آزمایشگاه الکترونیک دیجیتال

گروه مهندسی کامپیوتر – سخت افزار

فهرست موضوعات: **صفحه**

خلاصه اي در خصوص كار با نرم افزار Pspice ۱

۱-تكنولوژي ديودي يا RDL (Resistor Diode Logic) ۱۵

۲-تكنولوژي RTL (Resistor Transistor Logic) ۱۶

۳-تكنولوژي DTL (Diode Transistor Logic) ۱۹

٤- تكنولوژي TTL (Transistor Transistor Logic) ۲۱

٥-تكنولوژيMOS ۲۲

٦- اينورتر NMOS با بار اشباع ۲٦

۷- پياده سازي توابع بوسيله NMOS ۲۷

۸- تكنولوژي CMOS ۳۰

۹- پياده سازي توابع بوسيله CMOS ۳۳

۱۰- بررسي ومقايسه رفتار فركانسي ساختارهاي مختلف ۳٦

۱۱- آشنایی با تقویت کننده عملیاتی 741 ٤٥

۱۲- آشنایی با IC 555 ٤۸

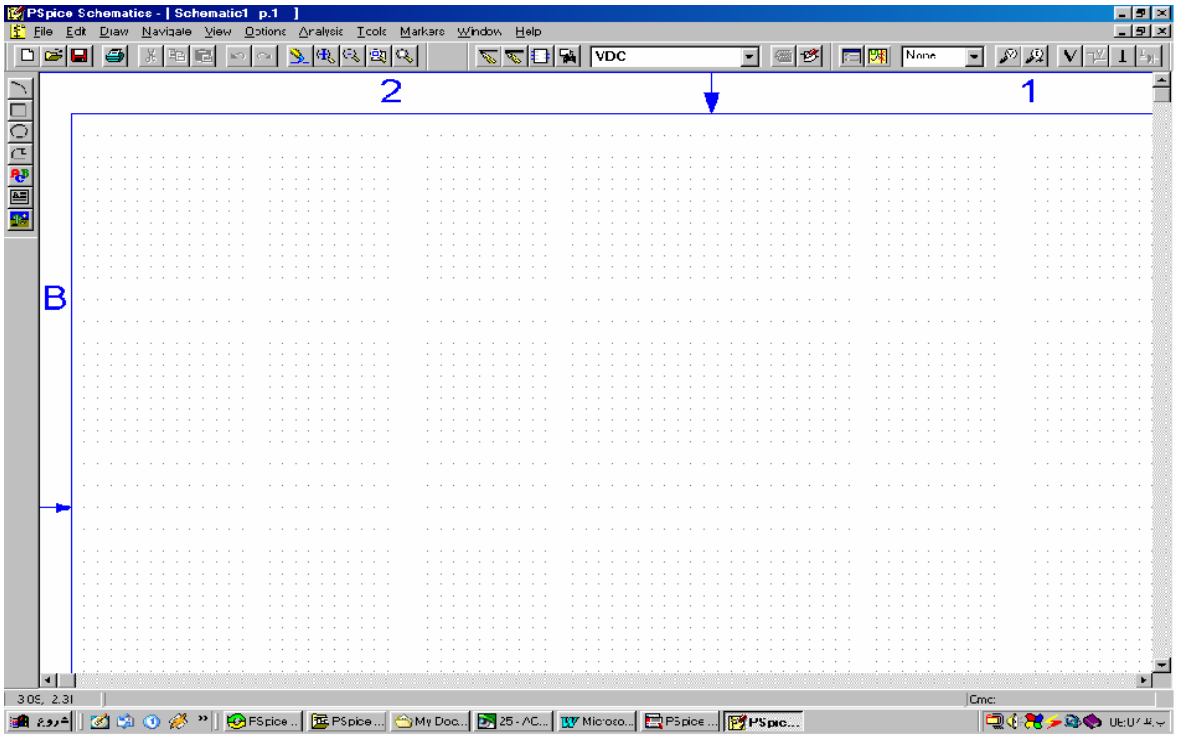
۱۳ـ مبدل آنالوگ به دیجیتال به شماره ADC0804 ٥۰

۱٤ـ مبدل دیجیتال به آنالوگ به شماره DAC0800 ٥٥

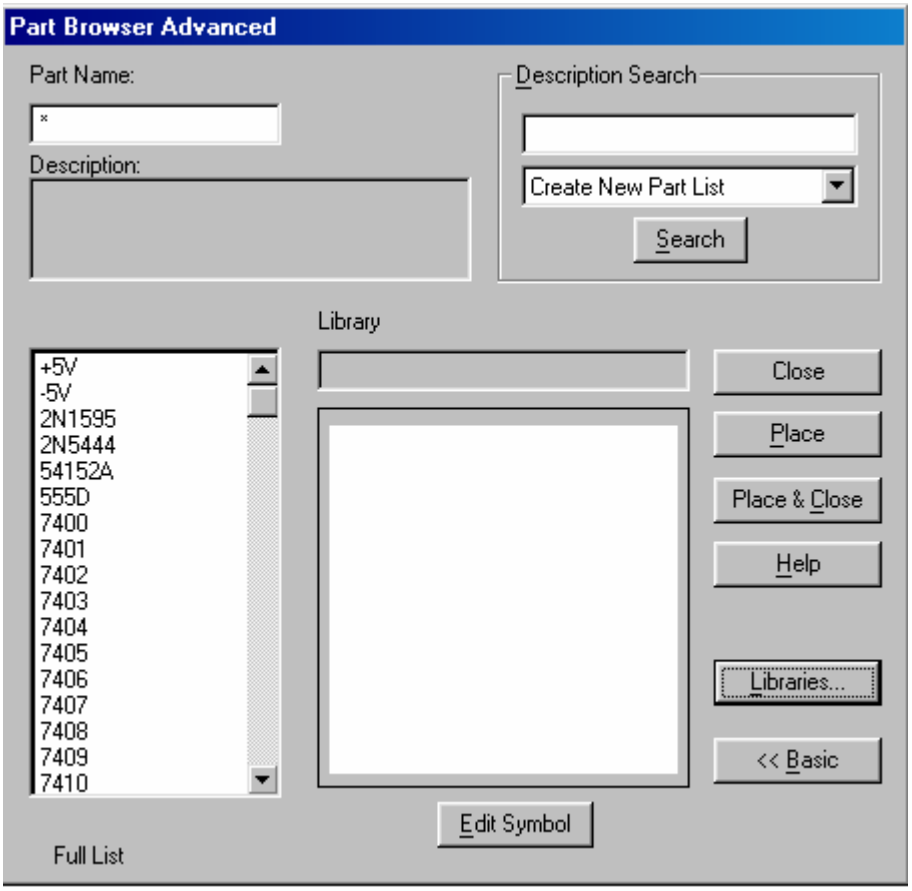
خلاصه اي در خصوص كار با نرم افزار Pspice

نرم افزار مورد استفاده در برخی آزمایشهای آزمایشگاه مدارهای دیجیتال Pspice student 9.2، Orcad 9.2 يا Microsim eval 8 مي باشد. در اين قسمت در خصوص كار با نرم افزار اطلاعاتي درحد بسيار مختصر ارائه مي گردد و درك كليه جزئيات در اين خصوص مستلزم مراجعه به كتابهاي مرجع مي باشد.

ورود به محيط ترسيم مدار در Pspice:



با كليك روي گزينه Schematics از منوي Pspice student وارد محيط ترسيم مدارمي شويم. در ابتدا مي بايست قطعات مورد نظر خود را انتخاب كنيم اين كار به وسيله گزينه Get New Part در قسمت Draw يا Ctrl+G انجام مي پذيرد. انتخاب قطعه در اين فضا به دو صورت امكان پذير است :



۱- تايپ نام قطعه مورد نظر در قسمت Part Name و جايگذاري قطعه در صفحه ترسيم.

۲- انتخاب قطعه از مجموعه مخصوص به خود كه در اين صورت مي بايست گزينه Libraries... از اين فضا را انتخاب كرده و وارد محيط Library Browser شويم.

قطعاتي كه مورد استفاده بيشتري دارند شامل موارد زير مي باشند:

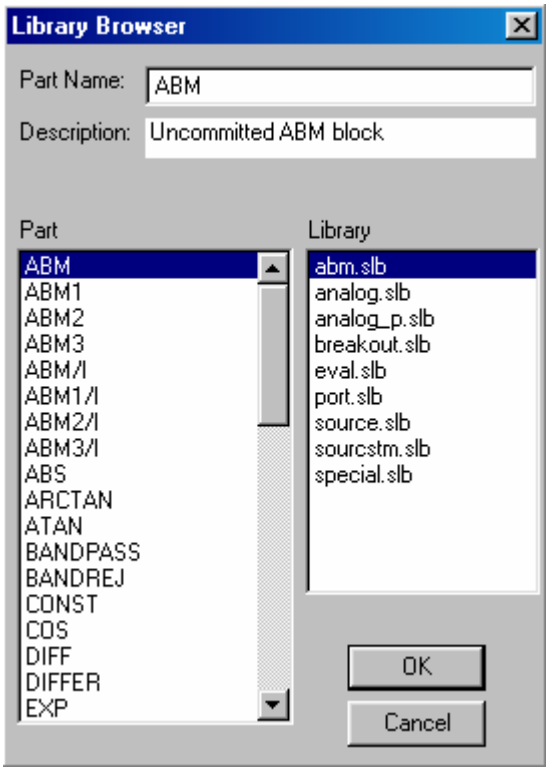
۱- analog.slb (حاوي قطعات آنالوگ مانند خازن، مقاومت ، سلف و ...).

۲- eval.slb (حاوي قطعات نيمه هادي مانند ديود ,ترانزيستورهاي BJT,MOSFET و JFET ,گيتهاي منطقي آماده , انواع IC هاي سري74XX و ...).

۳- breakout.slb (حاوي انواع MOSFET هاي تخليه اي و ...).

٤- port.slb (حامل قطعاتي مانند زمين حقيقي يا مجازي و ...).

۵- source.slb (حامل منابع ولتاژ مختلف مانند VPWL,VSIN,VAC,VDC,VPULSE و همینطور منابع جریان مختلف و ...)

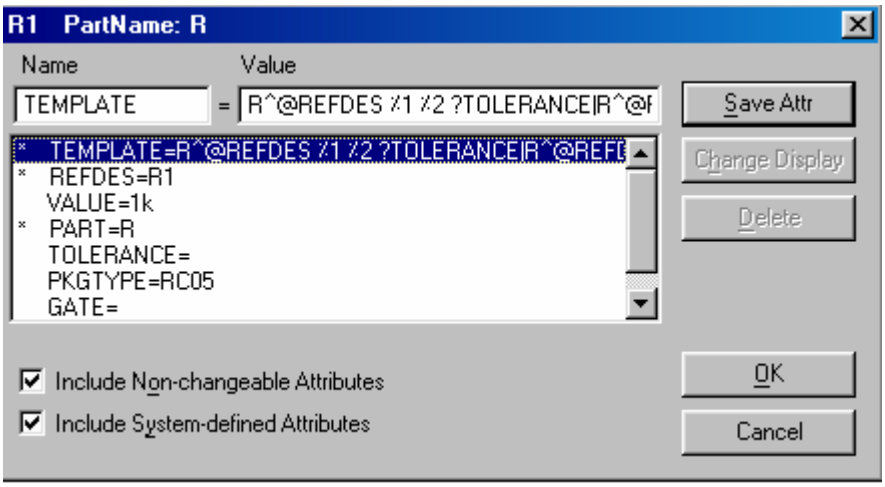


شایان ذکر است که محیط Library Browser شامل گزینه هاي دیگري نیز مي باشد که در این درس بندرت مورد استفاده قرار مي گیرند.

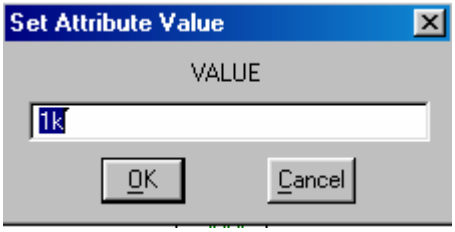
پس از انتخاب قطعات مي بایست به وسیله سیم یا خطوطي ساختار مدار را در صفحه Schematics پیاده کرد یا به عبارتي قطعات را براي دستیابي به یك ساختار معین و مورد نظر به هم وصل کرد این کار به وسیله گزینه Wire در قسمت Draw یا Ctrl+W انجام مي پذیرد. بدین ترتیب که به وسیله کلیك چپ در خروجي هر قطعه و ورودي قطعه دیگر مي توان این دو قطعه را به وسیله سیم به هم متصل کرد (این کار بایستي به دقت انجام شود زیرا

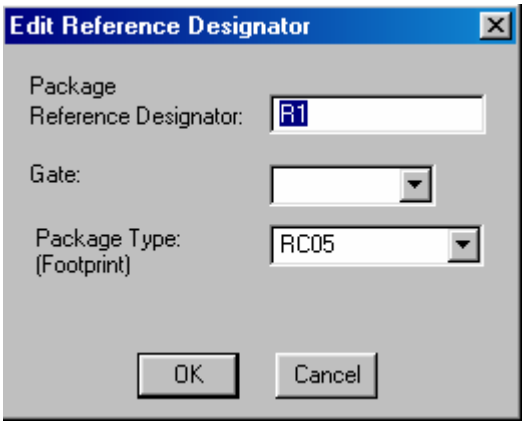
هر گونه عدم اتصال باعث ايجاد پيامهاي error در حين شبيه سازي خواهد شد كه در مرحله بعد توضيح داده مي شود).براي چرخش قطعات به ميزان ۹۰ درجه از Ctrl R و ۱۸۰درجه از Ctrl F استفاده مي شود.

پس از سيم بندي قطعات مختلف نوبت به مقدار دهي آنها مي رسد. به منظور دستيابي به پارامترهاي هر قطعه كافيست روي قطعه كليك مضاعف كنيد تا وارد پنجره تنظيمات قطعه مذكور شويد.



(به عنوان مثال با وارد شدن به پنجره پارامترهاي مقاومت گزينه هاي مختلفي مشاهده مي شود كه تنها مورد انتخابي جهت تغيير گزينه VALUE مي باشد و ساير گزينه ها به حال خود رها مي شوند).روش ديگر تغيير مقدار مقاومت كليك مضاعف روي مقدار مقاومت مي باشد كه در تصوير Schematics مشاهده مي شود و مي توان به راحتي مقدار مورد نظر را وارد كرد. اين كار براي تغييرنام قطعه نيز امكان پذير است و روش كار دقيقا شبيه به تعيين مقدار است.





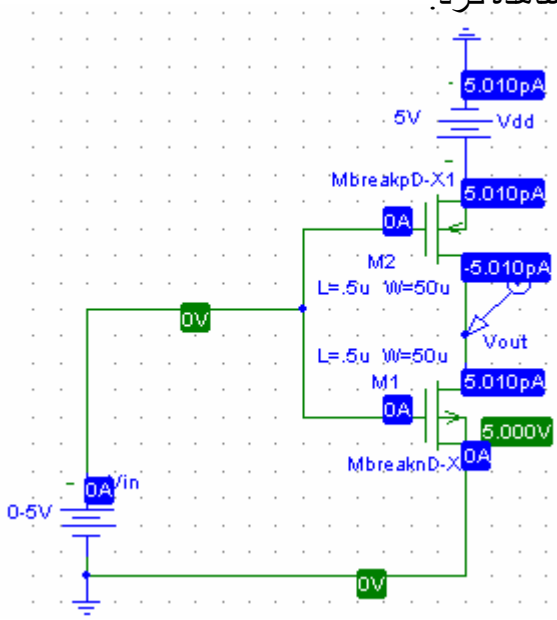
براي ساير قطعات نيز روش كلي بدين صورت است كه در ادامه به برخي از موارد پر استفاده اشاره خواهد شد.

پس از انجام اين مرحله نوبت به نامگذاري گره هاي مدار مي باشد به اين منظور مي بايست روي هر گره كليك مضاعف كرده و نام گره را در پنجره مربوط به دلخواه وارد كرد . اگر اين نامگذاري صورت نگيرد Pspice به صورت خود تعريف اسامي براي گره ها در نظر خواهد گرفت كه ممكن است گمراه كننده باشد.

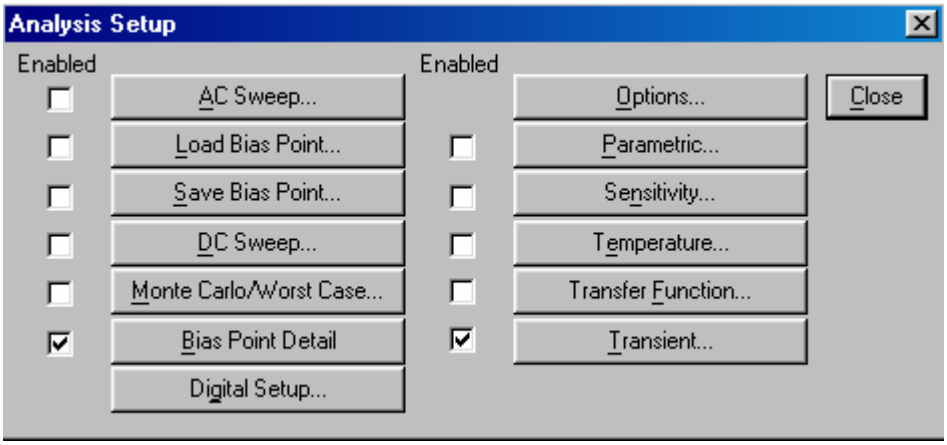
پس از تنظيمات اوليه كه ذكر شد نوبت به تنظيمات صفحه نمايش خروجي مي رسد. اين مرحله از كار به عنوان مهمترين مرحله از شبيه سازي مطرح مي باشد و حالات مختلفي در نظر گرفته مي شود:

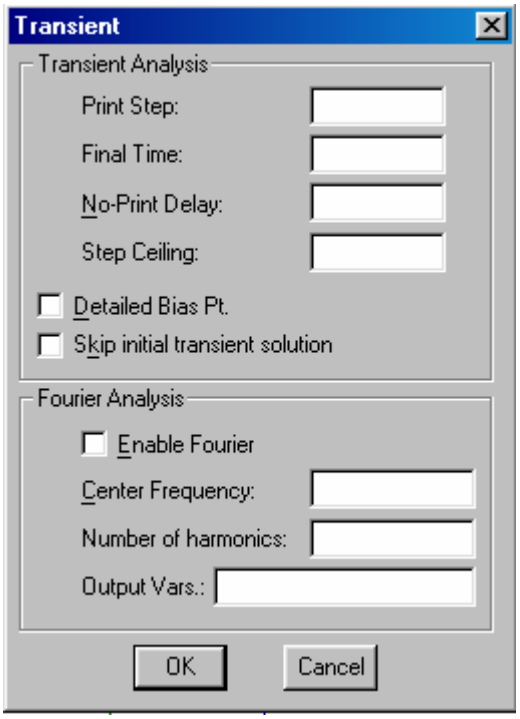
۱- هدف صرفا مشاهده ولتاژها و جريان ها به ترتيب در گره ها و شاخه هاي مدار و در صفحه اصلي Schematics و در روي خود مدار مي باشد. در اين صورت هيچ نيازي به تنظيم صفحه نمايش خروجي نيست زيرا همه نتايج مي بايست در صفحه جاري Schematics نمايش داده شوند. در نتيجه پس از ترسيم مدار و مقداردهي و نامگذاري قطعات و گره ها كافيست گزينه simulate از قسمت Analysis يا F11 را انتخاب كرده و مدار را شبيه سازي كنيم (شايان ذكر است كه قبل از شبيه سازي مدار مي بايست با يك

نام دلخواه Save شود).پس از شبيه سازي از آنجايي كه هيچ تنظيمي براي نمايش شكل موجهاي خروجي انجام نشده يك صفحه تاريك مشاهده مي شود كه با بستن اين پنجره و بازگشت به مدار اصلي و انتخاب شا سي هاي I , V در صفحه اصلي مي توان ولتاژها و جريانها را در روي مدار مشاهده كرد.



۲- از يك منبع سيگنال سينوسي VSIN در مدار استفاده شده و نتيجه مي بايست در حوزه زمان و به صورت نمودار نمايش داده شود در اين صورت گزينه Setup... از قسمت Analysis را انتخاب كرده و وارد پنجره تنظيمات شويد و با انتخاب گزينه Transient... وارد پنجره مخصوص آن شويد.





گزينه Print Step را با يك مقدار بسيار نا چيز غير صفر مقداردهي كنيد , گزينه Final Time را تا زماني كه تمايل داريد نمودار نمايش داده شود مقدار دهي كنيد و گزينه Step Ceiling را نيز با عددي در حوزه (10µ-10) مقدار دهي كنيد (هر چقدر مقدار Step Ceiling كمتر باشد نمودار هموارتر به نظر مي رسد).

{نحوه تنظيم پارامترهاي VSIN :

VOFF : تنظيم كننده مقدار آفست از ولتاژ صفر است.

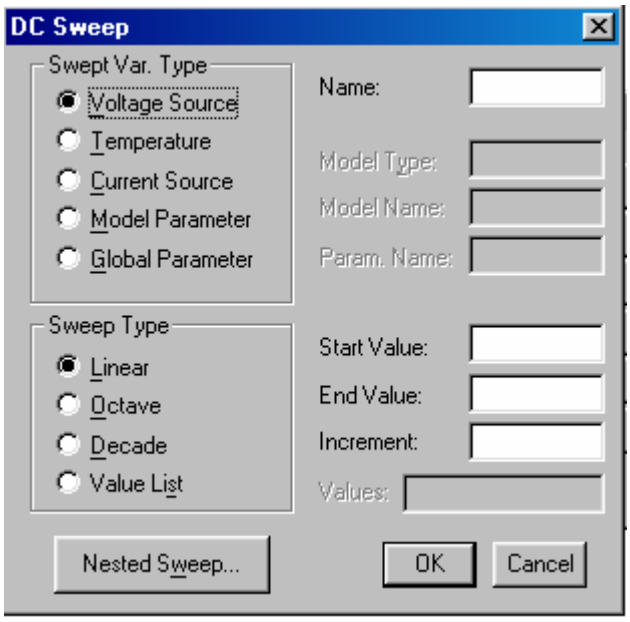
VAMPL: تنظيم كننده پيك سيگنال است.

FREQ : تنظيم كننده فركانس سيگنال است. ما بقي پارامترها به صورت خود تعريف رها مي شوند}.

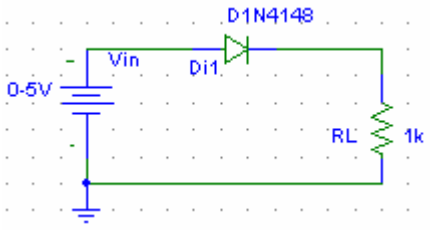
پس از تنظيم گزينه Transient به صورتي كه تشريح شد نوبت به شبيه سازي مدار مي رسد كه با انتخاب F11 و در صورتي كه مدار فاقد هر گونه ايرادي باشد صفحه نمايشگرنمودارهاي خروجي ظاهر مي شود كه با انتخاب گزينه Add Trace... از قسمت

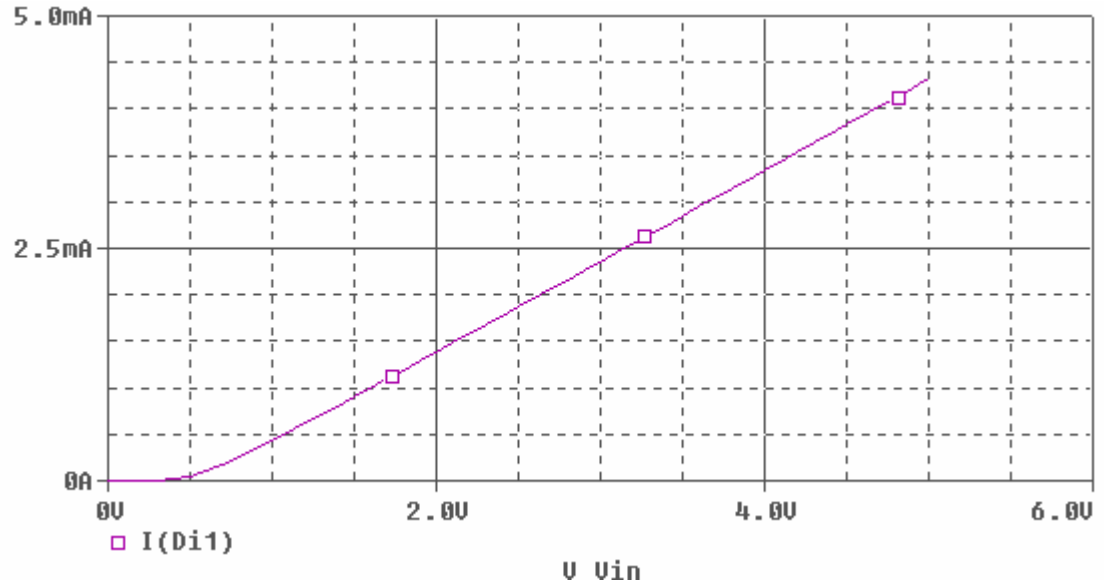
Trace مي توان شكل موجهاي مورد نظر را انتخاب و بر حسب زمان مشاهده كرد.

۳-از يك منبع ولتاژ DC استفاده شده و هدف مشاهده عكس العمل مدار به ازاي يك محدوده مشخص از اين منبع ولتاژ مي باشد (سوئيپ DC) مانند منحني جريان ديود بر حسب ولتاژ دو سر آن.در اين صورت نمودار افقي در شكل موج خروجي بر حسب ولتاژ است و مي بايست گزينه DC Sweep... را در قسمت Setup تنظيم كرد.تنظيم مقادير با توجه به نوع منبع متغير(ولتاژ، جريان و ...) و نوع Sweep (خطي ، اكتاو و ...) صورت مي گيرد. در قسمت مربوط به Name نيز نام منبع متغيرمورد نظر بايستي تايپ شود و مقادير شروع و پايان و افزايش نيز به دلخواه تنظيم مي گردد.

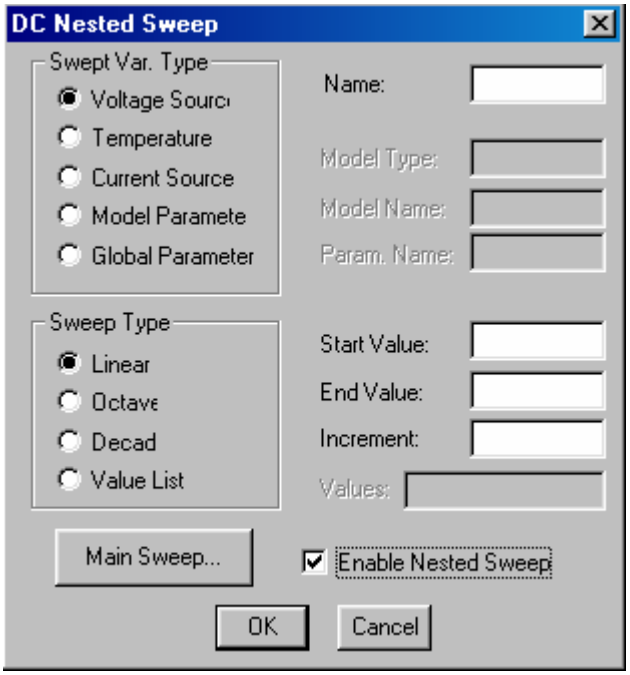


نحوه شبيه سازي مدار دقيقا مشابه حالت ۲ است منتهي در اينجا پارامتر ها ديگر بر حسب زمان نيستند .

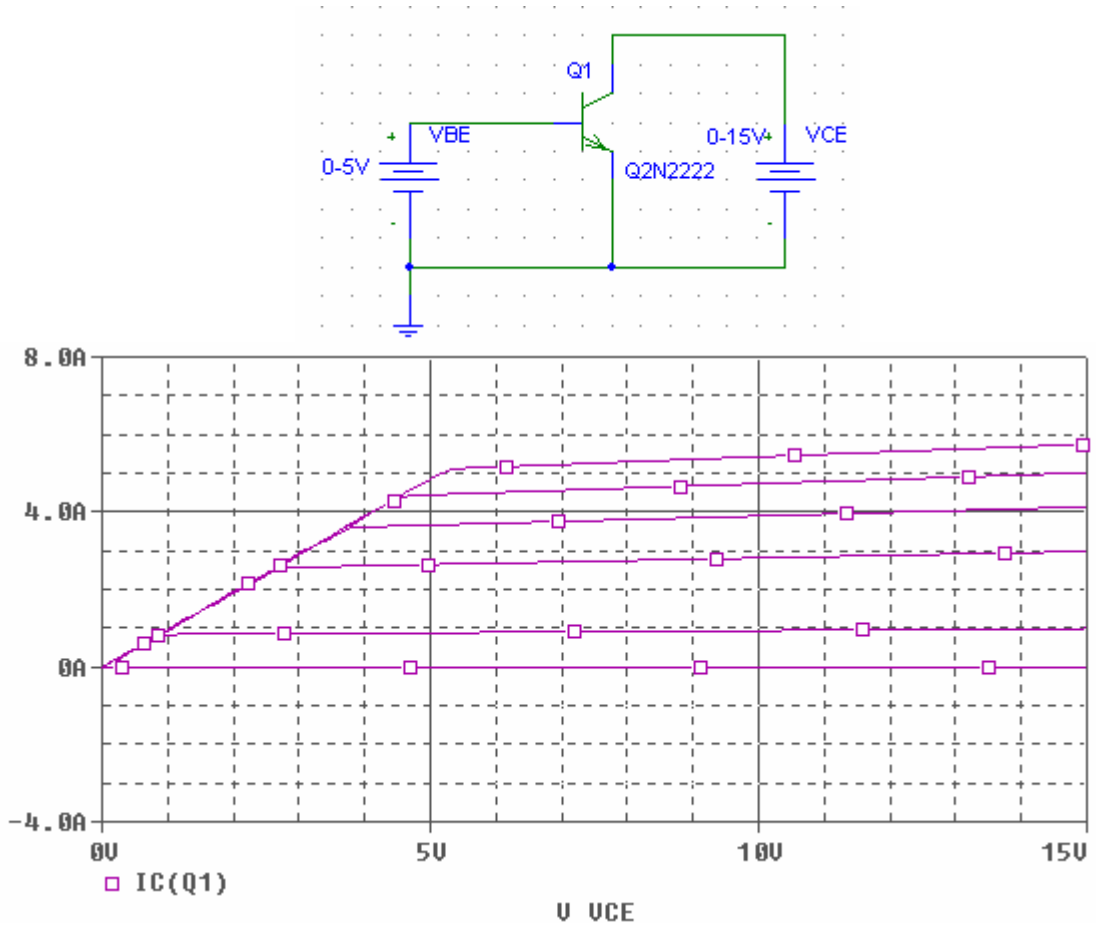




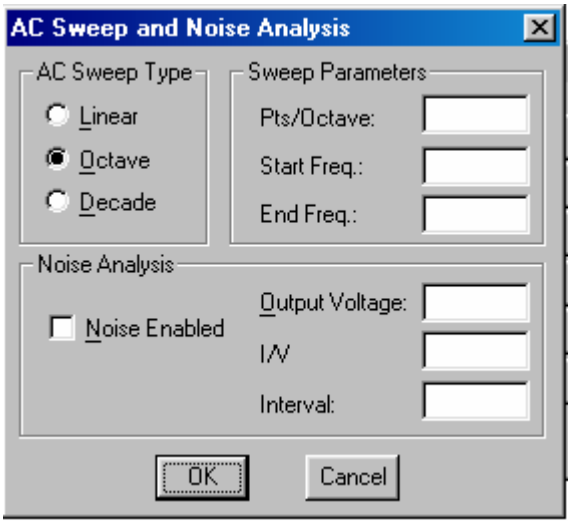
۳- دربرخي مواقع هدف مشاهده عکس العمل مدار به ازاي تغييرات دو پارامتر در محدوده مشخص مي باشد(سوئيپ تو در توي DC) بعنوان مثال I_C ترانزيستور بر حسب V_{CE} به ازاي مقادير مختلف V_{BE}. اين قسمت نيز شبيه به قسمت ۳ مي باشد بدين ترتيب كه پس از تنظيم پنجره DC Sweep براي مقدار V_{CE} (محور افقي) با انتخاب گزينه Nested Sweep... در همان پنجره وارد محيط تنظيم پارامتر دوم (در اينجا V_{BE}) مي شويم كه تنظيمات آن نيز شبيه به پنجره حالت قبل مي باشد (كنار گزينه Enable Nested Sweep در همين پنجره علامت گذاري شود).



در ادامه مي توان مدار را دقيقا مشابه حالات قبل شبيه سازي كرد و نمودار پارامترهاي مورد نظر را در خروجي مشاهده نمود.



۵-در مواردي كه هدف بررسي پاسخ فركانسي سيستم ويا پهناي باند آن مي باشد مي بايست به تنظيم سوئيپ AC درپنجره Analysis Setup پرداخت تا قابليت مشاهده تمامي پارامترها بر حسب فركانس ميسر گردد.به اين منظور پس از انتخاب گزينه...AC Sweep و ورود به اين محيط مقدار Pts/Octave در بازه(۳۰-۱۰ براي مقياس اكتاو) و فركانس شروع و پايان نيز به دلخواه تنظيم مي شوند(به گونه اي كه بتوان تمامي تغييرات را پوشش داد) . سپس نوع AC Sweep بصورت Octave انتخاب مي گردد و مابقي قسمتها بدون تغيير رها مي شوند.



در ادامه مي توان مدار را دقيقا مشابه حالات قبل شبيه سازي كرد و نمودار پارامترهاي مورد نظر را در خروجي بر حسب فركانس مشاهده نمود.

تنظيم پارامترهاي مربوط به قطعه MOSFET :

۱) MOSFET هاي تخليه اي

Mbreak P3D,N3D (بدون اثر بدنه)

Mbreak P4D,N4D (با اثر بدنه)

همانگونه كه قبلا اشاره شد مي توان با كليك مضاعف روي يك قطعه پارامترهاي مختلف آنرا مشاهده كرد و تغيير داد ولي در قطعاتي مانند BJT و MOSFET تعداد بسيار محدودي از پارامترها به اين طريق دستيابي مي شوند. براي دسترسي به پارامترهاي بيشتر قطعه مورد نظر را فعال كرده و با انتخاب گزينه Model... از قسمت Edit و انتخاب گزينه

Edit Instance Model [Text]... مي توان وارد صفحه ويرايش پارامترهاي MOSFET(يا BJT) شد. در خط اول عبارت model MbreakPD-X PMOS. و در خط دوم VTO=4.0 ملاحظه مي شود جهت افزودن پارامترهاي دلخواه در ادامه خط اول

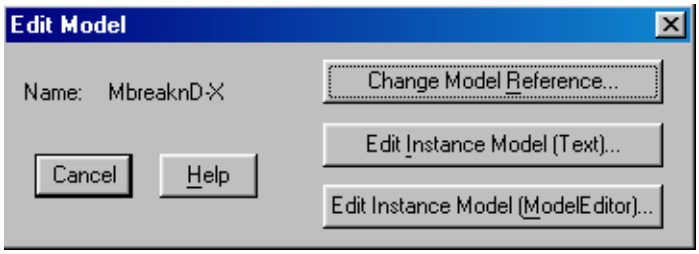
مي توان موارد زير را تايپ كرد.

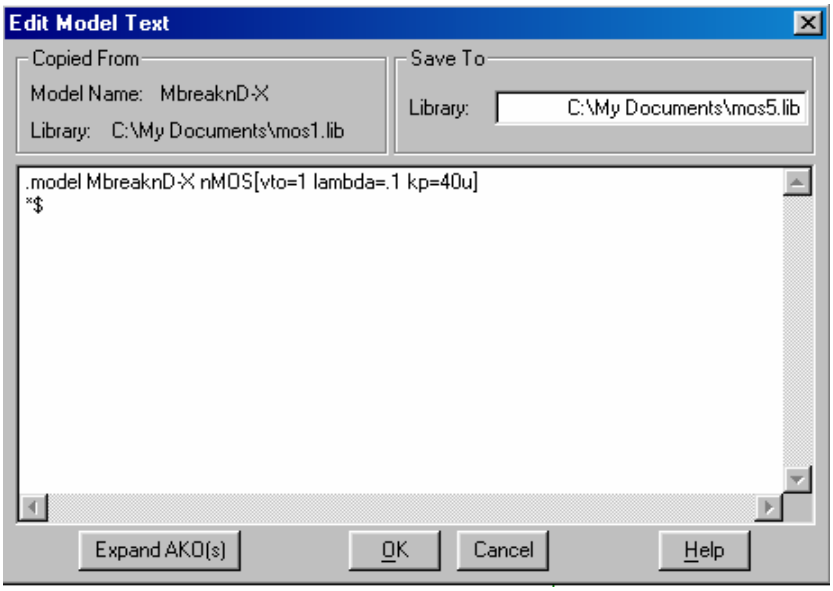
.model Mbreak PD-X PMOS [lambda=0.1 kp=40µ Gamma=0.1 vto=1]

سپس خط دوم را پاك كنيد (زيرا براي VTOنيز در خط اول مقداري انتخاب شده است) . در اين قسمت مي توان نوع ترانزيستور ر ا نيز با تبديل PMOS در خط اول به NMOS و يا بالعكس تغيير داد . W و L نيز با كليك مضاعف روي قطعه در صفحه اصلي قابل دسترسي است.

(توجه : تمامي فواصلي كه بين كلمات در خط اول وجود دارد مي بايست تا آخر حفظ شوند و از به هم پيوستن كلمات پرهيز شود تا از بروز خطا در حين شبيه سازي جلوگيري شود).

توضيح اينكه Pspice بصورت قراردادي ترانزيستورهاي با جهت قلش رو به بيرون را



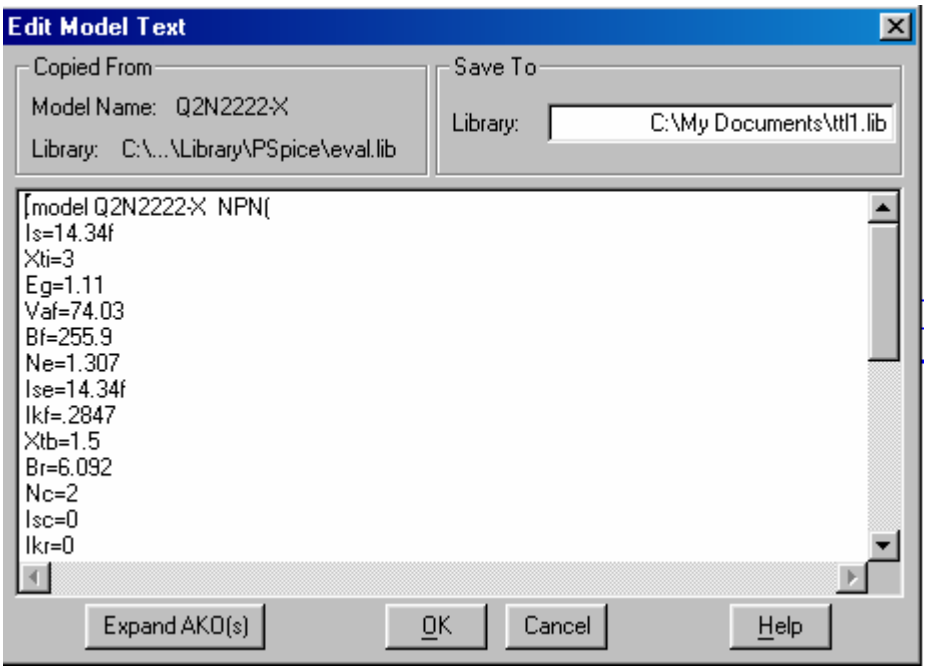


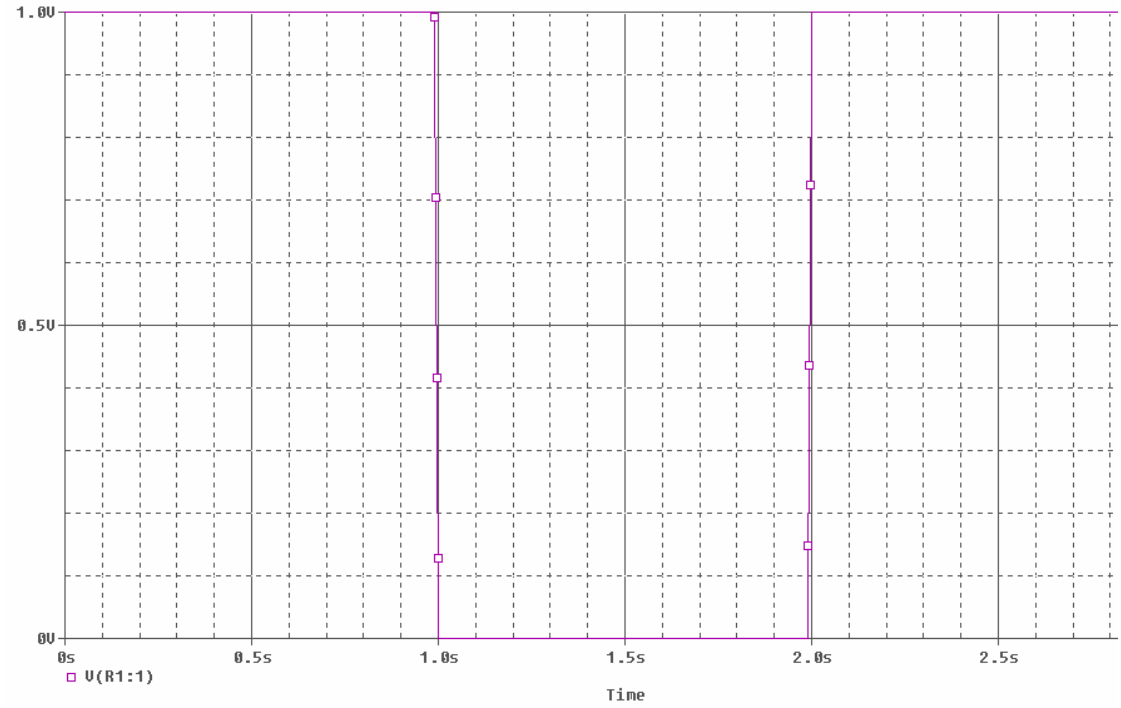
PMOS و با جهت فلش رو به داخل را NMOS در نظر مي گيرد (بصورت تخليه اي)كه مي توان اين امر را همانگونه كه در قسمت بالا اشاره شد با تبديل PMOS به NMOS و يا بالعكس در خط اول و تغيير علامت VTO جهت استفاده (بصورت افزايشي) تغيير داد.

۲)MOSFET هاي افزايشي

نظير IRF 150 و IRF9140 كه در اين مورد نيزروش تغيير پارامترها شبيه به روش مذكور ميباشد با اين تفاوت كه پس از انتخاب گزينه Edit Instance Model [Text]... نيازي به تايپ پارامترها نيست و كليه پارامترهاي MOSFET ليست شده اند و مي توان به دلخواه آنها را تغيير داد .

در خصوص ترانزيستور BJT بعنوان مثال Q2N2222 نيزروش تغيير پارامترها شبيه به روش مذكور در MOSFET هاي افزايشي مي باشد.





براي ايجاد شكل موجهاي نظير شكل بالا مي بايست از منبع VPWL استفاده كرد كه نحوه تنظيم پارامترهاي آن بصورت يك مثال به نمايش گذاشته مي شود.

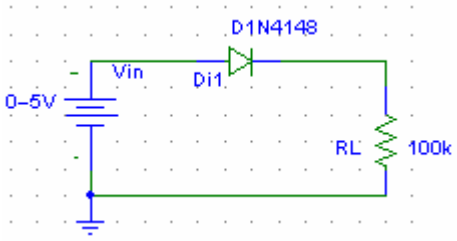
وارد كردن مقادير زير شكل موج بالا را بر حسب زمان به وجود مي آورد.با توجه به نحوه مقداردهي و با استفاده از اين الگو مي توان انواع شكل موجهاي دلخواه را جهت استفاده در مدارات مختلف به وجود آورد.

(V4 =1v, T4=2s , V3= 0V, T3= 1.99s, V2 =0v, T2=1s, V1=1v, T1=0.99s, DC=1v)

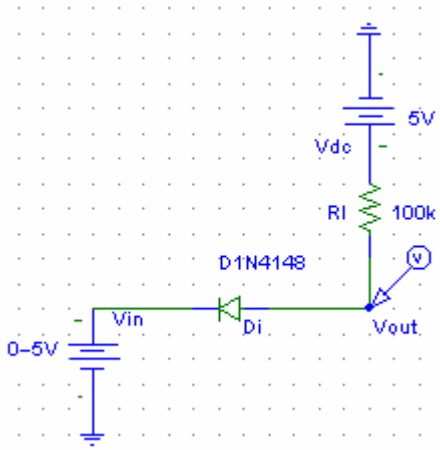
مواردي كه تا كنون بحث شد تنها كلياتي از اين نرم افزار بسيار قدرتمند و كارآمد مي باشد. از آنجايي كه فرصت كافي جهت بررسي تمامي قسمتها و جزئيات در دست نمي باشد در اينجا مبحث مربوط به نحوه كار با نرم افزار را به پايان برده و مطالعات اضافي در اين خصوص را به عهده دانشجويان گرامي نهاده و در ادامه مبحث مربوط به درس الكترونيک ديجيتال را پي مي گيريم.

۱ـتکنولوژي ديودي يا RDL (Resistor Diode Logic) : داراي ساده ترين مدارات پياده سازي توابع منطقي مي باشد که در ساختار آنها تنها از ديود و مقاومت استفاده شده است.

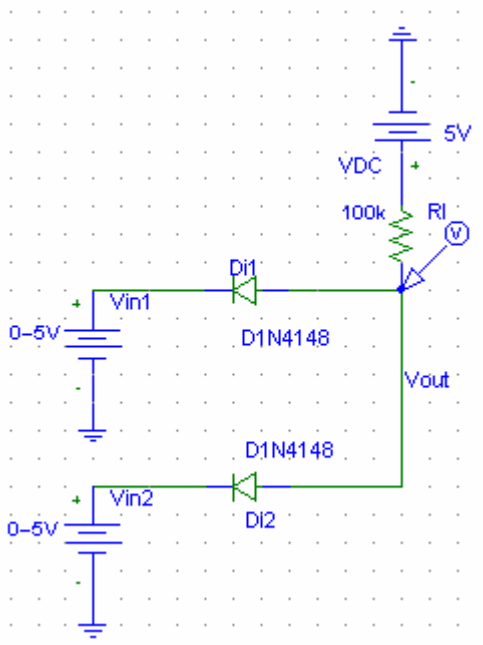
۱-۱) مدار زير را بسته و منحني مشخصه ديود (I_D بر حسب V_D) را با استفاده از سوئيپ DC منبع ورودي مشخص کنيد.



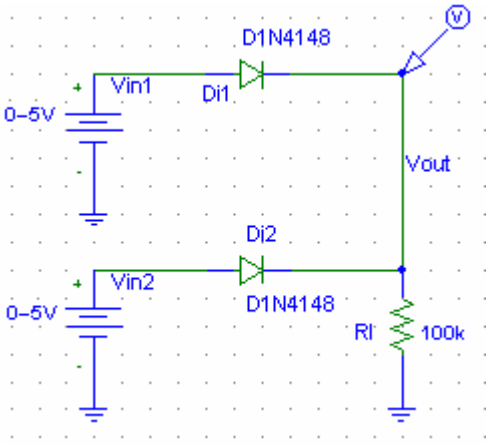
۱-۲) مدار زير را بسته و ولتاژ خروجي را بر حسب ولتاژ ورودي با استفاده از سوئيپ DC منبع ورودي مشخص کنيد. سپس نواحي کاري ديود و ولتاژ ورودي که خروجي بعد از آن شروع به ثابت شدن مي کند را روي نمودار مشخص کرده و نحوه عملکرد مدار را شرح دهيد .



۱-۳) مدار زير را بسته و ولتاژ خروجي را به ازاي مقادير مختلف منطقي V_{in1} و V_{in2} مشخص کنيد. سپس نحوه عملکرد مدار را شرح دهيد. اين مدار نمايانگر چه نوع گيتي مي باشد؟

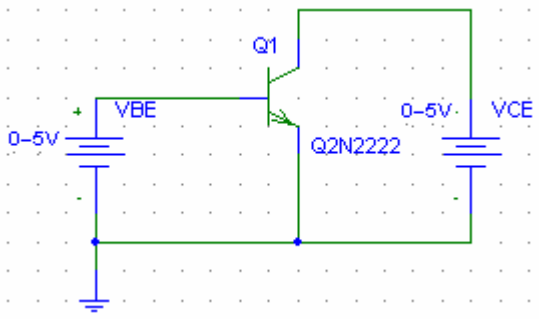


١-٤) مرحله ١-٣ رابراي مدار زير تكرار كنيد.



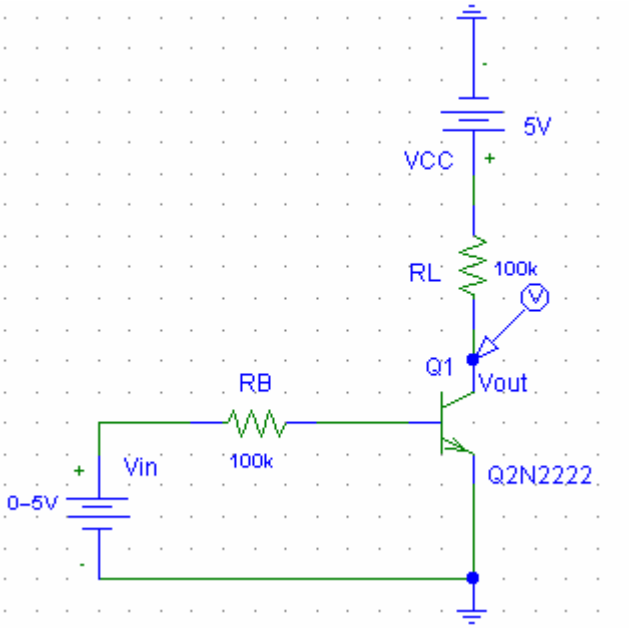
٢-تكنولوژي RTL (Resistor Transistor Logic) : اين تكنولوژي در اوايل دهه شصت قرن بيستم وارد بازار شد و انواع گيتها شامل NAND, NOR و ... بوسيله اين تكنولوژي قابل پياده سازي است در اين تكنولوژي تنها از مقاومت و ترانزيستور جهت پياده سازي توابع منطقي استفاده شده است.

۲-۱) مدار زیر را با استفاده از نرم افزار رسم کرده و منحني مشخصه ترانزيستور (I_C بر حسب V_{CE} به ازاي مقادير مختلف V_{BE}) را با استفاده از سوئيپ تو در توي DC مشخص كنيد. سپس نواحي كاري ترانزيستور را روي نمودار مشخص كرده و تشريح كنيد.



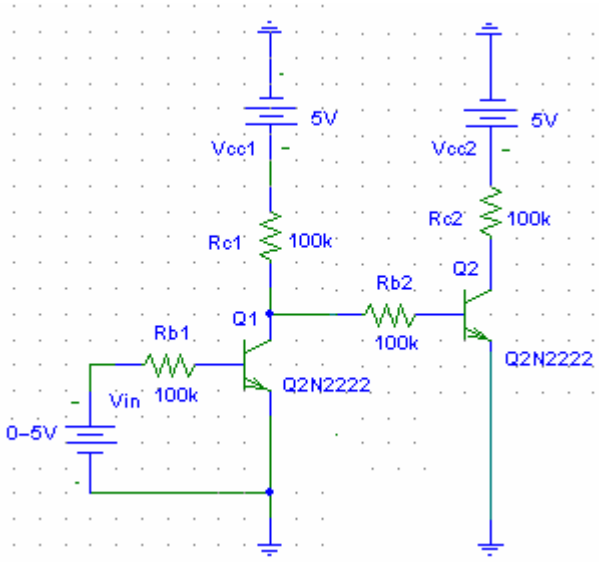
۲-۲) مدار زير را بسته و ولتاژ خروجي را بر حسب ولتاژ ورودي با استفاده از سوئيپ DC منبع ورودي مشخص كنيد. V_{iL} ,V_{iH} , V_{oL} , V_{oH} , NMH , NML را محاسبه كرده و با مقادير عملی مقايسه كنيد و ميزان خطا را بدست آوريد .

($NML=V_{iL}-V_{oL}$ و $NMH=V_{oH}-V_{iH}$)



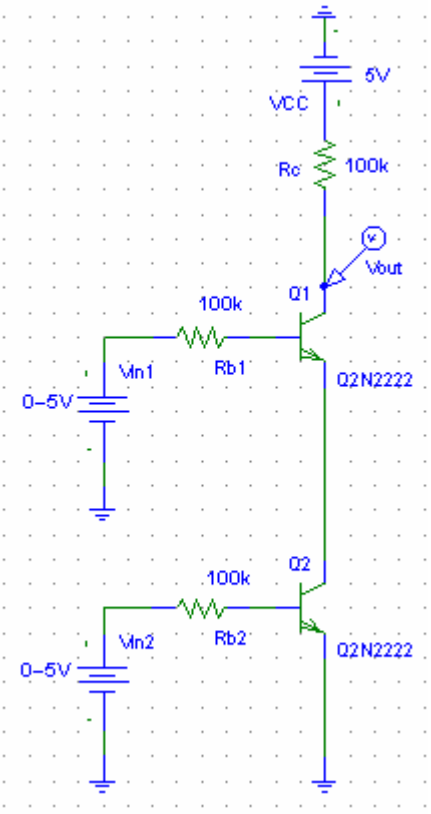
۲-۳) توان مصرفي ايستا را محاسبه نماييد و با مقادير عملی مقايسه كرده و ميزان خطا را محاسبه كنيد . $P_{diss}(ave) = (I_{(OH)} + I_{(OL)}).V_{cc} / 2$

۲-٤) قسمت ۲-۳ را براي طبقه اول مدار زير تكرار كنيد .



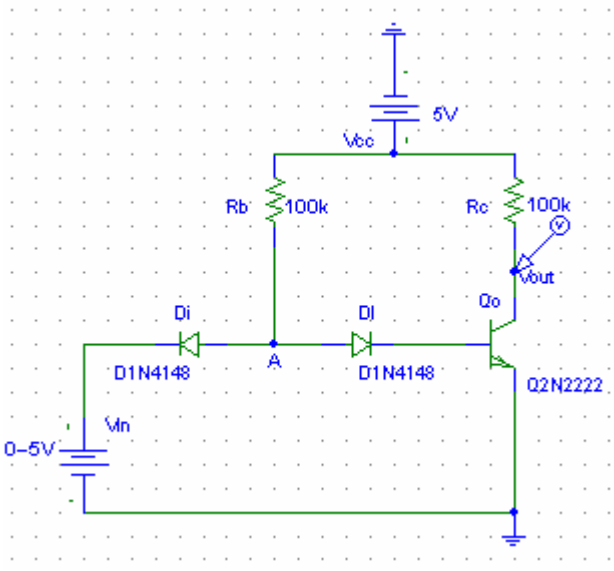
۲-٥) Fanout مدار قسمت ۲-۲ را محاسبه كنيد. (توجه : در محاسبه Fanout ولتاژ خروجي گيت تحريك كننده در حالت Hi است يعني V_{iH} بايستي وارد محاسبات شود).

۲-٦) مدار زير را در نظر بگيريد. I_{B1} ,I_{B2}, I_{Rc} , V_{out} را براي $V_{in1}=0$ و $V_{in2}=5$ وبالعكس محاسبه كرده و با مقادير عملی مقايسه كنيد . اين مدار نمايانگر چه نوع گيتی است؟



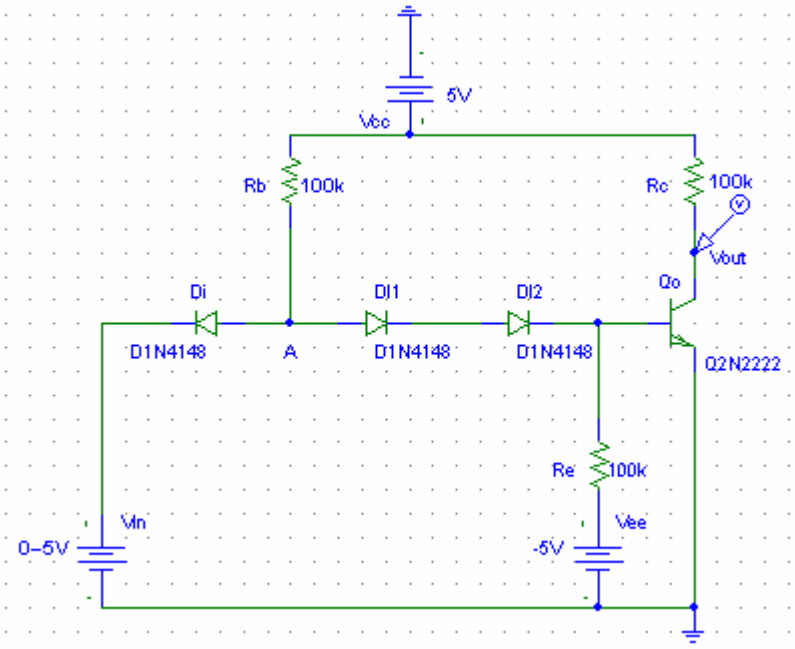
۳-تکنولوژي DTL (Diode Transistor Logic) : در اين تکنولوژي براي تحقق توابع منطقي از سه المان ديود ، ترانزيستور و مقاومت استفاده مي شود . يکي از محاسن تکنولوژي DTL نسبت به تکنولوژي RTL عدم تغيير جريان $I_{(oH)}$ در صورت وجود بار مي باشد و دليل آن نيز ديود معکوس در ورودي مي باشد .

۳-۱) مدار زير را بسته و ولتاژ خروجي را بر حسب ولتاژ ورودي بوسيله سوئيپ DC منبع ورودي مشخص کنيد. سپس V_{iL} , V_{iH} , V_{oL} , V_{oH} , NMH , NML را محاسبه کرده و با مقادير عملی مقايسه کنيد و ميزان خطا را بدست آوريد .



۳-۲) توان مصرفي ايستا را محاسبه كرده و با مقاديرعملی مقايسه كنيد و ميزان خطا را بدست آوريد.

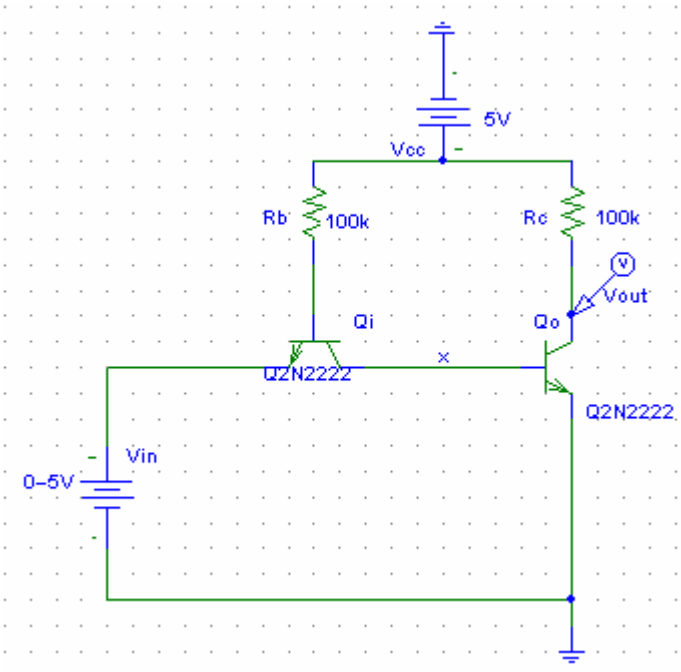
۳-۳) قسمت ۳-۱ را براي مدار زير تكرار كنيد سپس تاثير DI_2 در عملكرد مدار را تشريح كنيد و دليل استفاده از R_e متصل به بيس ترانزيستور را توضيح دهيد .



۳-٤) در خصوص Fanout مدارات DTL توضيح دهيد .

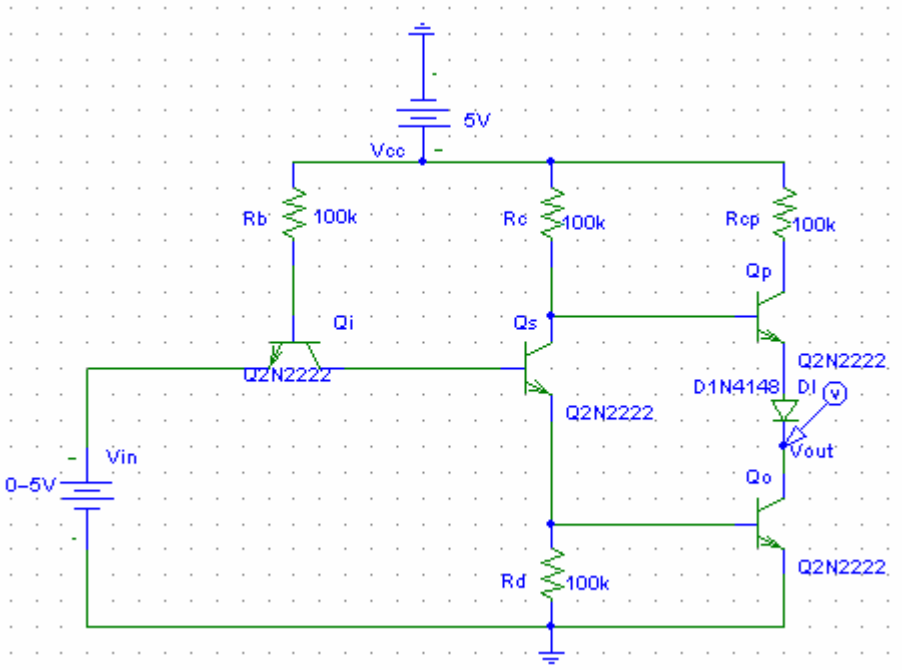
٤- تكنولوژي TTL (Transistor Transistor Logic) : اين تكنولوژي در سال 1965 به بازار عرضه شدو تفاوت آن با تكنولوژي DTL استفاده از ترانزيستور به جاي ديود مي باشد از مزاياي عمده آن افزايش Fanout و بهبود زمان پاسخ گذرا مي باشد.

٤-١) مدار زير را بسته و ولتاژ خروجي را بر حسب ولتاژ ورودي بوسيله سوئيپ DC منبع ورودي مشخص كنيد. سپس V_{iL} , V_{iH} , V_{oL} , V_{oH} ,NMH , NML را محاسبه كرده و با مقادير عملی مقايسه كنيد و ميزان خطا را بدست آوريد.



٤-٢) جدول حالت ترانزيستورهاي Qo, Q_i وهمچنين V_x را به ازاي مقادير ورودي L و ورودي H بدست آوريد .

٤-٣) مدار زير را بسته و جدول حالت ترانزيستورها را به ازاي مقادير ورودي L و ورودي H بدست آوريد .

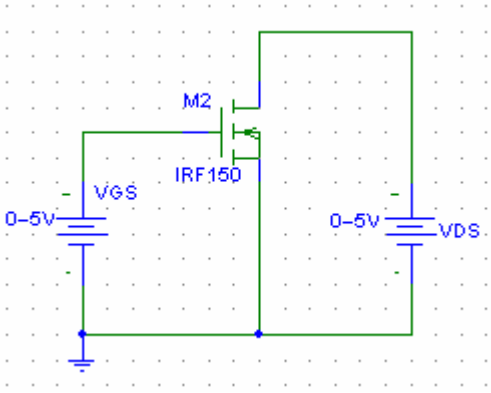


٤-٤) توان مصرفي ايستا را در حالت ورودي L و ورودي H محاسبه كرده و با مقادير عملی مقايسه كنيد و ميزان خطا را بدست آوريد .

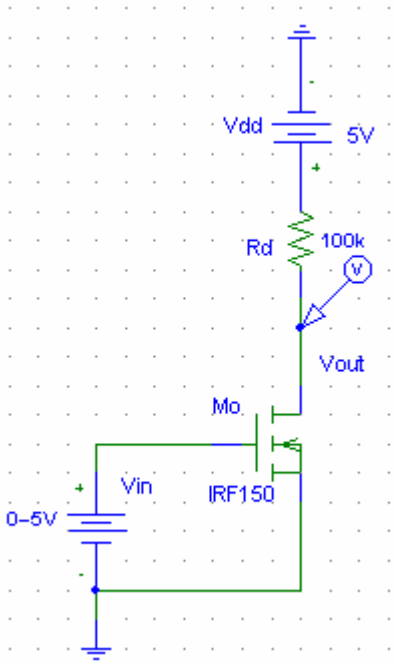
٤-٥) Fanout مدار قسمت ٤-٣ را براي حالت ورودي H و ورودي L محاسبه كنيد .

٥- تكنولوژي MOS : با استفاده از اين تكنولوژي مي توان مدارات ديجيتال پيچيده رادر مساحتي كوچك تعبيه كرد و جريان ورودي راتا حد بسيار زيادي كاهش داد و در مواردي سرعت سيستم را تا حد زيادي بالا برد. در ادامه برخي مزاياي ديگر استفاده از اين تكنولوژي را مشاهده خواهيم كرد.

٥-١) مدار زير را با استفاده از نرم افزار رسم كرده و منحني مشخصه MOSFET (I_D بر حسب V_{DS} به ازاي مقادير مختلف V_{GS}) را با استفاده از سوئيپ تو در توي DC مشخص كنيد.سپس نواحي كاري MOSFET را روي نمودار مشخص كرده و تشريح كنيد .



۲-۵) مدار زیر را بسته و با استفاده از تحلیل DC مقادیر جریان و ولتاژ مدار را محاسبه کرده و با نتایج عملی مقایسه کنید. سپس مقدار R_D را چند بار تغییر داده و صحت روابط زیر را در شرایط مخصوص به خود (حالت خطي و اشباع) بررسي كرده و خطاي جريان را در دو حالت خطي و اشباع محاسبه كنيد.



اشباع $V_G - V_{th} < VD$

خطي $V_G - V_{th} > VD$

قطع $V_G < V_{th}$

اشباع : $I_D = \frac{1}{2}\mu_n C_{on}\frac{W}{L}(V_{GS}-V_{Th})^2(1+\lambda V_{DS})$

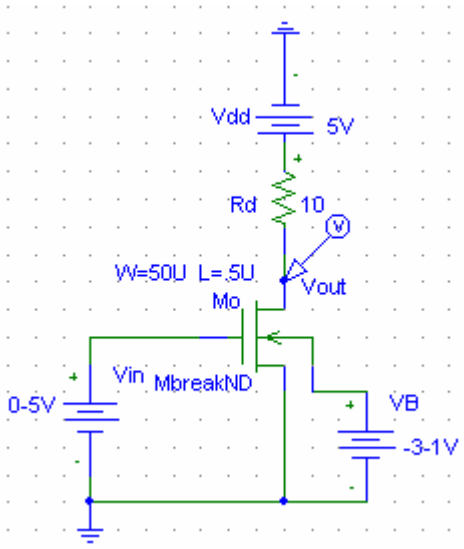
خطي : $I_D = \mu_n C_{on}\frac{W}{L}[\ (V_{GS}-V_{Th})V_{DS} - \frac{1}{2}V_{DS}{}^2\ ]$

همانگونه كه ملاحظه شد R_D در تعيين ناحيه كاري ترانزيستور نقش اساسي ايفا مي كند و لي در روابط فوق كه شرايط قطع ، خطي يا اشباع بودن ترانزيستور را بيان مي كنند اثري از R_D ديده نمي شود! اين مسئله را چگونه مي توان توجيه كرد؟ در ادامه مقدار W/L را با استفاده از نرم افزار تغيير داده و مراحل فوق را عيناً تكرار كنيد . آيا همين دو عامل تعيين كننده ناحيه كاري ترانزيستور هستند؟ اگر جواب منفي است عامل يا عوامل ديگر را ذكر كرده و اثر آنرا دقيقاً مانند دو حالت قبل بررسي ، محاسبه و خطا يابي كنيد.

در نتيجه گيري قسمت ٥-٢ مي توان گفت كه برخي پارامترها بصورت مستقيم و برخي ديگر بصورت غير مستقيم در تعيين ناحيه كاري ترانزيستور دخيل مي باشند. بصورت خلاصه و مفيد اين عوامل را جمع بندي كنيد.

٥-٣) در مدار قسمت ٥-٢ منحني VTC را رسم كنيد و با استفاده از اين نمودار نيز نواحي كاري را مشخص كنيد(با استفاده از سوئيپDC منبع ورودي). سپس همانند قسمتهاي گذشته NML , NMH ,V_{oH} , V_{oL} , V_{iH} , V_{iL} را محاسبه كرده و با مقادير عملی مقايسه كنيد و ميزان خطا را بدست آوريد.

٥-٤) اثر بدنه(Bulk Effect) يكي از عواملي است كه در بررسي روابط مربوط به MOSFET بايستي لحاظ شود در اين قسمت پارامتر متاثر از اثر بدنه و نحوه تاثير آن بر تحليل مدار بررسي خواهد شد. براي اين منظور مدار شكل زير را با استفاده از نرم افزار رسم كنيد .



V_B را برابر صفر قرار داده و جريان ترانزيستور را بدست آورده و با نتايج ناشي از شبيه سازي مقايسه كرده و خطا را محاسبه كنيد. V_B را در چند مرحله تغيير داده و مرحله قبل را تكرار كنيد. ميزان جريان در هر مرحله چه تغييري مي كند . با توجه به رابطه $V_{Th} = V_{Th_o} + \gamma\left(\sqrt{|2\varphi_F + V_{SB}|} - \sqrt{|2\varphi_F|}\right)$ اين پديده را چگونه توجيه مي كنيد . اينگونه به نظر مي آيد كه افزايش V_{SB} به عنوان يك عامل منفي و مضر در يك ترانزيستور مطرح باشد. اگر چنين است چه ضرورتي در استفاده از اين پديده وجود دارد؟! (راهنمايي : مدار را در اين حالت از لحاظ فركانسي بررسي كنيد).

۵-۵) توان مصرفي ايستا را محاسبه نمائيد و با مقادير عملی مقايسه كرده و ميزان خطا را محاسبه كنيد .

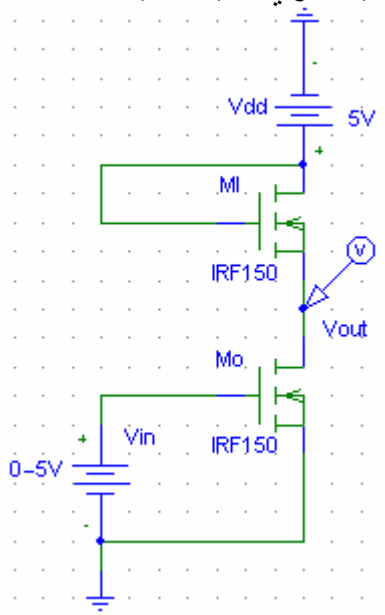
تا كنون ۵ تكنولوژي RDL , RTL , DTL , TTL و MOS بحث و بررسي شد .

اين پنج تكنولوژي را از لحاظ شباهت نمودار خروجي به حالت ايده آل اينورتر(حاشيه نويزو...) ، مقادير منطقي مطلوب ، Fanout و توان مصرفي ايستا مقايسه كرده و نتايج را تشريح كنيد .

٦- اينورتر NMOS با بار اشباع :

در قسمت ٥ اينورتر NMOS با بار مقاومتي بررسي شد. عملاً ساخت مقاومت در مدارات مجتمع دشوار است و ناحيه زيادي اشغال مي شود و از لحاظ تحليل مداري نيز ملاحظه شد كه مدار صفر مطلوبي ندارد. در اين قسمت اينورتر با بار اشباع جهت عدم استفاده مستقيم از بار مقاومتي بررسي مي شود .

٦-١) مدار زير را با استفاده از نرم افزار رسم كرده و مقادير جريان و ولتاژ مدار را محاسبه كرده و با نتايج بدست آمده از شبيه سازي مقايسه كنيد.



آيا W/L ترانزيستور Ml در جريان مدار نقشي دارد (راهنمايي : تحليل خود را روي ولتاژ موثرترانزيستور Ml متمركز كنيد). افزايش W/L ترانزيستور Ml يا Mo چه تاثيري در سرعت مدار دارد؟ شرح دهيد. افزايش W/L ترانزيستور Mo در يك ولتاژ ورودي معين و W/L ثابت براي ترانزيستور Ml چه تاثيري در خروجي خواهد گذاشت ؟ با آزمايش و تحليل روي اين موضوع بحث كنيد .

٦-٢) منحني VTC مدارقسمت ٦-١ را با استفاده از سوئيپ DC منبع ورودي رسم كنيد و با استفاده از اين نمودار نواحي كاري ترانزيستور را مشخص كنيد سپس

NML , NMH ,V_{oH} , V_{oL} , V_{iH} , V_{iL} را محاسبه كرده و با مقادير بدست آمده از شبيه سازي مقايسه كرده و ميزان خطا را محاسبه كنيد . در مقايسه اين منحني با منحني VTCاينورتر با بار مقاومتي چه تغييري مشاهده مي شود؟

٦-٣) توان مصرفي ايستا را محاسبه كرده و با مقدار بدست آمده از شبيه سازي مقايسه كرده و ميزان خطا را محاسبه كنيد. نسبت به اينورتر با بار مقاومتي چه تغييري مشاهده مي شود؟

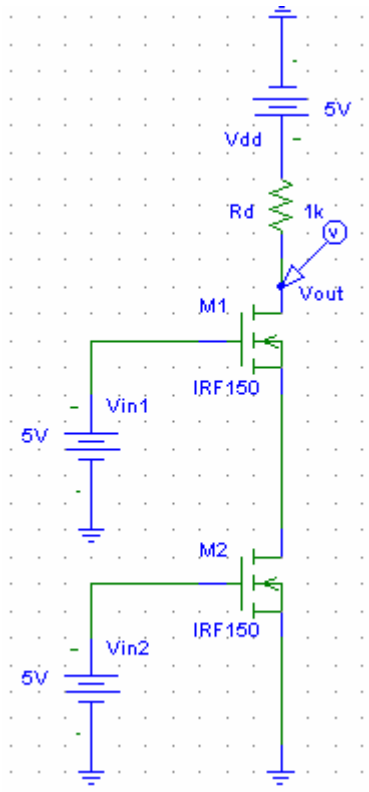
٧- پياده سازي توابع بوسيله NMOS: بحثي كه در ادامه مطرح مي شود پياده سازي توابع مختلف با استفاده از نرم افزار و بوسيله ترانزيستورهاي NMOS (با بار مقاومتي يا اشباع) مي باشد.

(توجه : در اين قسمت تمامي ورودیها بصورت منبع ولتاژ DC و با ولتاژ 5v براي منطق Hi و 0V براي منطق Low اعمال مي گردند و هيچگونه تنظيم سوئيپ در اين قسمت لازم نيست).

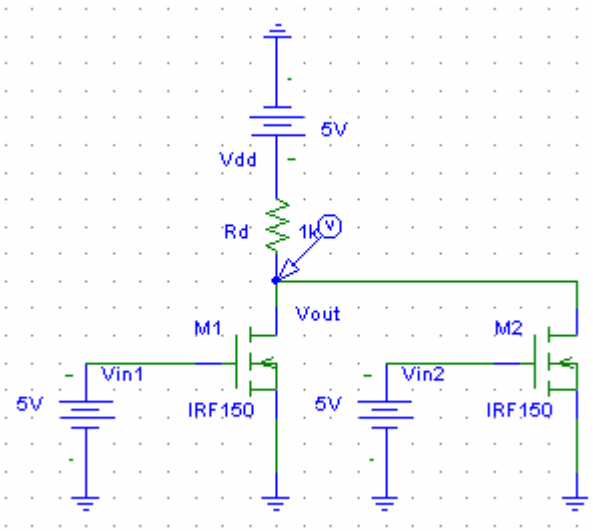
٧-١) با اعمال ورودیهاي مختلف به مدارات زير خروجي را مشاهده و صحت توابع مورد نظر را بررسي نماييد.

(توجه : تمامي خروجي ها هر چند بسيار نا چيز يادداشت شوند).

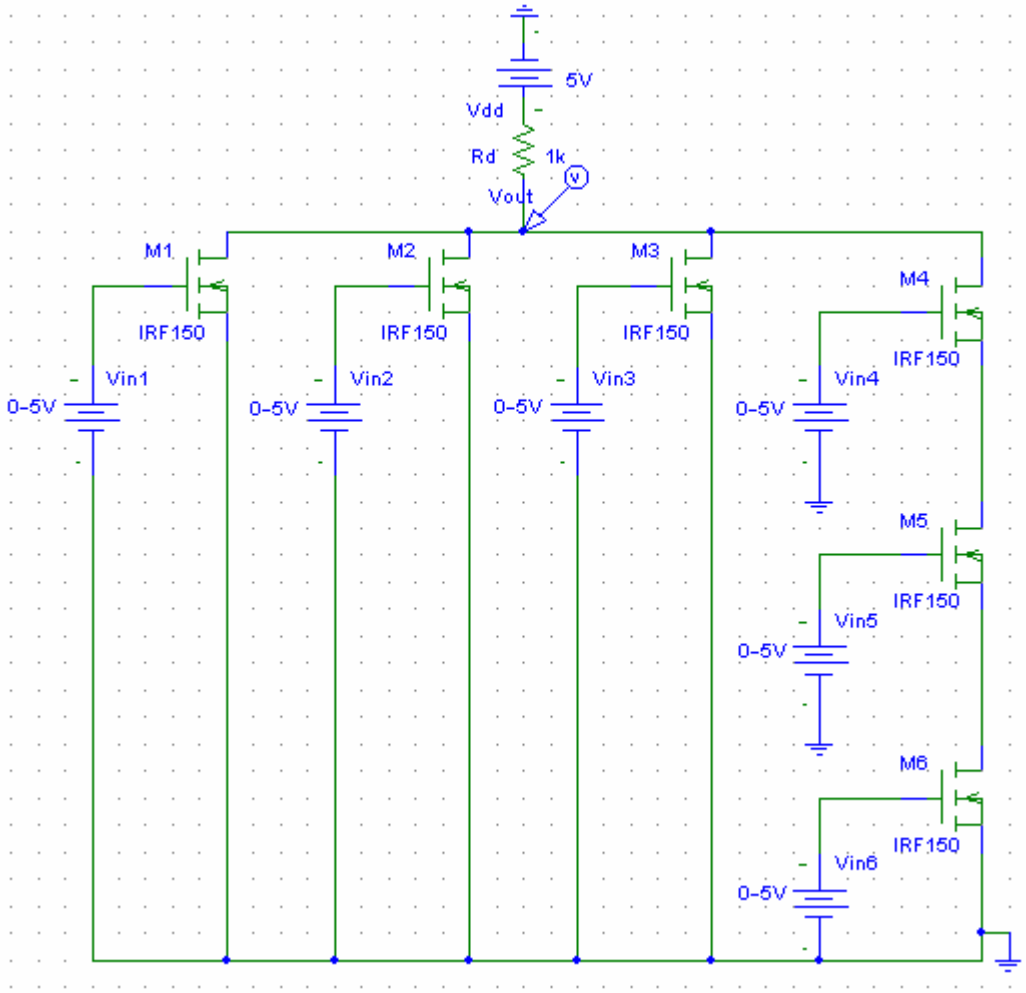
(۱-۱-۷


5V
Vdd
Rd
1k
V
Vout
M1
IRF150
Vin1
5V
M2
IRF150
Vin2
5V

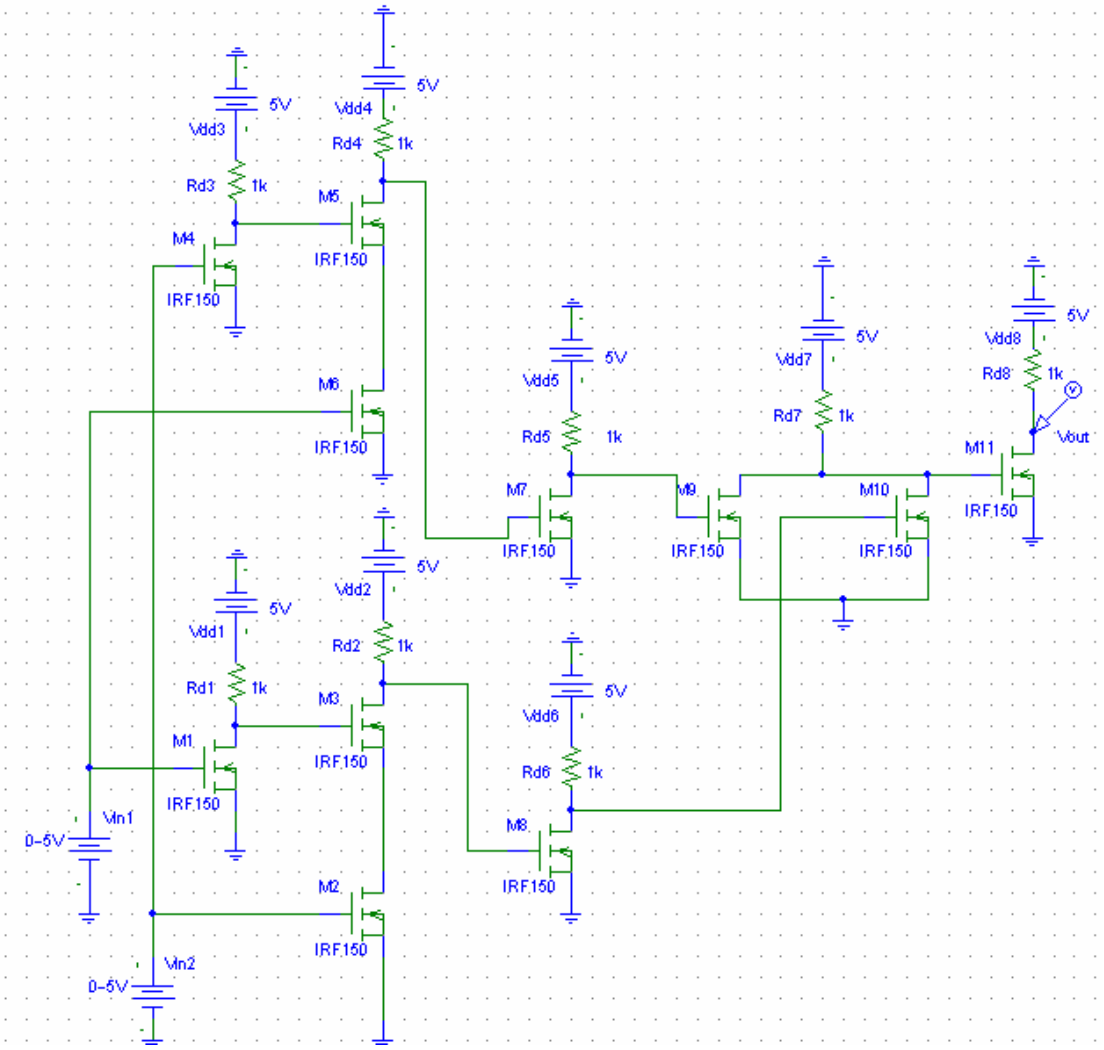
(۲-۱-۷


5V
Vdd
Rd
1k
V
Vout
M1
M2
Vin1
5V
IRF150
Vin2
5V
IRF150

(٣-١-٧


5V
Vdd
Rd
1k
Vout
M1
IRF150
Vin1
0-5V
M2
IRF150
Vin2
0-5V
M3
IRF150
Vin3
0-5V
M4
IRF150
Vin4
0-5V
M5
IRF150
Vin5
0-5V
M6
IRF150
Vin6
0-5V

(٤-١-٧



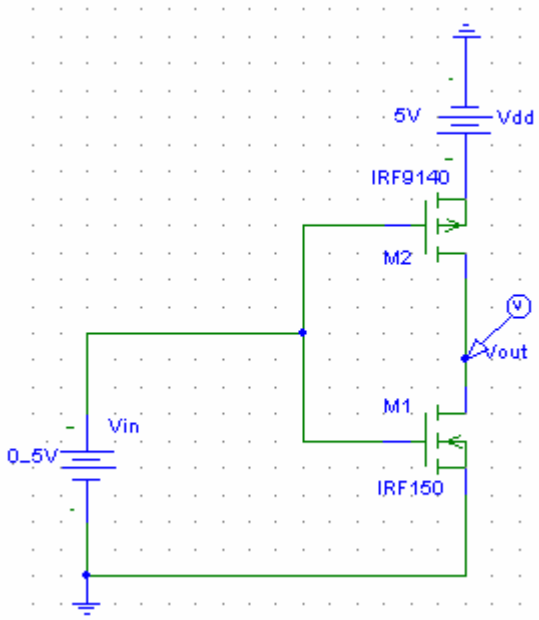
آيا مي توان به طريقي توابع فوق را با تعدادترانزيستورهاي كمتري به دست آورد؟

٨- **تكنولوژي CMOS :** همانگونه كه مشاهده شد تمامي مداراتي كه تا كنون تجزيه و تحليل شدند داراي توان استاتيكي و ديناميكي غير صفر بودند. به عبارت ديگر مدار در حالت پايدار اعم از منطق صفر يا يك يا حالت گذار خود ملزم به اتلاف انرژي بود و اين مسئله به عنوان

نقطه ضعف و ناكارآمدي اين مدارات مي باشد. پس اگر به نحوي و يا با ترفندي بتوان حداقل يكي از اين تلفات را كم كرد و يا به صورت ايده آل به صفر رسانيد بازده مدار به مراتب افزايش مي يابد.

اگر توجه خود را روي توان استانيكي معطوف كنيم با توجه به فرمول محاسبه توان استاتيكي ($P_{diss}(ave) = (I_{(OH)} + I_{(OL)}).V_{cc}/2$) در مي يابيم كه به نحوي در دو حالت پايدار Low و Hi مي بايست جريان صفر شود تا تلفات حالت استاتيك به صفر برسد. براي دستيابي به اين هدف و مزاياي متعدد ديگرتكنولوژي CMOS در ادامه معرفي و بررسي خواهد شد.

۸-۱) مدار زير را با استفاده از نرم افزار رسم كرده و منحني VTC مدار را با استفاده از سوئيپ DC منبع ورودي مشخص كنيد. سپس تمامي نقاط بحراني مدار و حالت هر ترانزيستور را در آن نواحي روي نمودار VTC مشخص كنيد. آنگاه NMH و NML مدار را از روي نمودار بدست آوريد.چه تفاوتي بين صفر و يك اين مدار با مدارات قبل مي بينيد؟ صحت توان استاتيكي صفر را در مدار چگونه مي توان توجيه كرد؟ توان ديناميكي چنين مداري را با فرض خازن بار C_L=10PF و فركانس نوسان1GHZ و منبع تغذيه ولتاژ V_{DD} =5V محاسبه كنيد . ($P_{Dyn} = C_L f V^2_{DD}$)



۸-۲) Vin=Vm یا جایي که هر دو ترانزیستور در اشباع هستند را از نمودار مشخص کرده و با مقدار $V_m = \frac{V_{DD} + V_{Thp} + \sqrt{\frac{\mu n(\frac{W}{L})_n}{\mu p(\frac{W}{L})_P}}.V_{Thn}^{\ 2}}{1 + \sqrt{\frac{\mu n(\frac{W}{L})_n}{\mu p(\frac{W}{L})_P}}}$ مقایسه کنید و میزان خطا را بدست آورید .

۸-۳) با فرض $\mu_n = 2.5\mu p \; V_{Thn} = |V_{Thp}|,$ نسبت $\frac{(\frac{W}{L})_P}{(\frac{W}{L})_n}$ را به گونه اي محاسبه کنید که $V_M = \frac{V_{DD}}{2}$. سپس با مشاهده روي نمودار شبیه سازي شده صحت موضوع را بررسي نمایید و اختلاف را بدست آورید.

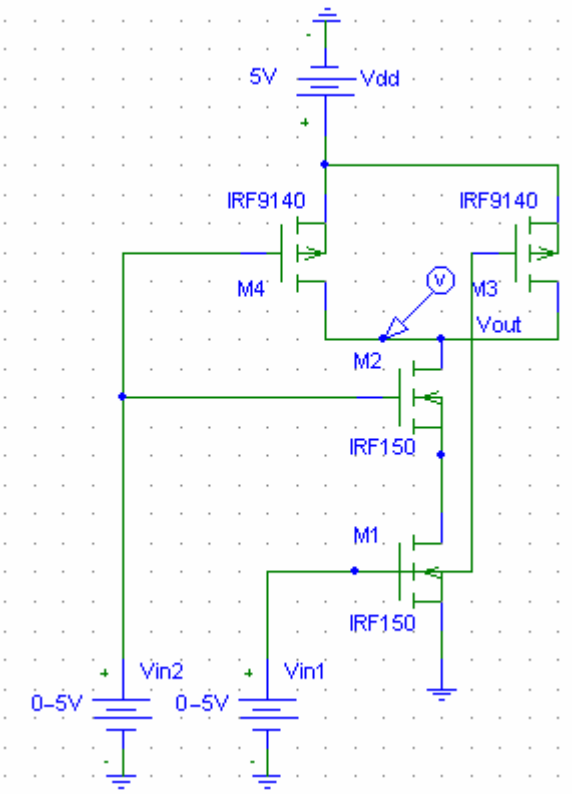
۸-٤) $\frac{W}{L}$ ترانزیستور n و ترانزیستور p را به دلخواه با چند مقدار مختلف تغییر داده و اثر آنرا در نمودار VTC بررسي کنید آیا تغییري مشاهده مي شود ؟چرا ؟. آیا مي توان $\frac{W}{L}$ را در این مدار بعنوان پارامتر آزاد در نظر گرفت و بدون محدودیت آنرا کم یا زیاد کرد؟ زیاد کردن بیش از حد $\frac{W}{L}$ ترانزیستورها چه مشکلي ایجاد خواهد کرد؟

۹- پياده سازي توابع بوسيله CMOS : در اين بخش به طراحي و پياده سازي توابع منطقي مختلف با استفاده از تكنولوژي CMOS و بوسيله نرم افزار مي پردازيم .

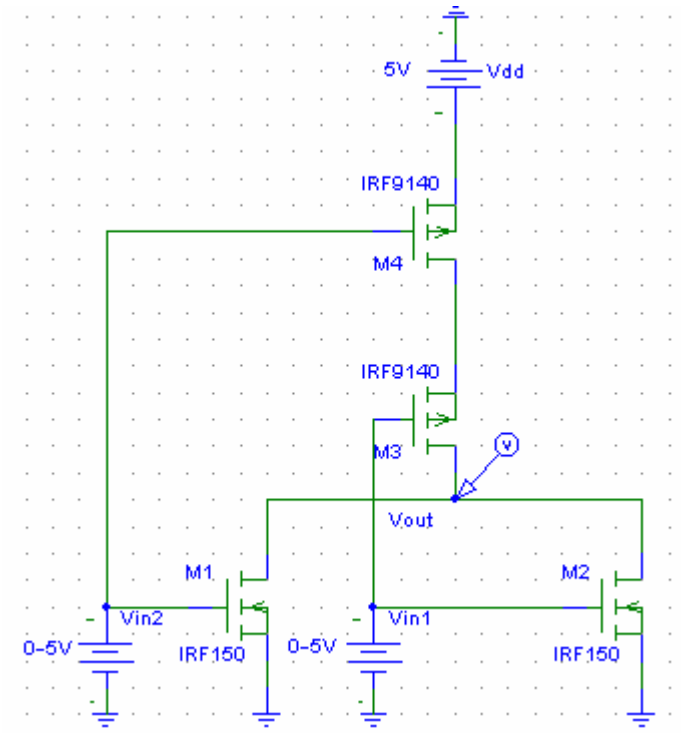
(توجه : در اين قسمت تمامي ورودیها بصورت منبع ولتاژ DC و با ولتاژ 5v براي منطق Hi و 0V براي منطق Low اعمال مي گردند و هيچگونه تنظيم سوئيپ در اين قسمت لازم نيست).

۹-۱) با اعمال ورودیهاي مختلف به مدارات زير خروجي را مشاهده كرده و صحت موارد مورد نظر را بررسي نماييد .

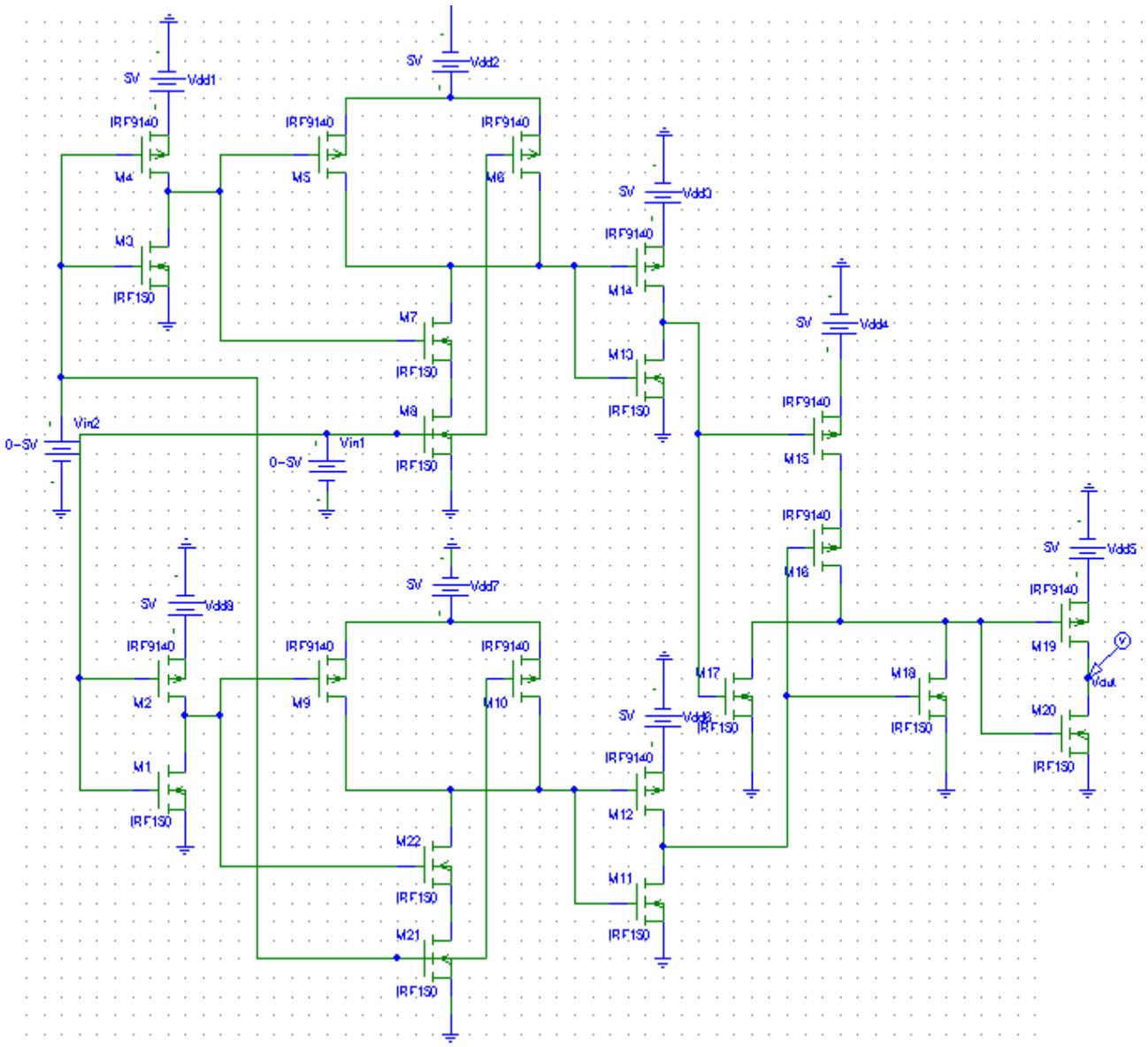
۹-۱-۱)



(٩-١-٢


5V
Vdd
IRF9140
M4
IRF9140
M3
Vout
M1
M2
Vin2
Vin1
0-5V
IRF150
0-5V
IRF150

(۹-۱-۳

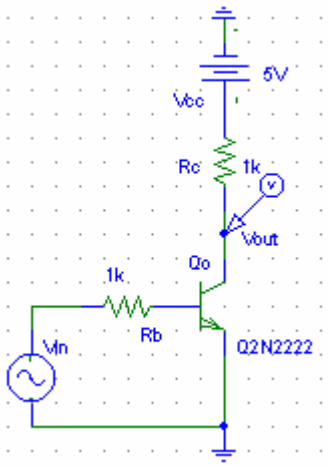


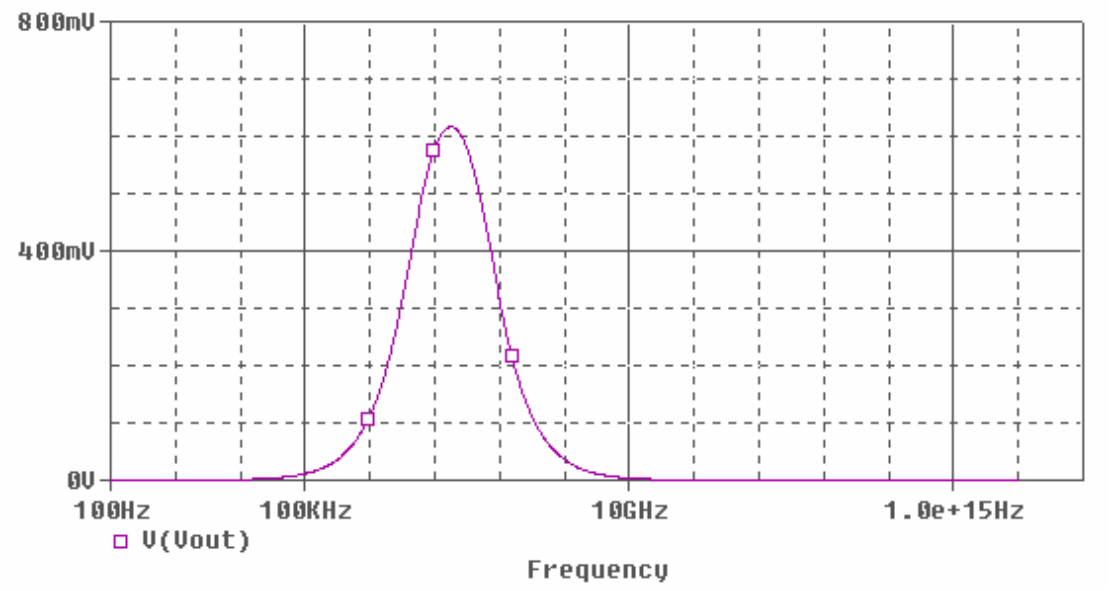
آيا مي توان به طريقي توابع فوق را با تعدادترانزيستورهاي كمتري به دست آورد؟

۱۰- بررسي ومقايسه رفتار فركانسي ساختارهاي مختلف : يكي از مهمترين پارامترهاي بكارگيري يك مدار محدوده فركانسي مي باشدكه مدار قادر به انجام وظايف خود بطور صحيح در آن محدوده مي باشدو در اصطلاح به آن پهناي باند مجاز فركانسي گفته مي شود.در اين قسمت پهناي باند انواع ساختارهايي كه تا كنون مطرح شده مورد بررسي و مقايسه قرار مي گيرد.

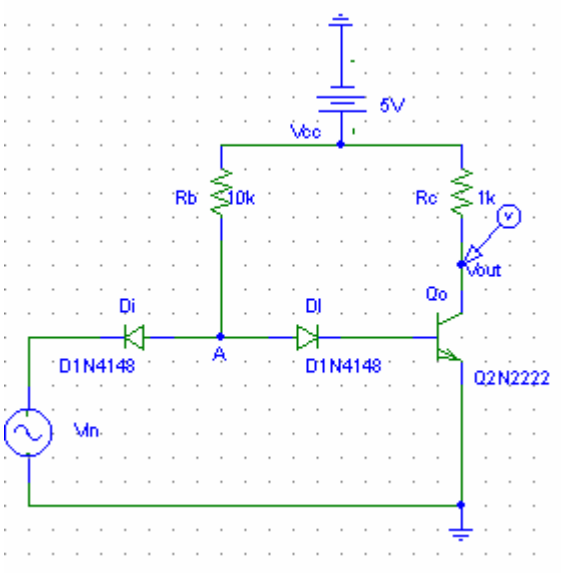
۱۰-۱)مدارات زير را با استفاده از نرم افزار رسم كرده وپهناي باند فركانسي هر يك را بدست آورده و نهايتاً نتايج را در يك جدول جهت مقايسه و جمع بندي مرتب كنيد.

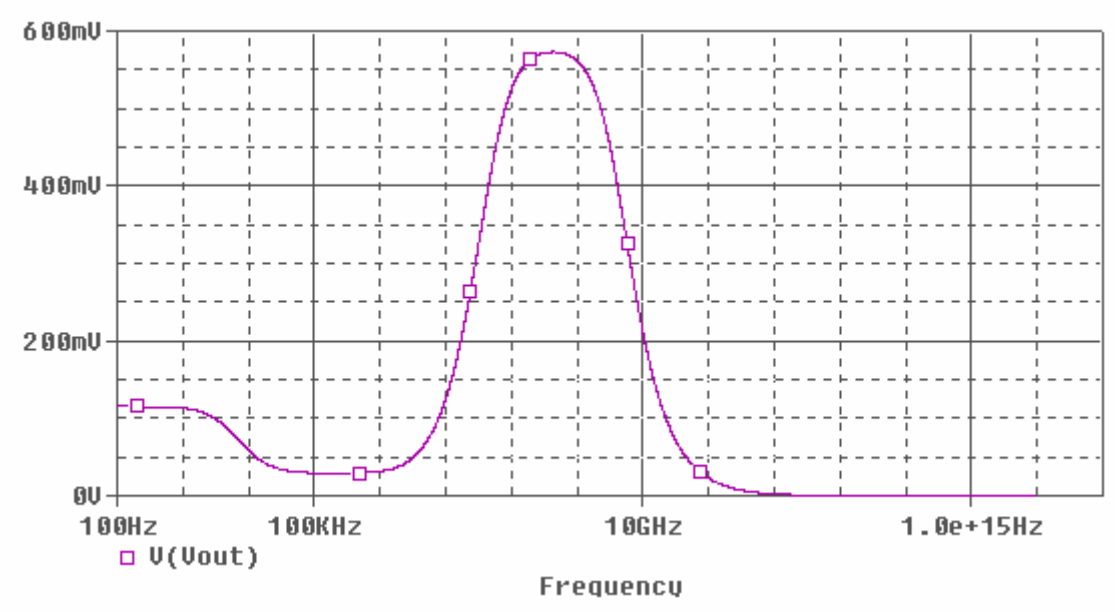
(١-١-١٠


5V
Vcc
Rc
1k
Vout
Qo
1k
Rb
Vin
Q2N2222

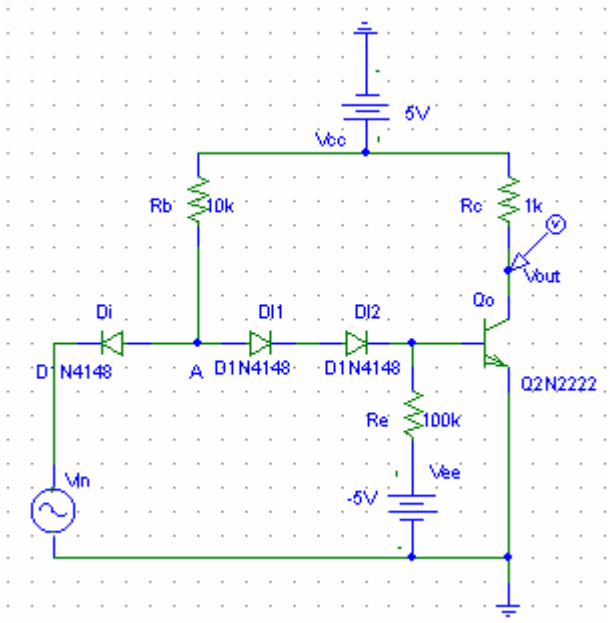

800mV
400mV
0V
100Hz
100KHz
10GHz
1.0e+15Hz
V(Vout)
Frequency

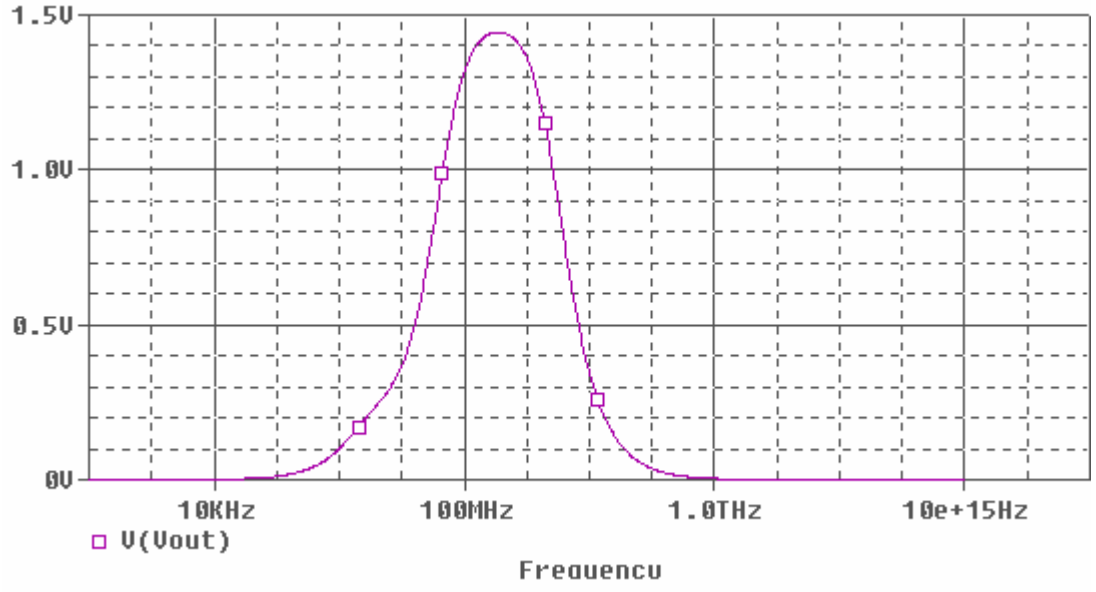
(٢-١-١٠


5V
Vcc
Rb
10k
Rc
1k
V
Vout
Di
Dl
Qo
D1N4148
A
D1N4148
Q2N2222
Vin

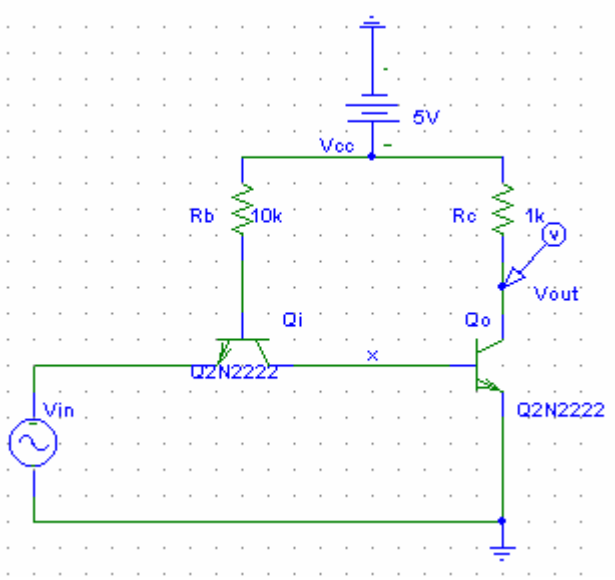

600mV
400mV
200mV
0V
100Hz
100KHz
10GHz
1.0e+15Hz
V(Vout)
Frequency

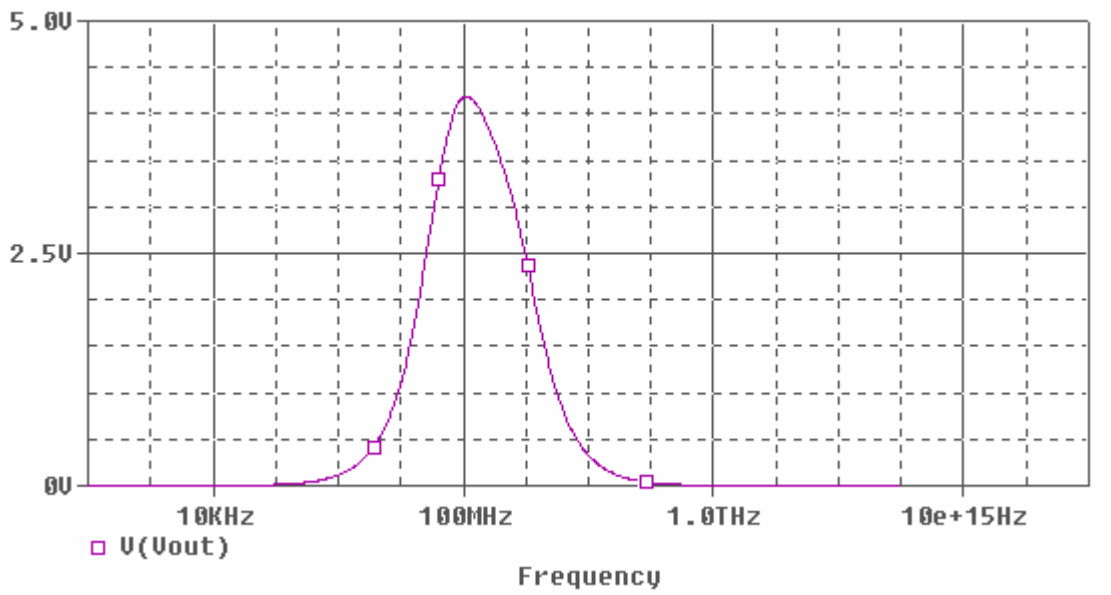
(٣-١-١٠


5V
Vcc
Rb
10k
Rc
1k
V
Vout
Di
Dl1
Dl2
Qo
D1N4148
A
D1N4148
D1N4148
Q2N2222
Re
100k
Vee
-5V
Vin

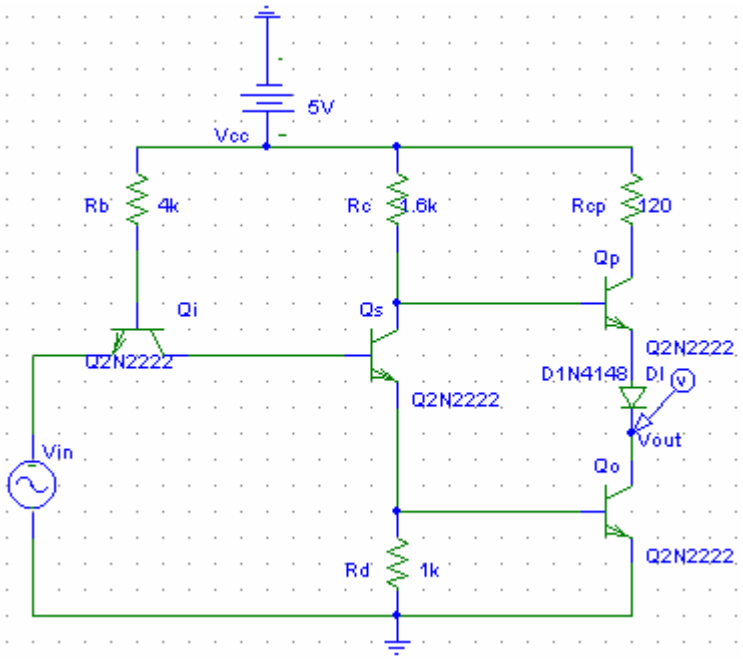

1.5V
1.0V
0.5V
0V
10KHz
100MHz
1.0THz
10e+15Hz
V(Vout)
Frequency

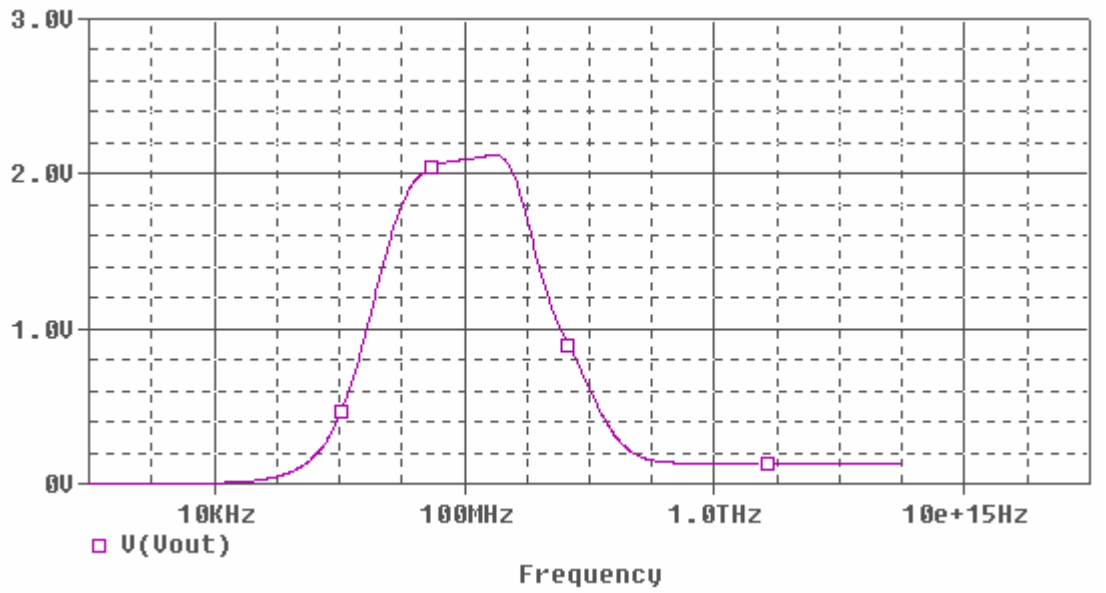
(٤-١-١٠


5V
Vcc
Rb
10k
Rc
1k
V
Vout
Qi
Qo
x
Q2N2222
Vin
Q2N2222

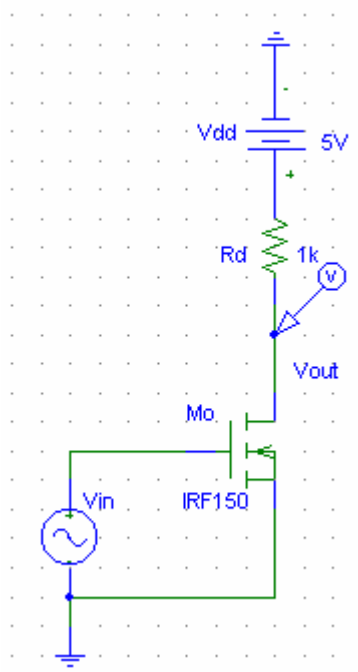

5.0V
2.5V
0V
10KHz
100MHz
1.0THz
10e+15Hz
V(Vout)
Frequency

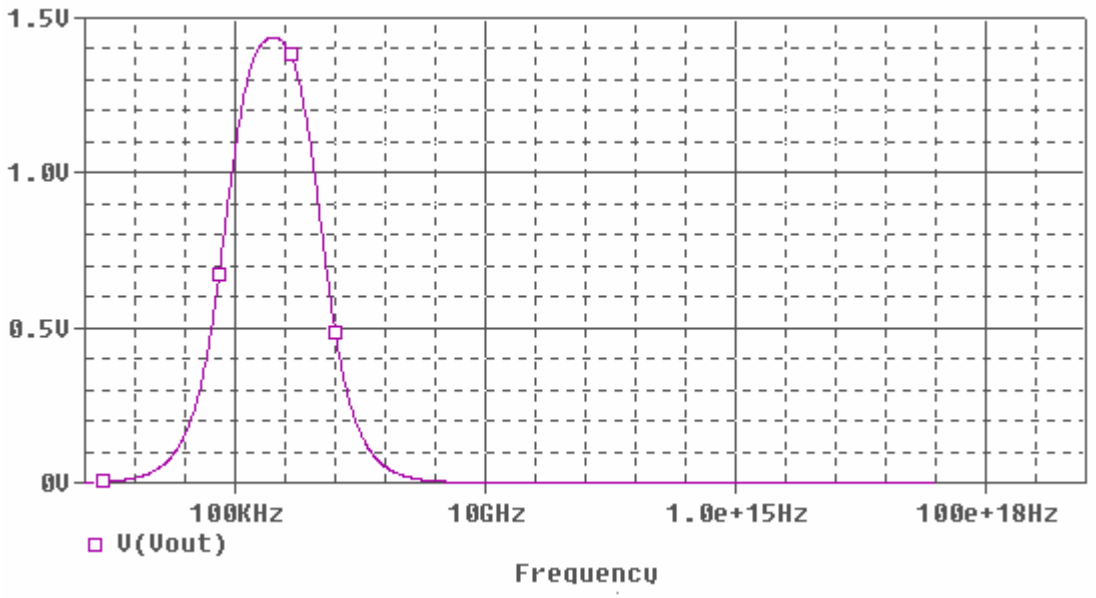
(٥-١-١٠


5V
Vcc
Rb
4k
Rc
1.6k
Rcp
120
Qp
Qi
Qs
Q2N2222
Q2N2222
D1N4148
DI
V
Q2N2222
Vout
Vin
Qo
Rd
1k
Q2N2222

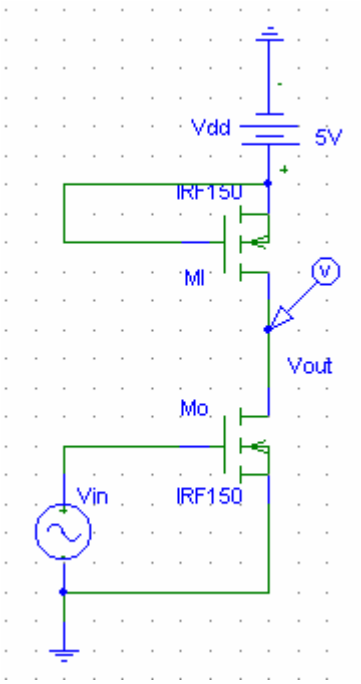

3.0V
2.0V
1.0V
0V
10KHz
100MHz
1.0THz
10e+15Hz
V(Vout)
Frequency

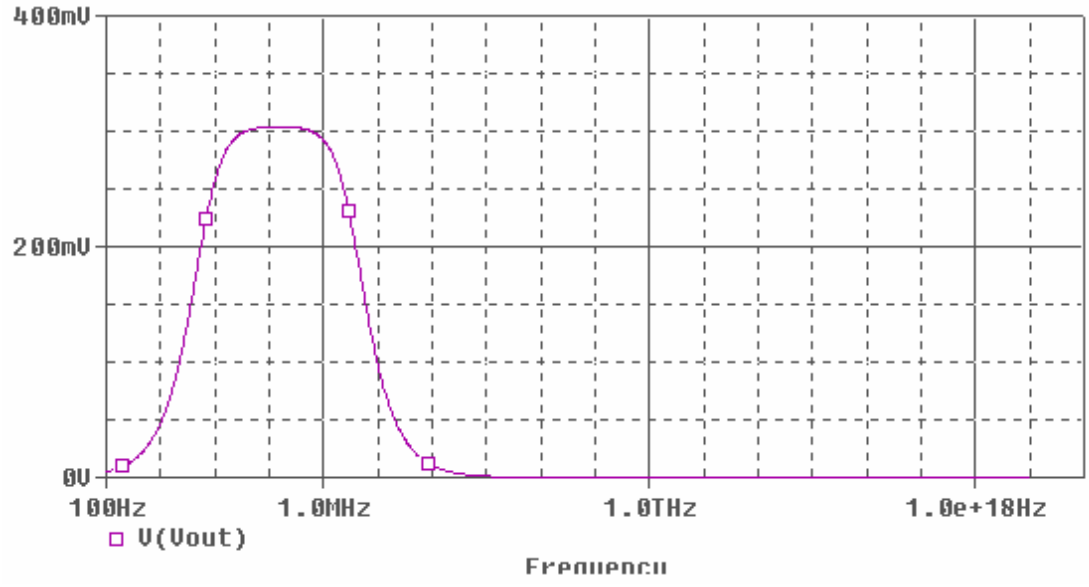
(٦-١-١٠


Vdd
5V
Rd
1k
V
Vout
Mo
Vin
IRF150

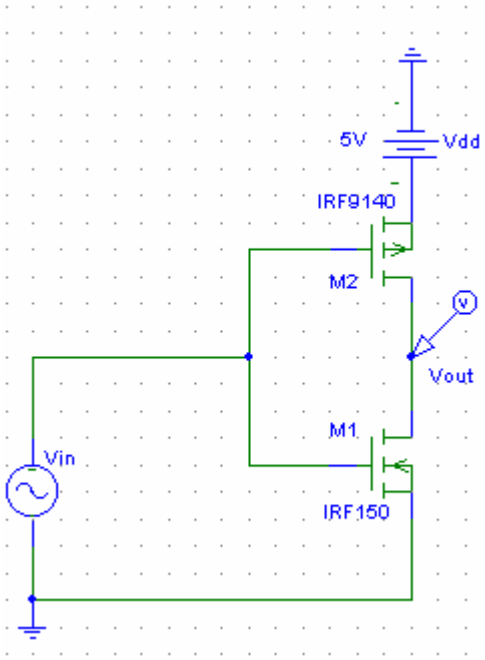

1.5V
1.0V
0.5V
0V
100KHz
10GHz
1.0e+15Hz
100e+18Hz
V(Vout)
Frequency

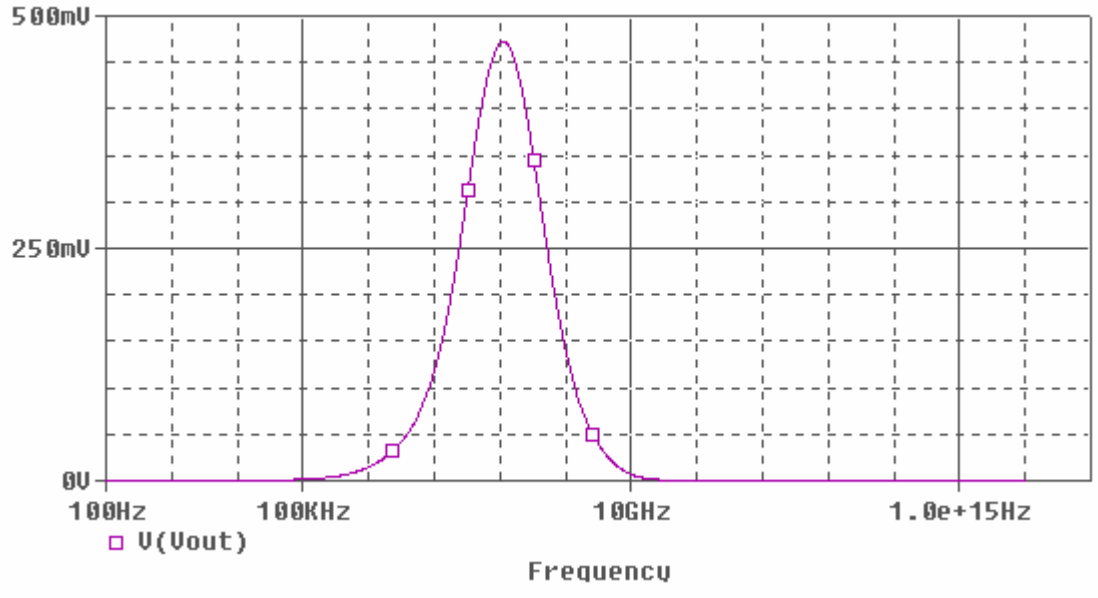
(۷-۱-۱۰


Vdd
5V
IRF150
Ml
V
Vout
Mo
Vin
IRF150


400mV
200mV
0V
100Hz
1.0MHz
1.0THz
1.0e+18Hz
V(Vout)

(۸-۱-۱۰


5V
Vdd
IRF9140
M2
Vout
M1
Vin
IRF150

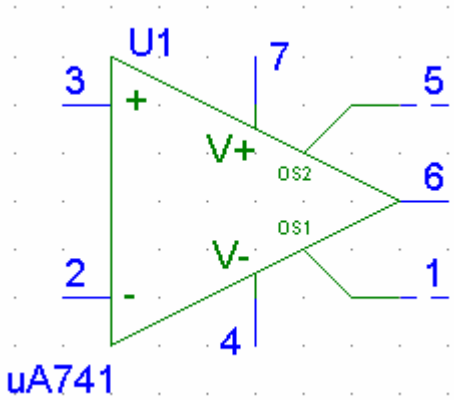

500mV
250mV
0V
100Hz
100KHz
10GHz
1.0e+15Hz
V(Vout)
Frequency

در ادامه برخی مدارات کاربردی الکترونیک دیجیتال را مطرح می کنیم.

۱۱- آشنایی با تقویت کننده عملیاتی 741:

این تقویت کننده عملیاتی یکی از پر کاربردترین مدارات مجتمع در الکترونیک بشمار می آید که علاوه بر کاربرد اصلی خود به عنوان تقویت کننده DC و AC در انواع مدارات دیجیتال نقش عمده ای ایفا می کند.

معرفی و شرح قطعه:



پایه های 4 و 7 بترتیب منابع تغذیه منفی و مثبت تراشه می باشند(معمولاً بین ۱۰ تا ۱۵ ولت DC بصورت مثبت و منفی).

پایه های 2 و 3 بترتیب ورودیهای سیگنال منفی و مثبت تراشه می باشند.

پایه های 1 و 5 جهت از بین بردن آفست تراشه استفاده می شود.

پایه 6 خروجی تراشه می باشد و پایه 8 نیز بصورت disconnect است.

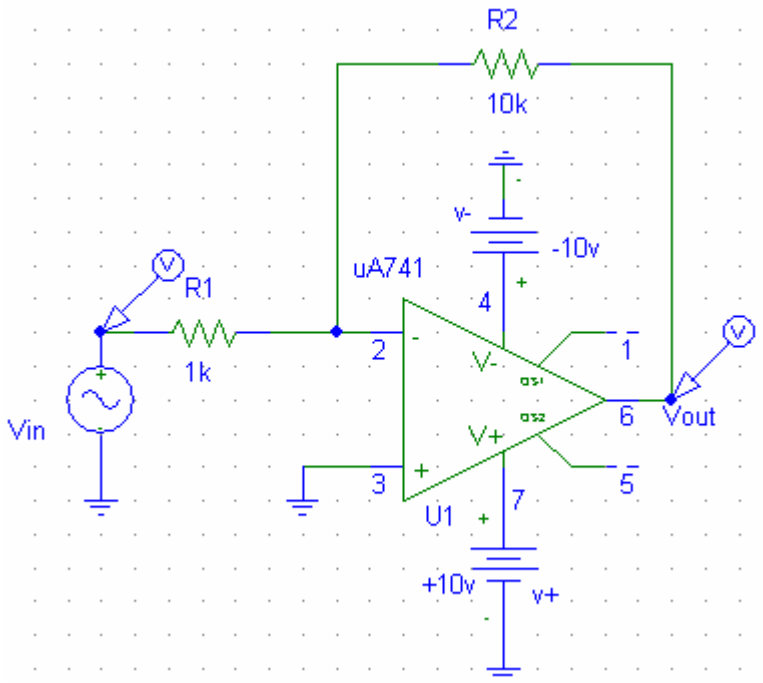
دو اصل کلیدی در تحلیل انواع مدارات حاوی Op Amp 741 :

الف) از پایه های ۲و۳ به داخل IC هیچ جریاني عبور نمي کند زیرا مقاومت داخلی این IC بسیار زیاد است.

ب) ولتاژ پایه های ۲و۳ متمایل به یکسان بودن می باشد به عبارتی v(2)=v(3).

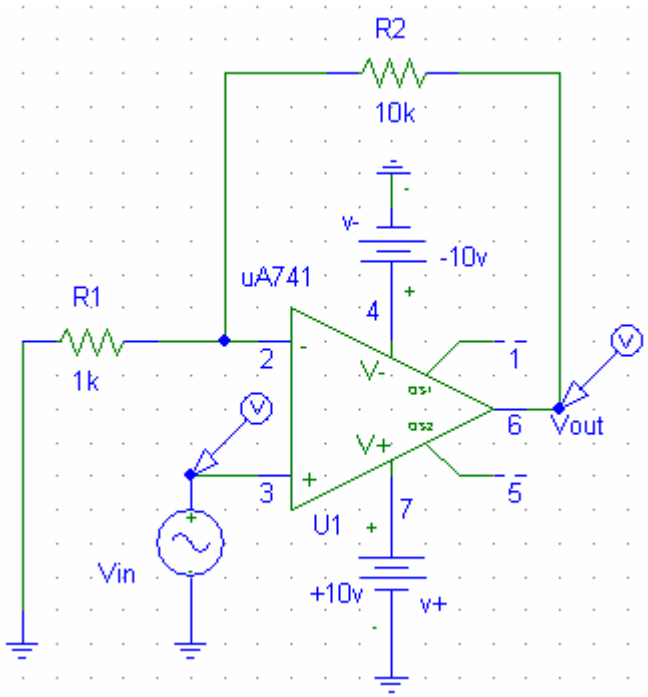
۱-۱۱) طراحی یک تقویت کننده inverting با استفاده از 741 :

مدار زیر را بسته و با استفاده از روابط مداری ولتاژ خروجی را بر حسب ولتاژ ورودی بدست آورید. آنگاه نتایج را با مقادیر بدست آمده از آزمایش مقایسه کرده و خطا را محاسبه کنید.



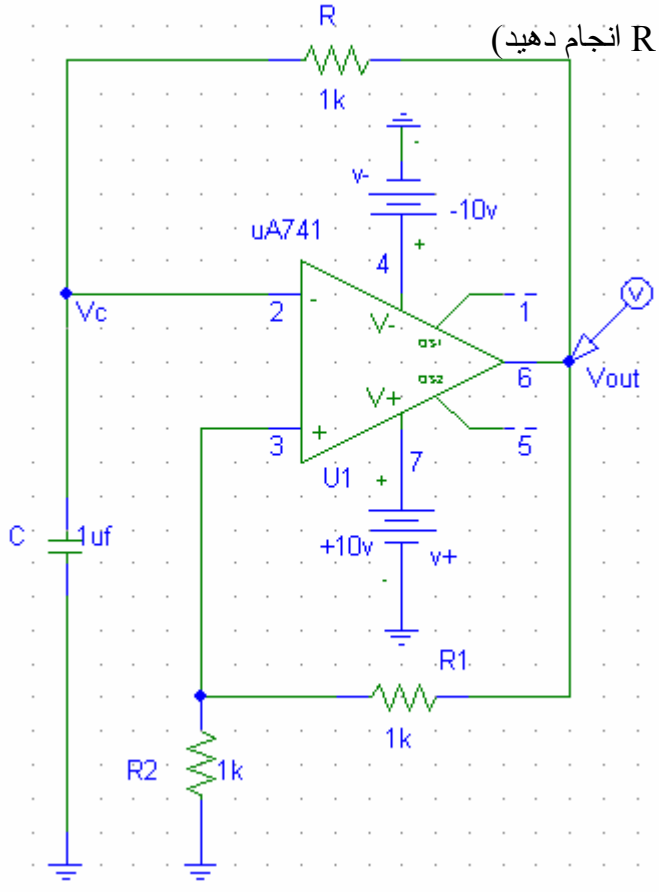
۲-۱۱) طراحی یک تقویت کننده non-inverting با استفاده از 741

قسمت ۱-۱۱ را برای مدار زیر تکرار کنید.



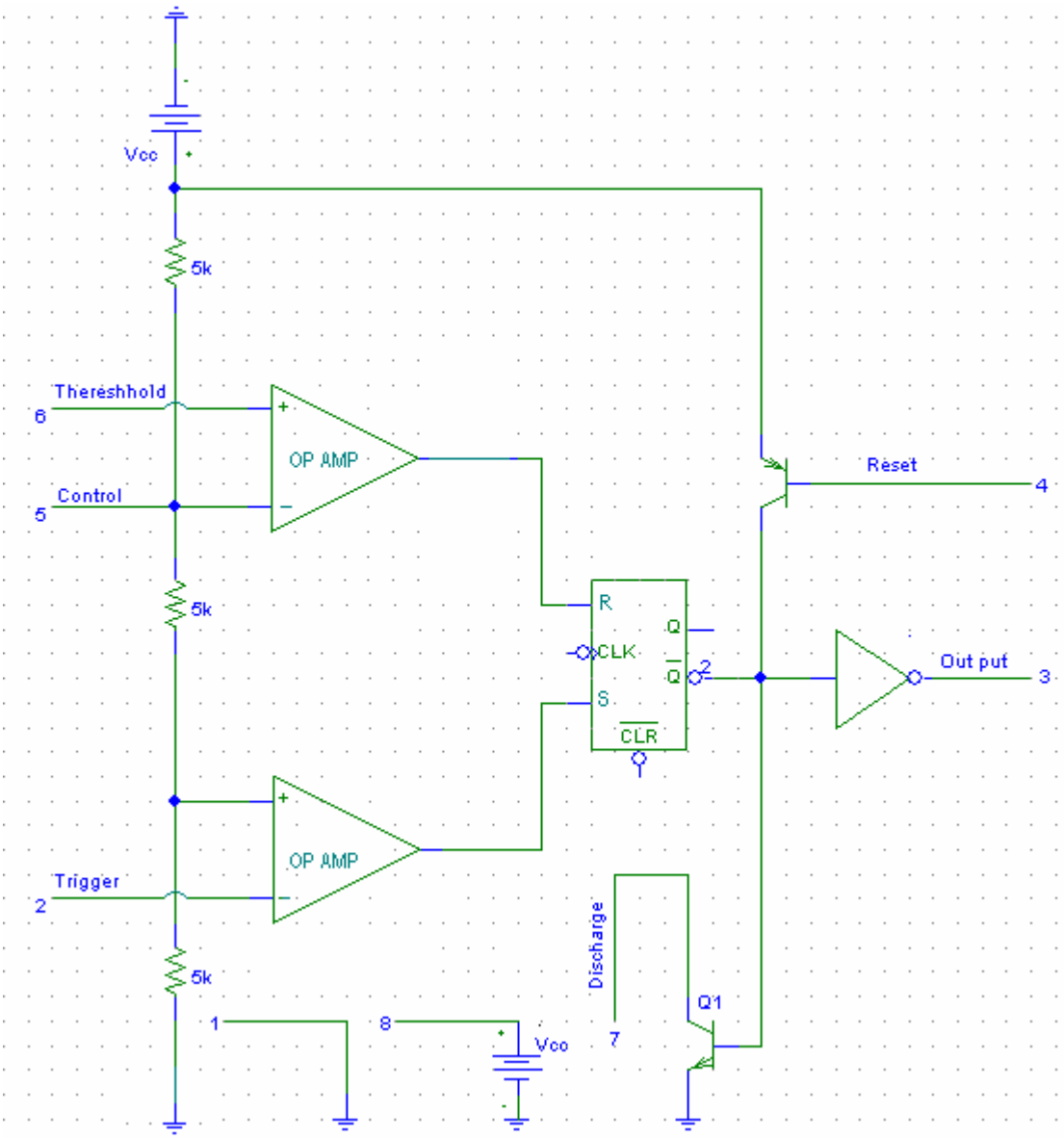
۳-۱۱) مولد موج مربعی با استفاده از 741

مدار زیر را در ابتدا تحلیل کرده و نحوه ایجاد شکل موج مربعی را در خروجی توضیح دهید(ترسیم شکل موج Vc می تواند مفید باشد). سپس فرکانس موج مربعی ایجاد شده را محاسبه کرده و پس از بستن مدار با مقادیر بدست آمده از آزمایش مقایسه کنید.(موارد فوق را با فرض R1=R2 انجام دهید)

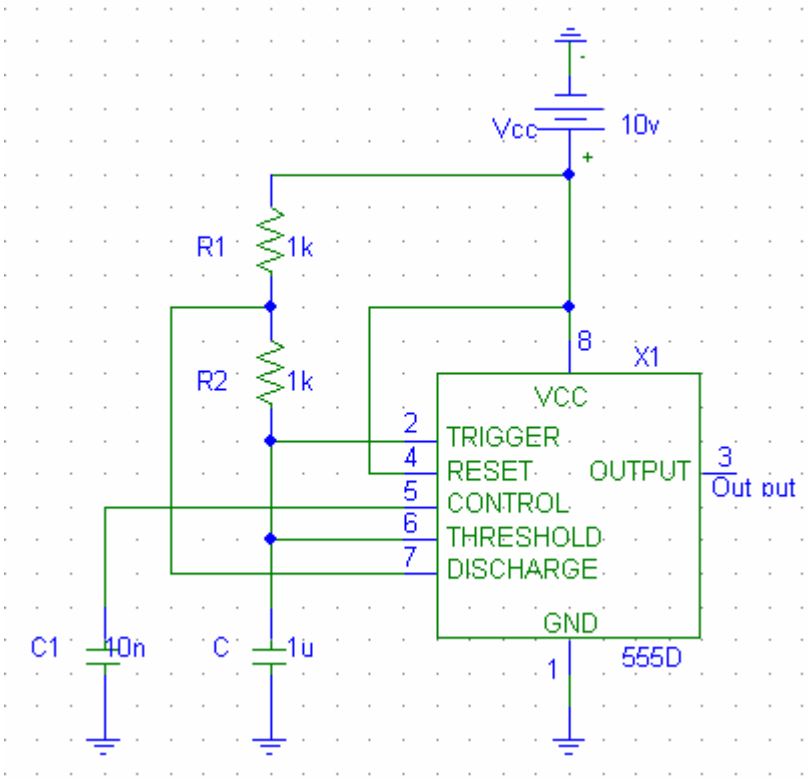


۱۲- آشنایی با IC 555:

۱۲-۱) مدار داخلی IC : جهت درک تحلیل مدارات بعدی می بایست با نمای داخلی این IC تا حدودی آشنا شد.

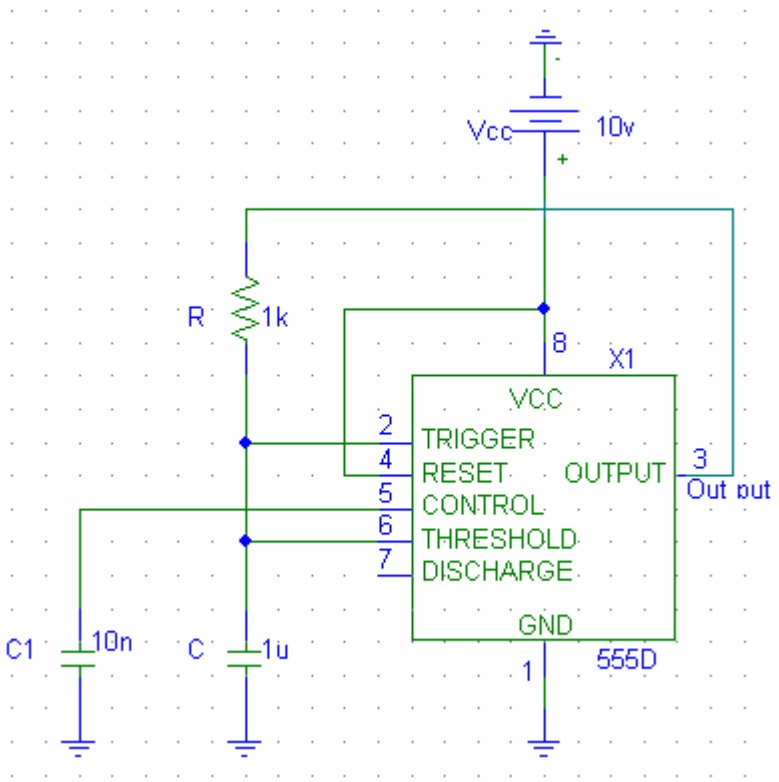


در ادامه قسمت ۱۲-۱ مدار زیر را که یک مدار مولد موج مربعی نامتقارن است بسته و نحوه ایجاد شکل موج مربعی را در خروجی توضیح دهید. در ادامه فرکانس شکل موج ایجاد شده را محاسبه کرده و با فرکانس بدست آمده از حالت تئوری مقایسه کنید و خطا را بدست آورید.



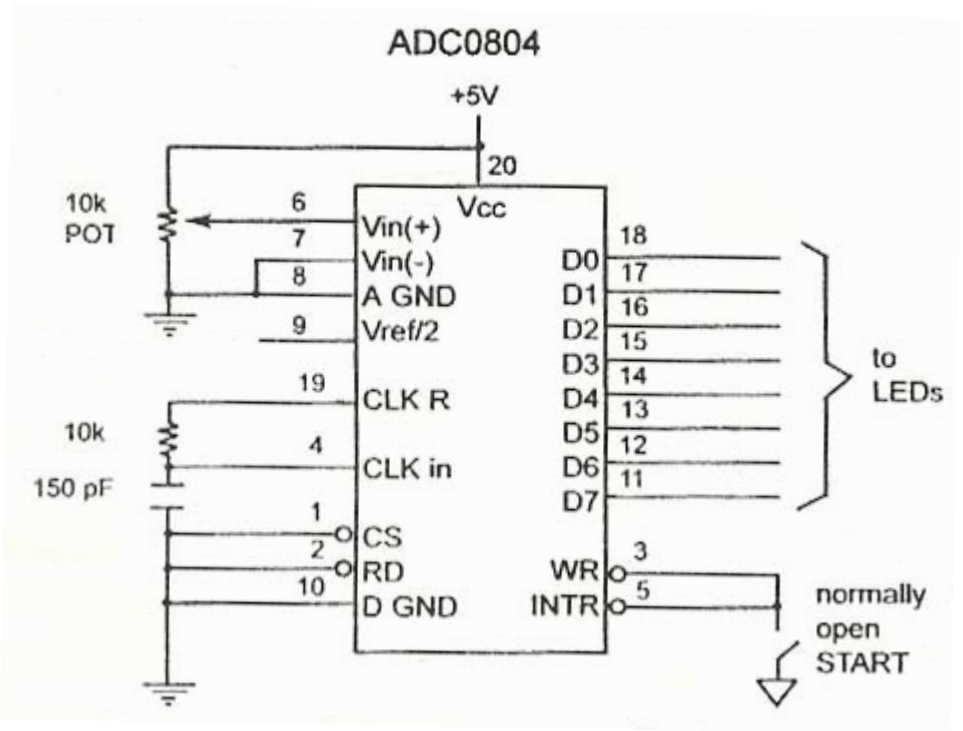
با افزودن یک دیود به دو سر R2 بطوریکه کاتد دیود به پایه ۲ وصل شود چه اتفاقی می افتد؟ چرا؟

۱۲-۲) قسمت ۱۲-۱ را برای مدار زیر که یک مولد موج مربعی متقارن است تکرار کنید.



۱۳ـ مبدل آنالوگ به ديجيتال به شماره ADC0804 :

متغيرهاي اطراف ما يا بصورت مقادير بهم پيوسته است و يا بصورت مقادير گسسته كه اصطلاحاً آنها را متغيرهاي آنالوگ و ديجيتال مي‌گويند. البته تعداد بسيار زيادي از متغيرها در زندگي روزمره ما از نوع آنالوگ هستند و در عين حال، وقتي كه اين متغيرها مي‌خواهند توسط سيستمهاي ديجيتالي و يا كامپيوتري مورد پردازش قرار گيرند، بايستي به فرم ديجيتال و عدد درآيند. از اينرو عناصر و قطعاتي وجود دارند كه كميتهاي الكتريكي پيوسته نظير ولتاژ و جريان را به اعداد باينري يا BCD تبديل مي‌كنند.انجام اين عمل به روشهاي گوناگوني انجام مي‌پذيرد و دو روش بسيار مشهور يكي روش انتگرال‌گيري و روش دوم روش تقريبهاي متوالي است و البته هر يك مزايا و معايب خاص خود را دارند. (مزايا و معايب هر كدام چيست؟) در اين آزمايش با مبدلي آشنا مي‌شويد كه ولتاژ الكتريكي را با روش تقريبهاي متوالي به يك عدد باينري ۸ بيتي تبديل مي‌كند.



ICهاي مبدل A/D عموماً داراي يك ورودي براي ورود ولتاژ و تعدادي پايه خروجي عدد حاصل از تبديل هستند. CLK in یک پایه ورودی است که به یک منبع ساعت خارجی وصل می شود تا زمانبندی تراشه بصورت خارجی انجام شود. اما از آنجایی که804 داراي يك مولد پالس داخلي نيز می باشد برای استفاده از مولد پالس داخلی ADC804 ، پایه های CLK R,CLKin به يك خازن و مقاومت مطابق شکل وصل می شوند. در این صورت فرکانس پالس ساعت تراشه از روی فرمول(F=1/(1.1RC محاسبه مي شود. چنانچه R=10K و C=150Pf باشد فرکانس تراشه 606KHz و زمان تبدیل برابر 110 μ S خواهد بود. پایه INTR یک پایه خروجی و فعال صفر می باشد. این پایه در حالت عادی یک بوده و وقتی عمل تبدیل انجام می شود در سطح صفر قرار می گیرد. پس از اینکه INTR صفر می شود پایه CS مساوی صفر قرار داده شده و یک پالس یک به صفر روی پایه RD اعمال می شود تا داده تبدیل شده دریافت گردد. Vin(+) و Vin(-) ورودی های آنالوگ تفاضلی می باشند که در آن Vin=Vin(+)-Vin(-) برقرار است.

اغلب پایه (-)Vin به زمین وصل می شود و پایه (+)Vin به ولتاژورودی آنالوگ جهت تبدیل به دیجیتال وصل می شود.Vcc به منبع تغذیه 5V+ وصل می شود. این پایه در صورتیکه ورودی Vref/2 (پایه 9 تراشه) باز باشد بعنوان ولتاژ مرجع بکار می رود. Vref/2 یک ولتاژ ورودی است که ولتاژ مرجع تراشه را تامین می کند. اگر این پایه باز باشد(بدون اتصال) ، ولتاژ آنالوگ ورودی در محدوده صفر تا 5V+ است(برابر با پایه Vcc). اما کاربردهای زیادی وجود دارند که در آنها ولتاژ آنالوگ ورودی نیاز به محدوده ای غیر از صفر تا5V+ دارد.بعنوان مثال اگر محدوده ولتاژ آنالوگ ورودی مورد نیاز بین صفر تا 4V+ باشد پایه Vref/2 به ولتاژ 2V+ وصل می شود. جدول زیر محدوده Vin به ازای مقادیر مختلف Vref/2 را نشان می دهد.

Vin(V)	Vref/2(V)
0 تا5	بی اتصال
0 تا4	2.0
0 تا3	1.5
0 تا2.56	1.28
0 تا2	1.0
0 تا1	0.5

D0 تا D7 (D7 با ارزشترین بیت و D0 کم ارزشترین بیت) پایه های خروجی داده دیجیتال هستند. این پایه ها از بافرهای سه حالته تشکیل شده اند و داده تبدیل شده وقتی در دسترس است که پایه CS=0 و RD نیز در سطح صفر قرار گیرد.

برای محاسبه ولتاژ خروجی از فرمول (Vin(+)/Vref)*255 و نهایتاً تبدیل آن به فرم باینری استفاده می شود. زمین آنالوگ و زمین دیجیتال ورودی زمین سیگنالهای آنالوگ و دیجیتال را فراهم می کنند. زمین آنالوگ به زمین سیگنال آنالوگ ورودی Vin و زمین دیجیتال به زمین پایه Vcc وصل می شود. دلیل داشتن دو زمین جدا برای سیگنالهای آنالوگ و دیجیتال جدا سازی سیگنال آنالوگ ورودی از ولتاژهای گذرایی است که در اثر تغییر وضعیت پایه های خروجیD0 تا D7 تولید می شوند و این جدا سازی دقت داده خروجی دیجیتال را تضمین می کند. شایان ذکر است که جدا سازی زمین های آنالوگ و دیجیتال در مدارات بسیار حساس صورت می پذیرد و در مدارات معمولی می توان این دو زمین را به هم وصل کرد.

تذكر: بنابر يك قاعده كلي، هيچگاه نبايستي به پايه‌هاي يك IC ولتاژي بيش از ولتاژ تغذيه اعمال شود و از آنجايي كه ولتاژ تغذيه ADC0804 برابر 5 ولت است، بنابراين ولتاژي كه به پايه‌هاي ورودي و پايه‌هاي (+)Vinو (-)Vin اعمال مي‌شود نبايد بيشتر از 5 ولت باشد.

جدول صحت:

D7-D0: پايه‌هاي خروجي كه عدد حاصل از تبديل را بيرون مي‌دهند درحالت عادي اين پايه‌ها شناورند.

(+)Vinو (-)Vin: ورودی های آنالوگ تفاضلی

Vref/2: تامين كننده ولتاژ مرجع تراشه

CLK in: پايه ورودي كه به يك منبع ساعت خارجي وصل مي شود.

CLK R: جهت استفاده از مولد پالس داخلی همراه با يك مدار جانبی استفاده می شود.

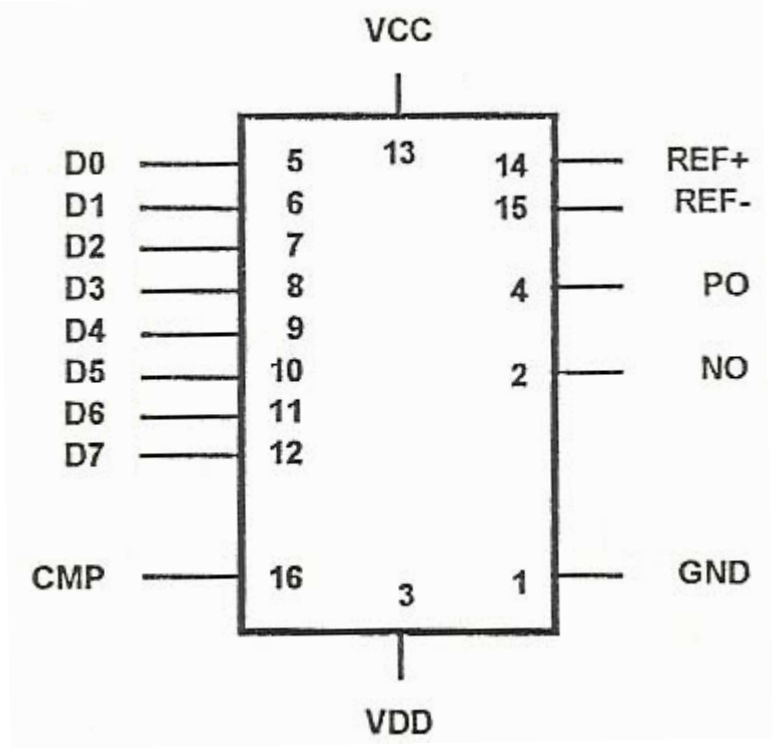
INTR: نمايانگر وقفه انتهای تبديل است كه معمولاً برای انتقال اطلاعات به يك IC جانبی مثل يك پردازنده همراه با پايه‌هاي RD و CS استفاده می شود.

IC را روي دستگاه آزمايش ببنديد. پايه‌هاي D0 تا D7 را به LEDهاي D0 تا D7 وصل كنيد و مابقی مدار را مطابق شكل اتصال دهيد. حال دستگاه را به برق وصل كنيد. بااعمال ولتاژ آنالوگ ورودی به پايه (+)Vin تغييرات اطلاعات خروجي را روي LEDها ببينيد. به همين ترتيب جدول زير را پر كنيد.

خروجي (دهدهي)	خروجي (هگزا دسيمال)	خروجي (باينري)	ولتاژ ورودي
			0
			.01
			.02
			.1
			.2
			.5
			1
			2
			2.5
			3
			4

١٤ـ مبدل ديجيتال به آنالوگ به شماره DAC0800:

در آزمايش قبل با مبدلي آشنا شديد كه ولتاژ پيوسته را به يك عدد باينري تبديل مي‌كرد. در آن آزمايش دانستيد كه اگر بخواهيم يك كميت پيوسته را به يك كامپيوتر يا سيستم ديجيتالي وارد كنيم، ابتدا بايستي آن كميت را به صورت ولتاژ درآوريم و سپس با يك مبدل آنالوگ به ديجيتال آنرا به يك عدد تبديل كنيم، آنگاه آن عدد را مي‌توان به سيستم ديجيتالي وارد كرد. بديهي است كه حالت عكس نيز مي‌تواند اتفاق بيفتد. يعني هرگاه يك سيستم ديجيتال بخواهد يك فرمان آنالوگ يا يك مقدار آنالوگ را به دنياي بيرن بدهد معمولاً بايستي به صورت يك ولتاژ باشد. در اين حال نياز به قطعه ايي داريم كه بتواند يك عدد باينري را به يك دامنه ولتاژ تبديل كند. در اين آزمايش با چنين قطعه‌ايي آشنا مي‌شويم.



IC شماره DAC0800 يك مبدل ديجيتال به آنالوگ هشت بيتي است و عدد باينري در ورودي را به ولتاژي در خروجي تبديل مي‌كند كه دامنه اين ولتاژ متناسب با عدد ورودي است.

با مراجعه به تصوير اولين نكته‌ايي كه به چشم مي‌خورد، آنست كه اين IC برخلاف تمام ICهاي آزمايش‌هاي قبلي نياز به دو تغذيه مثبت و منفي دارد. هشت پايه ورودي D0 تا D7 پايه‌هايي هستند كه عدد باينري از آن طريق به IC وارد مي‌شود. IC اين عدد را دريافت كرده و در پايه PO آنرا تبديل به جريان مي‌كند. مقدار منفي اين جريان نيز از پايه NO خارج مي‌شود حال اگر ما يك مقاومت در مسير هر كدام از اين جريانها قرار دهيم، عبور جريان از اين مقاومت در دوسر آن يك ولتاژ ايجاد مي‌كند كه همان ولتاژ خروجي مورد نظر ماست.

سوالي كه بلافاصله به ذهن ميرسد آنست كه رابطه بين عدد ورودي و ولتاژ خروجي چيست؟ به عبارت ديگر به ازاء هر يك واحد افزايش در عدد ورودي، ولتاژ خروجي چقدر افزايش مي‌يابد؟ براي تعيين اين رابطه، IC داراي دو پايه بنامهاي +REF و -REF مي‌باشد. اگر پايه +REF را با يك مقاومت RF به يك منبع ولتاژ VF وصل كنيم، جرياني به اسم IF يا جريان مرجع از پايه +REF عبور مي‌كند و به IC وارد مي‌شود كه برابر است با ولتاژ VF تقسيم بر RF. پايه -REF نيز به خط زمين وصل مي‌شود (البته بنابر ملاحظات مدارات آنالوگ اين پايه

نيز از طريق يك مقاومت برابر با مقاومت مسير +REF به زمين وصل مي‌شود).

طراحي اين IC بگونه‌اي است كه وقتي عدد ورودي 00H است، جريان خروجي IC در پايه‌هاي PO و NO برابر صفر است.

حال اگر بزرگترين عدد (FFH) به ورودي IC اعمال شود (يعني همه پايه‌هاي ورودي يك شود) آنگاه جريان در پايه‌هاي خروجي IC برابر همان جريان پايه +REF يعني مقدار IF خواهد بود. همانطور كه گفته شد مي‌توان در مسير پايه‌هاي خروجي IC يك مقاومت برابر RO قرار داد تا عبور جريان خروجي IC از آن يك ولتاژ ايجاد كند. اين ولتاژ كه همان ولتاژ خروجي مورد نظر ماست برابر است با: VO=RO (Vref/Rref)/256

به ياد داشته باشيد كه حداكثر جريان مجازي كه مي‌توان به پايه +REF وارد كرد برابر 5 ميلي آمپر است.

جدول صحت:

D7-D0 : پايه‌هاي ورودي عدد باينري به

VCC: خط تغذيه مثبت

VDD: خط تغذيه منفي

GND: خط تغذيه صفر و زمين ديجيتال

COMP: اين پايه براي جلوگيري از نوسان در با يك خازن به خط تغذيه منفي وصل مي‌شود.

PO: پايه خروجي جريان

NO: پايه خروجي به صورت آيينه‌اي (جريان منفي)

+REF و -REF: پايه‌هاي ورود جريان مرجع

IC را روي دستگاه آزمايش ببنديد. توجه داشته باشيد كه برق دستگاه حتماً قطع باشد. ولتاژ 5+ را به پايه تغذيه مثبت و ولتاژ 5- را به پايه تغذيه منفي وصل كنيد. پايه GND را نيز به خط زمين تغذيه وصل نماييد.

براي جلوگيري از نوسان احتمالي در IC پايه COMP را به يك خازن 10NF به پايه تغذيه منفي وصل كنيد.براي اعمال جريان مرجع به IC، پايه +REF را با يك مقاومت 4.7K به خط 5+ و پايه -REF را هم با يك مقاومت 4.7K به زمين وصل كنيد. پايه‌هاي PO و NO هر كدام را با يك مقاومت 4.7K به خط 5+ وصل كنيد.

كارهاي فوق مقدمات آزمايش بود. حال هشت پايه D0 تا D1 را به كليدهاي A0 تا A7 وصل كنيد و تمام اين كليدها را در حالت صفر قرار دهيد. برق دستگاه را متصل كنيد و با يك ولتمتر

ولتاژ پايه‌هاي PO و NO را نسبت به زمين اندازه‌گيري كنيد.

با توجه به اينكه پايه +REF توسط يك مقاومت 4.7K به خط 5+ ولت وصل است، جريان مرجع (جريان ورودي به پايه +REF) را تعيين كنيد.

همچنين با اعمال اعداد جدول زير به IC، ولتاژ پايه‌هاي خروجي PO و NO را از ولتمتر قرائت و در جدول ثبت كنيد. آيا ولتاژهاي خروجي از رابطه تئوري IC تبعيت می كنند؟ ولتاژ پايه PO چه ارتباطي با ولتاژ پايه NO دارد؟

عدد باینری ورودي	ولتاژ پایه PO نسبت به زمین	ولتاژ پایهNO نسبت به زمین
00H		
01H		
02H		
04H		
08H		
10H		
20H		
40H		
80H		
FFH		