Expression Builder که از طریق منوی Tools تحت گزینه Expressions قابل دسترسی است انجام می‌دهیم. نحوه نوشتن عبارت‌های محاسباتی بر روی شکل موج‌ها در قسمت "انجام محاسبات بر روی خروجی‌های حاصل از شبیه‌سازی" در همین خود آموز شرح داده شده است. عبارت خود را بصورت زیر ایجاد کرده و به آن نام i1 را اختصاص می‌دهیم.



سپس عبارت i1 را از پنجره Expression Builder با دکمه وسط ماوس گرفته و بر روی صفحه ترسیم کشیده و رها می‌کنیم تا شکل موج مربوط به آن رسم شود.

اکنون باید مشخصه جریان خروجی مدار دوم را رسم کنیم. برای این کار از پنجره Current Design مدار دوم (current mirror2) را به عنوان مدار جاری محیط نرم‌افزار انتخاب می‌کنیم. جریان خروجی این مدار نیز مقداری منفی است. بنابراین همانند مدار اول، مقدار جریان آن را نیز در عدد ۱- ضرب می‌کنیم تا مقدار مطلق آن بدست آید. به عبارت محاسباتی ایجاد شده برای مدار دوم در پنجره Expression Builder، نام i2 را نسبت می‌دهیم. سپس آن را از لیست Expressions از پنجره Expression Builder با استفاده از دکمه وسط ماوس گرفته و بر روی همان صفحه ترسیم قبلی که عبارت i1 را در آن رسم کرده بودیم، کشیده

و دکمه ماوس را رها می‌کنیم تا شکل موج مربوط به آن در کنار شکل موج جریان خروجی مدار اول رسم شود. نتیجه مشابه با شکل زیر خواهد بود.



مشاهده می‌نمایید که با رسم این دو شکل موج بر روی یک صفحه ترسیم مشترک، بخوبی تفاوت عملکرد دو مدار مشخص است، بدون آنکه نیازی به انجام مقایسه‌های دقیق بر روی نمودار باشد.

تا اینجا تمام دستورالعمل‌های اصلی موردنیاز در شبیه‌سازی و رسم شکل موج‌ها را فراگرفته‌اید. البته شبیه‌سازی و رسم شکل موج‌ها دارای جزئیات و گزینه‌های دیگری نیز است که در انجام شبیه‌سازی‌ها می‌توانند مفید واقع شوند. اگر علاقه‌مند به اطلاعات بیشتری در این زمینه هستید، می‌توانید به مراجع ذکر شده در بخش "مراجع" این خودآموز مراجعه نمایید.

بخش چهارم - ضمایم

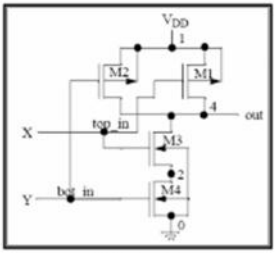
فایل‌های netlist مدارها

در این بخش فایل‌های netlist مدارهای استفاده شده در این خودآموز به همراه شماتیک هر مدار آورده شده است. همچنین فایل‌های آماده مربوطه به فایل PDF همین خودآموز ضمیمه شده است.[۱]

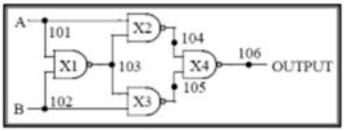
۱. مدار گیت XOR با استفاده از ترانزیستورهای MOSFET

```
Two-input All-nand-gate Exclusive OR


*Four NAND Implementation
*Node 101 Is Input A, node 102 Is Input B, node
*106 Is Output
X1 101 102 103 NAND
X2 101 103 104 NAND
X3 103 102 105 NAND
X4 104 105 106 NAND
*Define subcircuit NAND
.SUBCKT NAND top_in bot_in out
*Node 1 is VDD; node 0 is GND
M1 out top_in 1 1 CMOSp L=0.6U W=1.2U
+AD=2.88p AS=2.88p PD=7.2U PS=7.2U
M2 out bot_in 1 1 CMOSp L=0.6u W=1.2U
+AD=2.88p AS=2.88p PD=7.2U PS=7.2U
M3 out top_in 2 0 CMOSn L=0.6U W=1.2U
+AD=2.88p AS=2.88p PD=7.2U PS=7.2U
M4 2 bot_in 0 0 CMOSn L=0.6U W=1.2U
+AD=2.88p AS=2.88p PD=7.2U PS=7.2U
.ENDS NAND
*Power and load and input signals
VCC 1 0 DC 3.3
C0 106 0 0.01p
.GLOBAL 1
VA 101 0 PULSE(0 3.3 0n 0.2n 0.2n 4.8n 10n)
VB 102 0 PULSE(0 3.3 2.5n 0.2n 0.2n 4.8n 10n)
*Include MOSFET Models
.LIB 'n96g.L49' NOM
**Specify analysis and display
.DC VA 0 3.3 .01 VB 0 0 0.1
.PROBE V(106)
*Delays and Power
.TRAN .01N 20N
.PROBE V(101) V(102) V(106)
.MEASURE avg_pow AVG power FROM=10n TO=20n
```



گیت NAND



گیت XOR

۱. برای استفاده از این فایل‌ها، باید نسخهٔ برنامه نمایش PDF شما از این قابلیت پشتیبانی کند. اگر از Adobe Acrobat Reader استفاده می‌کنید، حداقل نسخهٔ مورد استفاده باید Adobe Acrobat Reader 7.0 باشد.

```
.OPTIONS PROBE POST MEASOUT
.END
```

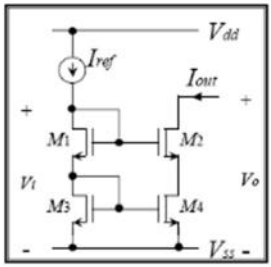
مدل‌های ترانزیستورها بنام فایل n96g.L49 به فایل PDF ضمیمه شده است. این مدل‌ها، مدل‌های Level 49 ترانزیستور MOSFET می‌باشند. همچنین می‌توانید از هر مدل دیگری برای شبیه‌سازی استفاده کنید. دراینصورت نتایج شبیه‌سازی شما ممکن است کمی با آنچه در این خودآموز نشان داده شده است، متفاوت باشد.

۲. مدارهای منبع جریان

مدار ۱ (current mirror1.sp)

```
* Normal Cascode current mirror AMI 1.2um CMOS process
.param lam=0.6u
.param w01=4.8u l01=1.2u w02=4.8u l02=1.2u w03=4.8u l03=1.2u w04=4.8u l04=1.2u
m01 (mid1 mid1 nvss nvss) CMOSN W=w01 L=l01
+ AS='5*lam*w01' AD='5*lam*w01' PS='2*w01+10*lam' PD='2*w01+10*lam'
m02 (mid2 mid1 nvss nvss) CMOSN W=w02 L=l02
+ AS='5*lam*w02' AD='5*lam*w02' PS='2*w02+10*lam' PD='2*w02+10*lam'
m03 (nin nin mid1 mid1) CMOSN W=w03 L=l03
+ AS='5*lam*w03' AD='5*lam*w03' PS='2*w03+10*lam' PD='2*w03+10*lam'
m04 (nout nin mid2 mid2) CMOSN W=w04 L=l04
+ AS='5*lam*w04' AD='5*lam*w04' PS='2*w04+10*lam' PD='2*w04+10*lam'

.MODEL CMOSN NMOS LEVEL=13 VFB0=
+ -8.74178E-01, 3.52920E-02, 9.00288E-02
+ 7.23936E-01, 0.00000E+00, 0.00000E+00
+ 8.79301E-01,-1.74446E-01,-2.53817E-02
+ 6.19484E-02, 2.28490E-02,-5.41312E-02
+ -8.88805E-03, 2.42663E-02,-1.49727E-03
+ 5.93388E+02,3.21978E-001,9.94279E-001
+ 6.67574E-02, 1.05337E-01,-7.54917E-02
+ 7.17023E-02, 1.90566E-01, 6.09585E-03
+ 8.31770E+00,-6.09160E+00, 9.32611E+00
+ 4.83549E-04,-5.86887E-03, 2.89785E-04
+ 7.62075E-04, 2.14528E-04,-1.74741E-03
+ 6.30888E-04,-3.63569E-03, 6.17858E-04
+ -1.86907E-02, 1.72973E-02, 4.96138E-03
+ 6.60689E+02, 8.87036E+01,-4.17446E+01
+ -7.47803E+00, 1.09303E+01, 1.14405E+01
+ 5.92870E+00, 9.36778E-01, 4.86345E+00
+ 3.21050E-03,-1.69734E-03, 4.03676E-03
+ 2.97000E-002, 2.70000E+01, 5.00000E+00
+ 2.80767E-010,2.80767E-010,3.64085E-010
+ 1.00000E+000,0.00000E+000,0.00000E+000
+ 1.00000E+000,0.00000E+000,0.00000E+000
+ 0.00000E+000,0.00000E+000,0.00000E+000
+ 0.00000E+000,0.00000E+000,0.00000E+000
+ 56.9,2.710700e-04,1.507200e-10,1e-08,0.91954
+ 0.91954, 0.52656, 0.1, 0, 0
*
Iref (nvdd nin) 20u
vout (nout 0) 2.5
vdd (nvdd 0) +5
vss (nvss 0) 0
.options post dcon=1
.dc vout 0 5 0.01 sweep Iref 5u 50u 10u
.dc Iref 0 50u 0.1u sweep vout 0.1 3.0 0.3
.end
```



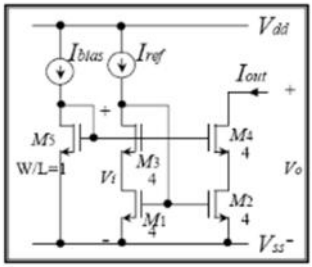
مدار ۲ (current mirror2.sp)

```
* Improved Cascode current mirror (AMI 1.2um CMOS process)
.param lam=0.6u
.param
```

```
+ w01=4.8u 101=1.2u w02=4.8u 102=1.2u
+ w03=4.8u 103=1.2u w04=4.8u 104=1.2u
+ w05=2.4u 105=1.2u
m01 (mid1 nin nvss nvss) CMOSN W=w01 L=101
+ AS='5*lam*w01' AD='5*lam*w01' PS='2*w01+10*lam' PD='2*w01+10*lam'
m02 (mid2 nin nvss nvss) CMOSN W=w02 L=102
+ AS='5*lam*w02' AD='5*lam*w02' PS='2*w02+10*lam' PD='2*w02+10*lam'
m03 (nin nvb mid1 mid1) CMOSN W=w03 L=103
+ AS='5*lam*w03' AD='5*lam*w03' PS='2*w03+10*lam' PD='2*w03+10*lam'
m04 (nout nvb mid2 mid2) CMOSN W=w04 L=104
+ AS='5*lam*w04' AD='5*lam*w04' PS='2*w04+10*lam' PD='2*w04+10*lam'
m05 (nvb nvb nvss nvss) CMOSN W=w05 L=105
+ AS='5*lam*w05' AD='5*lam*w05' PS='2*w05+10*lam' PD='2*w05+10*lam'

.MODEL CMOSN NMOS LEVEL=13 VFB0=
+ -8.74178E-01, 3.52920E-02, 9.00288E-02
+ 7.23936E-01, 0.00000E+00, 0.00000E+00
+ 8.79301E-01,-1.74446E-01,-2.53817E-02
+ 6.19484E-02, 2.28490E-02,-5.41312E-02
+ -8.88805E-03, 2.42663E-02,-1.49727E-03
+ 5.93388E+02,3.21978E-001,9.94279E-001
+ 6.67574E-02, 1.05337E-01,-7.54917E-02
+ 7.17023E-02, 1.90566E-01, 6.09585E-03
+ 8.31770E+00,-6.09160E+00, 9.32611E+00
+ 4.83549E-04,-5.86887E-03, 2.89785E-04
+ 7.62075E-04, 2.14528E-04,-1.74741E-03
+ 6.30888E-04,-3.63569E-03, 6.17858E-04
+ -1.86907E-02, 1.72973E-02, 4.96138E-03
+ 6.60689E+02, 8.87036E+01,-4.17446E+01
+ -7.47803E+00, 1.09303E+01, 1.14405E+01
+ 5.92870E+00, 9.36778E-01, 4.86345E+00
+ 3.21050E-03,-1.69734E-03, 4.03676E-03
+ 2.97000E-002, 2.70000E+01, 5.00000E+00
+ 2.80767E-010,2.80767E-010,3.64085E-010
+ 1.00000E+000,0.00000E+000,0.00000E+000
+ 1.00000E+000,0.00000E+000,0.00000E+000
+ 0.00000E+000,0.00000E+000,0.00000E+000
+ 0.00000E+000,0.00000E+000,0.00000E+000
+ 56.9,2.710700e-04,1.507200e-10,1e-08,0.91954
+ 0.91954, 0.52656, 0.1, 0, 0
*

.param pp=20u
Ibias (nvdd nvb) pp
Iref (nvdd nin) pp
vout (nout 0) 2.5
vdd (nvdd 0) +5
vss (nvss 0) 0
.options post dcon=1
.dc vout 0 5 0.01 sweep pp 5u 50u 10u
.dc Iref 0 50u 0.1u sweep vout 0.1 3.0 0.3
.end
```



مراجع

[1] *HSPICE® Quick Reference Guide, Version W-2005.03, March 2005, Synopsys, Inc.*
[2] *Star-Hspice Manual, Release 1998.2, July 1998, Synopsys, Inc.*
[3] *AvanWaves™ User Guide, Version W-2005.03, March 2005, Synopsys, Inc.*
[4] *AvanWaves Manual, Release 2001.2, June 2001, Avant! Corporation*