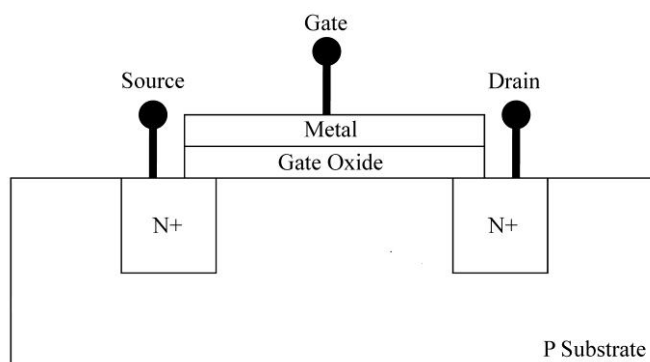


آزمایش ۷

آشنایی با ترانزیستورهای MOS

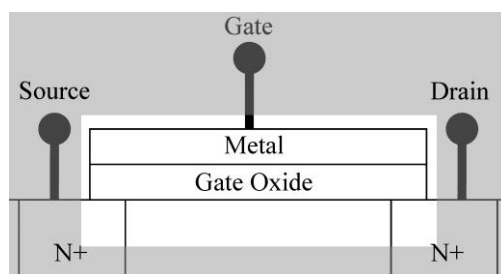
هدف از آزمایش: در این آزمایش به طور مختصر با ترانزیستورهای MOS و نحوه عملکرد آن ها آشنا می شوید.

در ترانزیستورهای Bjt دیدید که با استفاده از جریان ورودی می توان جریان خروجی را کنترل نمود، در این ترانزیستورها می توانید با استفاده از ولتاژ مقدار جریان خروجی را کنترل نمایید. لایه های یک ترانزیستور NMOS که برش عرضی داده شده در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱)

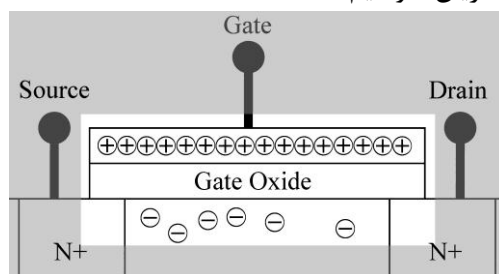
برای این که جریان بین پایه های درین و سورس شارش داشته باشد ابتدا باید حامل هایی مانند الکترون به این منظور وجود داشته باشند، بدون حضور الکترون هیچگاه جریانی بین این دو پایه برقرار نخواهد شد. حالتی که گفته شد زمانی اتفاق می افتد که $V_{gs} = 0$ باشد. فرض کنید به تدریج این ولتاژ را افزایش دهیم در این صورت بارهای الکتریکی مثبت روی فلز جمع می شوند، باید توجه داشته باشید که لایه ای که در وسط قرار دارد اکسید می باشد و مانند عایق عمل می کند، با کمی دقت متوجه می شویم که ساختاری که در شکل (۲) نشان داده شده، مانند خازنی می باشد که یک صفحه ی آن باردار شده است.



شکل (۲)

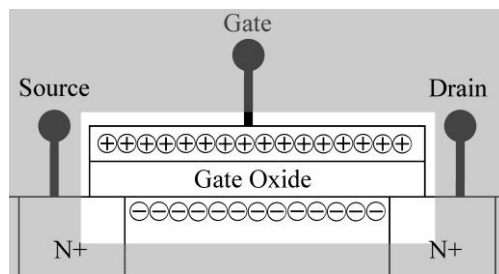
بارهای مثبت روی فلز، الکترون های پراکنده ی زیر لایه را در سطح زیرین اکسید جمع آوری می کنند. بنابراین همان طور که در شکل (۳) نشان داده شده است اگر همچنان ولتاژ گیت- سورس را افزایش دهیم الکترون های بیشتری در سطح زیر گیت خواهیم داشت. هنگامی که ولتاژ گیت- سورس به مقدار مشخصی می رسد، یک لایه تک الکترون از

درین تا سورس همان طور که در شکل (۴) مشاهده می کنید زیر سطح گیت شکل خواهد گرفت، این ولتاژ مشخص همان ولتاژ آستانه یا V_t نام دارد. به یاد داریم که عامل حرکت بارهای الکتریکی میدان های الکتریکی بودند، به عبارت بهتر تا زمانی که میدان الکتریکی نداشته باشیم این الکترون ها در جای خود ثابت می مانند و می دانیم که با حرکت الکترون ها جریان الکتریکی به وجود خواهد آمد. حتماً به خاطر دارید که ولتاژ با میدان رابطه ای مستقیم دارد. بنابراین اگر اختلاف پتانسیل داشته باشیم، میدان خواهیم داشت در نتیجه الکترون های بی حرکت زیر سطح گیت، در جهت میدان حرکت خواهند کرد و در نهایت جریان خواهیم داشت.



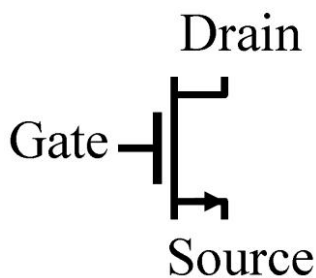
شکل (۳)

این اختلاف پتانسیل را می توان به پایه های درین- سورس اعمال کرد در این صورت الکترون ها از سورس به سمت درین حرکت خواهند کرد و جهت جریان از درین به سمت سورس خواهد بود. دقت داشته باشید که نام های سورس و درین به همین منظور انتخاب شده اند.



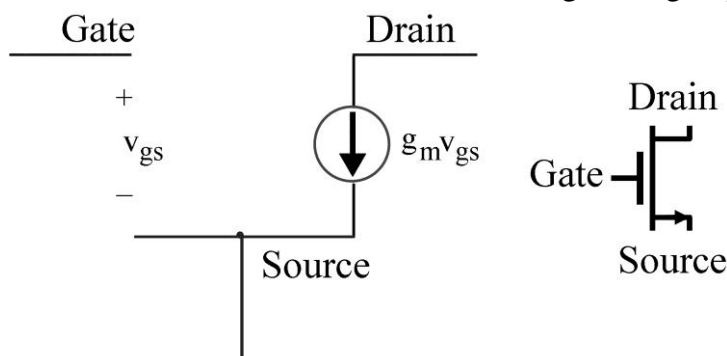
شکل (۴)

سمبل مداری این المان را در شکل (۵) مشاهده می کنید. برای تحلیل مداری ترانزیستورهای MOS ابتدا مانند ترانزیستورهای Bjt باید تحلیل DC انجام دهید و از پارامترهایی که در این تحلیل بدست می آورید در تحلیل ac استفاده کنید. برای این منظور باید بدانید که ترانزیستور در چه ناحیه ای عمل می کند. نواحی عملکرد ترانزیستور NMOS به طور مختصر در جدول (۱) آمده است.



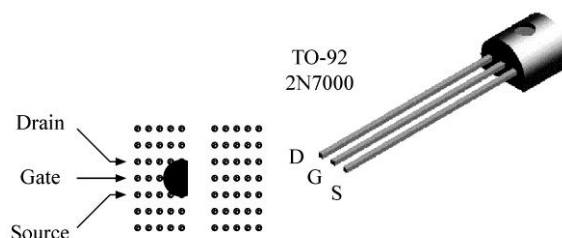
شکل (۵)

مانند ترانزیستورهای Bjt ترانزیستورهای MOS را می توان با سه ترکیب در مدارهای تقویت کننده به کاربرد. مدار معادل ac این ترانزیستور در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل (۶)

پارامتر g_m را می توان از روی مشخصه ی ورودی با توجه به رابطه ی $g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}}|_{V_{DS}=Constant}$ استخراج کرد. برای تحلیل ac به صورت تئوری کافی است به جای ترانزیستور مدار معادل ac آن را قرار دهید و با استفاده از تحلیل گره و میس روابط خواسته شده را محاسبه کنید. برای آزمایش هایی که پیش رو دارید از ترانزیستور 2N7000 در آزمایشگاه استفاده کنید. پایه های این ترانزیستور در شکل (۷) نشان داده شده است.



شکل (۷)

برای اطلاع بیشتر از پارامترهای این ترانزیستور می توانید از سایت www.alldatasheet.com بر گه های اطلاعاتی مربوط به این المان را دانلود و مطالعه کنید. مهمترین پارمترهایی که می توان برای این المان نام برد، حداکثر جریان عبوری از درین، حداکثر ولتاژ قابل تحمل درین- سورس و حداکثر توان قابل تحمل توسط ترانزیستور می باشد.

جدول (۱)

ناحیه قطع	در این ناحیه ولتاژ گیت- سورس کمتر از ولتاژ آستانه می باشد. یعنی اینکه هیچ الکترونی برای هدایت جریان الکتریکی وجود ندارد.
ناحیه خطی	در این ناحیه $V_{gs} > V_t$ می باشد یعنی الکترون ها برای هدایت الکتریکی در سطح زیرین گیت موجود می باشند، اما اختلاف ولتاژ درین- سورس کمتر از مقدار لازم می باشد، در این ناحیه $V_{ds} < V_{gs} - V_{th}$ جریان در این ناحیه از رابطه ی $I_D = k \left[(V_{gs} - V_{th})V_{ds} - \frac{V_{ds}^2}{2} \right]$ محاسبه می شود.
ناحیه اشباع	در این ناحیه $V_{gs} > V_t$ می باشد یعنی الکترون ها برای هدایت الکتریکی در سطح زیرین گیت موجود می باشند و اختلاف ولتاژ درین- سورس به مقدار لازم می باشد، در این ناحیه $V_{ds} > V_{gs} - V_{th}$ جریان در این ناحیه از رابطه ی $I_D = \frac{k}{2} (V_{gs} - V_{th})^2$ محاسبه می شود.

در جدول (۱)، k توسط کارخانه سازنده ترانزیستور تعیین می شود. این پارامتر را از روی مشخصه ورودی می توانید بدست آورید.

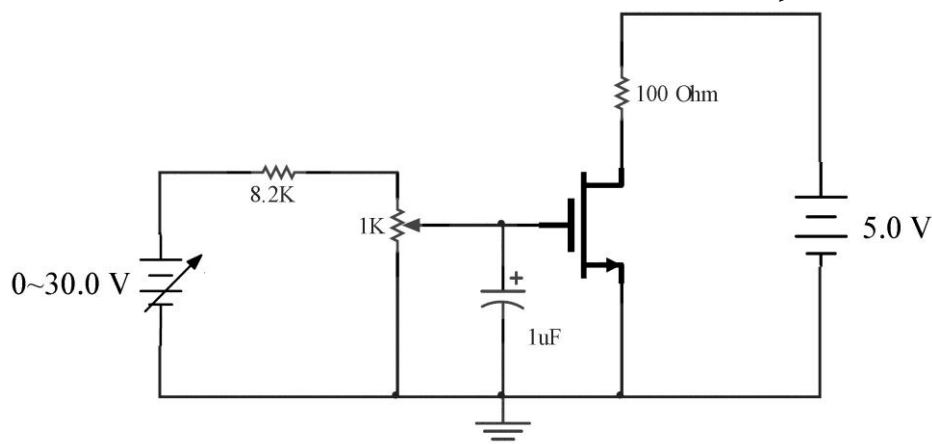
مشخصه ورودی ترانزیستور NMOS و تعیین پارامترهای آن

پیش گزارش - (۱) حداکثر جریانی را که می توان بدون آسیب رساندن از ترانزیستور 2N7000 عبور داد و حداکثر ولتاژی را که می توان بین پایه های درین و سورس قرار داد را از روی برگه اطلاعاتی این ترانزیستور یادداشت کنید.

پیش گزارش - (۲) حداکثر توان قابل تحمل این ترانزیستور چقدر است؟ مقاومت 100Ω به چه منظور در مسیر درین قرار داده شده است؟

پیش گزارش - (۳) در شکل (۸) به چه منظور خازنی بین پایه های گیت و زمین قرار داده شده است؟

- مدار شکل (۸) را روی برد ببنیدید.



شکل (۸)

گزارش کار - (۱) جدول (۲) را به ازای ولتاژ متفاوت گیت - سورس و ولتاژهای دلخواه درین - سورس کامل کنید.

جدول (۲)

$V_{GS} = 3V$		$V_{GS} = 2.5V$		$V_{GS} = 1.5V$		$V_{GS} = 0V$		
V_{ds}	I_D	V_{ds}	I_D	V_{ds}	I_D	V_{ds}	I_D	
								۱
								۲
								۳
								۴
								۵
								۶

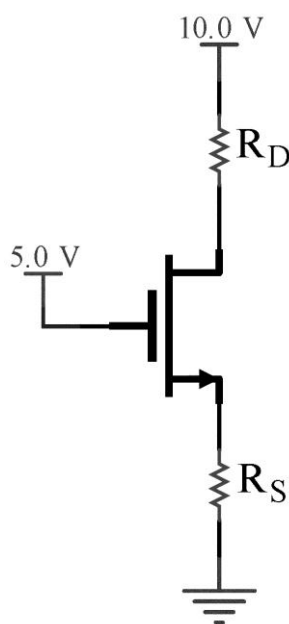
گزارش کار- ۲) با توجه به مقادیر جدول (۲)، پارامترهای g_m و k را برای سه نقطه کاری متفاوت به دست آورید و در جدولی یادداشت نمایید.

گزارش کار- ۳) در مدار شکل (۸)، ولتاژ گیت- سورس را افزایش دهید تا جریان درین به مقدار 0.1mA برسد، این ولتاژ گیت- سورس، همان ولتاژ آستانه می باشد. آن را یادداشت نمایید و با ولتاژ آستانه ای که در برگه اطلاعاتی این ترانزیستور آمده است مقایسه نمایید.

بایاس ساده ترانزیستور NMOS

از جدول (۲) مشاهده می کنید که تغییرات کوچکی در ولتاژ گیت- سورس باعث تغییرات زیادی در جریان درین خواهد شد. در حالت کلی این یکی از ویژگی های ترانزیستورهای MOS می باشد اما تنظیم کردن جریان ترانزیستور روی مقدار مشخصی با توجه به اینکه ولتاژ آستانه در ترانزیستورهای مختلف، متفاوت است، کار چندان ساده ای نمی باشد.

اضافه کردن مقاومت سورس یکی از راه حل هایی می تواند باشد که این مشکل را برطرف سازد. فرض کنید که مانند شکل (۹) ولتاژ ثابت ۵V به گیت اعمال شود، در این صورت اگر جریان درین را مقدار مشخصی در نظر بگیرید، داریم $V_{gs} = 5V - I_d R_s$ ، بنابراین با انتخاب مقاومت سورس می توانید به راحتی ولتاژ گیت- سورس را روی مقدار مورد نظر تنظیم کنید.



شکل (۹)

برای اینکه بتوانید تصور کنید چرا این روش، راه حل مناسبی برای تنظیم V_{gs} است، در نظر بگیرید که مقاومت سورس کوچک باشد، در این صورت با توجه به رابطه ی اخیر V_{gs} ، افزایش می یابد، با افزایش V_{gs} ، جریان درین نیز با توجه به رابطه ی جریان ترانزیستورهای MOS افزایش می یابد، با افزایش جریان از رابطه ی اخیر متوجه خواهیم شد که V_{gs} کاهش پیدا خواهد کرد. این در واقع همان مفهوم فیدبک منفی می باشد که از آن برای پایداری مدارهای الکترونیکی استفاده می شود. همچنین این مقاومت باعث پایداری جریان درین خواهد شد.

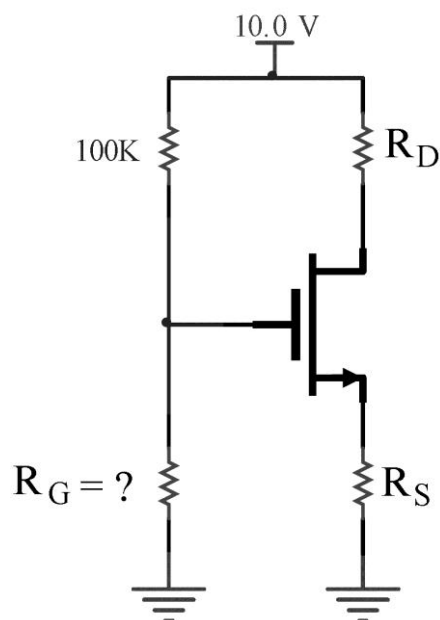
– مدار شکل (۹) را روی برد ببندید. مقاومت سورس را طوری انتخاب کنید که جریان درین ۲۰mA باشد. مقاومت درین را طوری انتخاب کنید که ولتاژ درین ۸V شود.

گزارش کار- ۴) ولتاژ درین و سورس را اندازه بگیرید و با مقدار تئوری خود مقایسه کنید. چقدر خطا دارید؟ دلیل آن را توضیح دهید.

از آنجایی که در گیت مقدار کوچکی جریان نشتی داریم، می توانید با استفاده از تقسیم ولتاژ این مشکل را بر طرف کنید.

پیش گزارش- ۴) در شکل (۱۰)، چرا یکی از مقاومت های تقسیم ولتاژ بزرگ، $100\text{K}\Omega$ ، انتخاب شده است؟

- مدار شکل (۱۰) را روی برد ببندید.



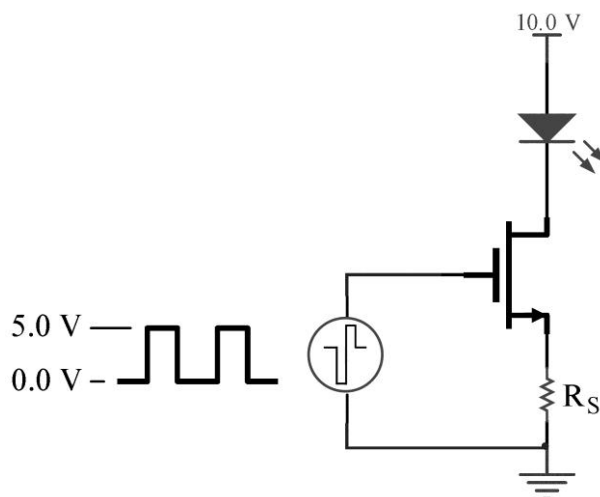
شکل (۱۰)

گزارش کار- ۵) در این حالت ولتاژ درین و سورس را اندازه بگیرید و با مقدار تئوری خود مقایسه کنید. چقدر خطا دارید؟ دلیل آن را توضیح دهید.

چشمک زن ساده و خاصیت کلیدزنی ترانزیستور MOS

مداری که در آزمایش قبل طراحی کردید، دارای جریانی معادل 20mA و افت ولتاژی تقریباً 2V روی مقاومت درین بود. اگر کمی دقت کنید متوجه خواهید شد که یک LED برای روشن شدن به همین شرایط نیاز دارد، بنابراین با استفاده از بایاس مدار آزمایش قبل و تعویض مقاومت با LED می توانید آن را روشن کنید. حال اگر گیت ترانزیستور را به زمین اتصال دهید LED خاموش خواهد شد. بنابراین اگر بتوانید ولتاژ گیت را بین صفر و 5V سوییچ کنید توانسته اید مداری چشمک زن بسازید.

- مدار شکل (۱۱) را روی برد مورد بندید. مقاومت سورس همان مقداری است که در آزمایش قبل طراحی کرده اید. سیگنال ورودی را روی موج ورودی بین صفر تا 5V با فرکانس 1Hz قرار دهید.

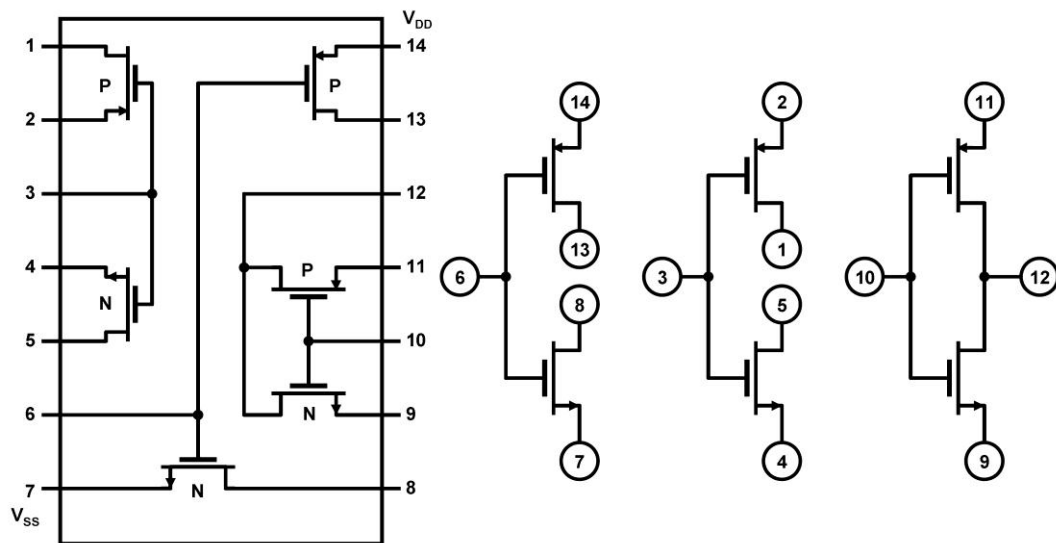


شکل (۱۱)

پیش گزارش - ۵) با توجه به اینکه می دانیم سیگنال ژنراتور نمی تواند جریانی را برای مدار تامین کند، LED چگونه روشن و خاموش می شود؟ جریان آن از کجا تامین می شود؟

آشنایی با آی-سی CD4007

آی-سی CD4007 دارای شش عدد ترانزیستور MOS داخلی می باشد که در شکل (۱۲) نشان داده شده است.



شکل (۱۲)

- ولتاژ آستانه ی یکی از ترانزیستورهای آی-سی CD4007 را با استفاده از آزمایش هایی که انجام داده اید، به دست آورید.

- مدار شکل (۱۱) را با استفاده از CD4007 روی برد ببنیدید.

- با استفاده از CD4007 ، دو اینورتر را به صورت سری روی برد ببنیدید و سیگنال خروجی را روی اسکوپ مشاهده کنید. سیگنال موج مربعی با دامنه ی صفر تا ۵V و فرکانس ۱KHz را به ورودی اعمال کنید.

گزارش کار- ۵) ولتاژ آستانه این آی-سی را با ولتاژ آستانه ترانزیستور 2N4007 مقایسه کنید.