

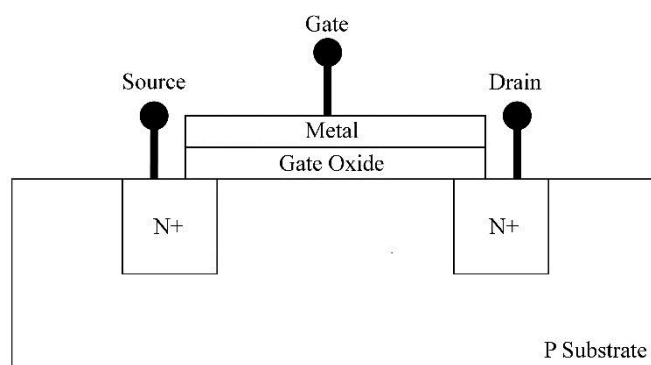


## آزمایش ۹

### آشنایی با ترانزیستورهای MOS

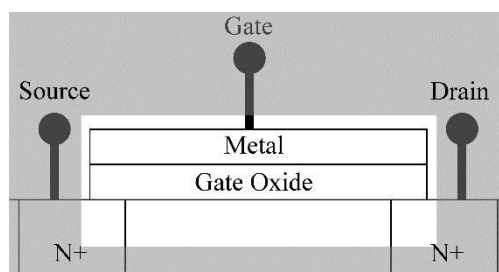
هدف از آزمایش: در این آزمایش به طور مختصر با ترانزیستورهای MOS و نحوه عملکرد آن ها آشنا می شوید.

در 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 (۹-۱) نشان داده شده است.



شکل (۹-۱)

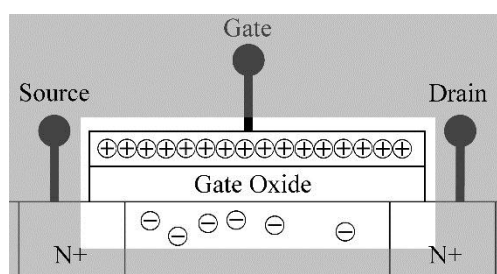
برای این که جریان بین پایه های درین و سورس شارش داشته باشد ابتدا باید حامل هایی مانند الکترون به این منظور وجود داشته باشند، بدون حضور الکترون هیچگاه جریانی بین این دو پایه برقرار نخواهد شد. حالتی که گفته شد زمانی اتفاق می افتد که  $V_{gs} = 0$  باشد. فرض کنید به تدریج این ولتاژ را افزایش دهیم در این 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 (۹-۲) نشان داده شده، مانند خازنی می باشد که یک صفحه ی آن باردار شده است.



شکل (۹-۲)

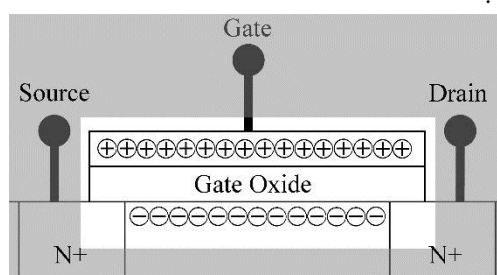


بارهای مثبت روی فلز، الکترون های پراکنده ی زیر لایه را در سطح زیرین اکسید جمع آوری می کنند. بنابراین همان طور که در شکل (۳-۹) نشان داده شده است اگر همچنان ولتاژ گیت- سورس را افزایش دهیم الکترون های بیشتری در سطح زیر گیت خواهیم داشت. هنگامی که ولتاژ گیت- سورس به مقدار مشخصی می رسد، یک لایه تک الکترون از درین تا سورس همان طور که در شکل (۴-۹) 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.



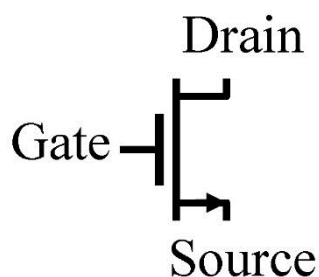
شکل (۳-۹)

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.



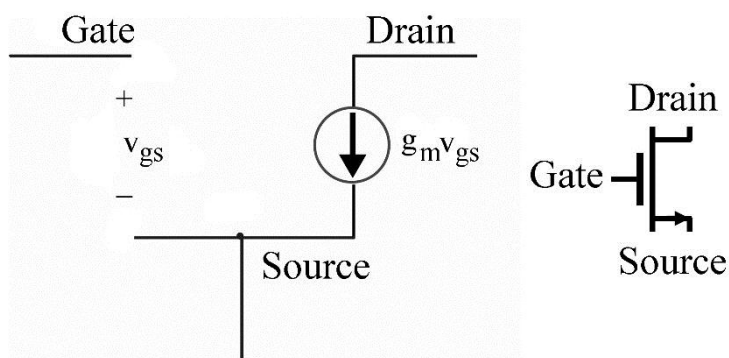
شکل (۴-۹)

سمبل مداری این المان را در شکل (۵-۹) 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 (۱-۹) آمده است.



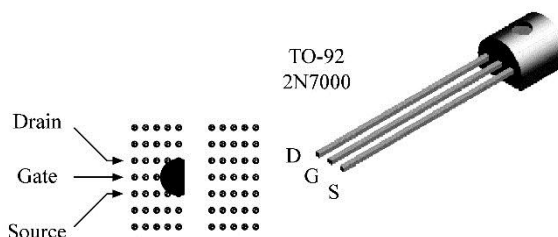
شکل (۵-۹)

مانند ترانزیستورهای Bjt ترانزیستورهای MOS را می توان با سه ترکیب در مدارهای تقویت کننده به کاربرد. مدار معادل ac این ترانزیستور در شکل (۶-۹) نشان داده شده است.



شکل (۶-۹)

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 (۷-۹) نشان داده شده است.



شکل (۷-۹)

برای اطلاع بیشتر از پارامترهای این ترانزیستور می توانید از سایت [www.alldatasheet.com](http://www.alldatasheet.com) برگه 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.

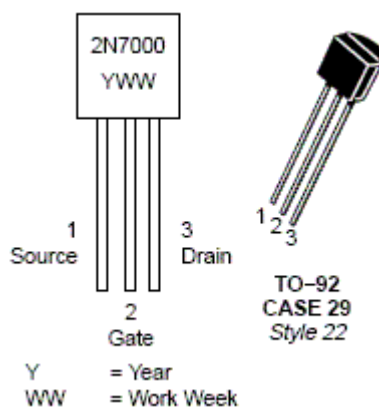


جدول (۹-۱)

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 (۹-۱)، k توسط کارخانه سازنده ترانزیستور تعیین می شود. این پارامتر را از روی مشخصه ورودی می توانید بدست آورید.

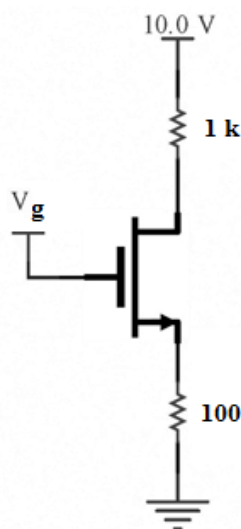
ترانزیستور NMOS مورد نیاز برای انجام آزمایش ها 2N7000 می باشد.





### ۹-۱- تعیین ولتاژ آستانه ترانزیستور NMOS

ابتدا با استفاده از یکی از ترانزیستورهای NMOS موجود در تراشه CD4007، مدار شکل زیر را بسازید. در این بخش با استفاده از اختلاف پتانسیل ایجاد شده بین درین و سورس میزان ولتاژ آستانه ترانزیستور تعیین خواهد گرد... برای یافتن مقدار ولتاژ آستانه ابتدا منبع تغذیه مربوط به ولتاژ گیت را بر روی صفر تنظیم کرده و سپس به آرامی مقدار آن را افزایش دهید. هنگامی که عبور جریان از مقاومت درین آغاز گردد (جریان درین به مقدار  $0.1\text{mA}$  برسد) ترانزیستور روشن شده است. در حقیقت با افزایش تدریجی ولتاژ منبع تغذیه مقدار  $V_{gs}$  افزایش می یابد و به ولتاژ آستانه می رسد و ترانزیستور روشن خواهد شد. به محض اینکه جریان درین به مقدار خواسته شده رسید، ولتاژ گیت-سورس نشان دهنده ولتاژ آستانه خواهد بود.



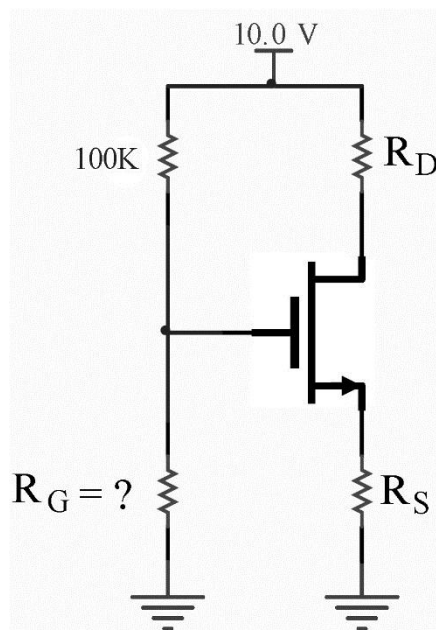
شکل (۹-۸)



### ۹-۲- بایاس ساده ترانزیستور NMOS

در مدار شکل (۹-۹) با استفاده از نتیجه بدست آمده برای ولتاژ آستانه، مقاومت سورس را طوری انتخاب کنید که جریان درین  $20\text{ mA}$  باشد. مقاومت درین را طوری انتخاب کنید که ولتاژ درین  $8\text{ V}$  شود.

مدار شکل (۹-۹) را روی برد ببندید. ولتاژ درین و سورس را اندازه بگیرید و با مقدار تئوری خود مقایسه کنید. چقدر خطا دارید؟ دلیل آن را توضیح دهید.



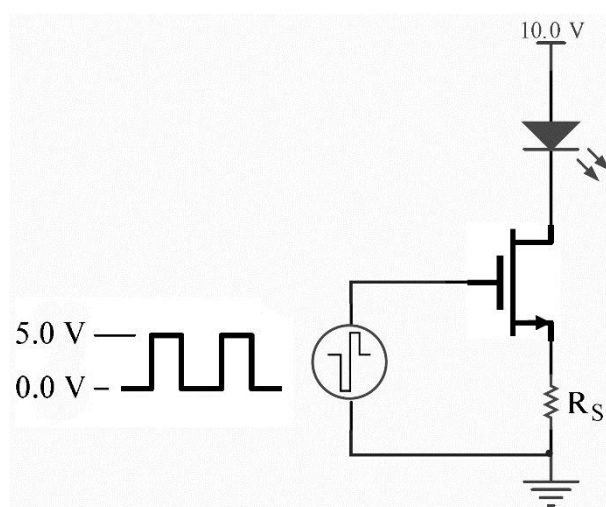
شکل (۹-۹)



### ۹-۳- چشمک زن ساده و خاصیت کلیدزنی ترانزیستور MOS

مداری که در آزمایش قبل طراحی کردید، دارای جریانی معادل  $20\text{ mA}$  و افت ولتاژی تقریباً  $2\text{ V}$  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  $5\text{ V}$  سوییچ کنید توانسته اید مداری چشمک زن بسازید.

- مدار شکل (۹-۱۰) را روی برد ببنیدید. مقاومت سورس همان مقداری است که در آزمایش قبل طراحی کرده اید. سیگنال ورودی را روی موج ورودی بین صفر تا  $5\text{ V}$  با فرکانس  $1\text{ Hz}$  قرار دهید.



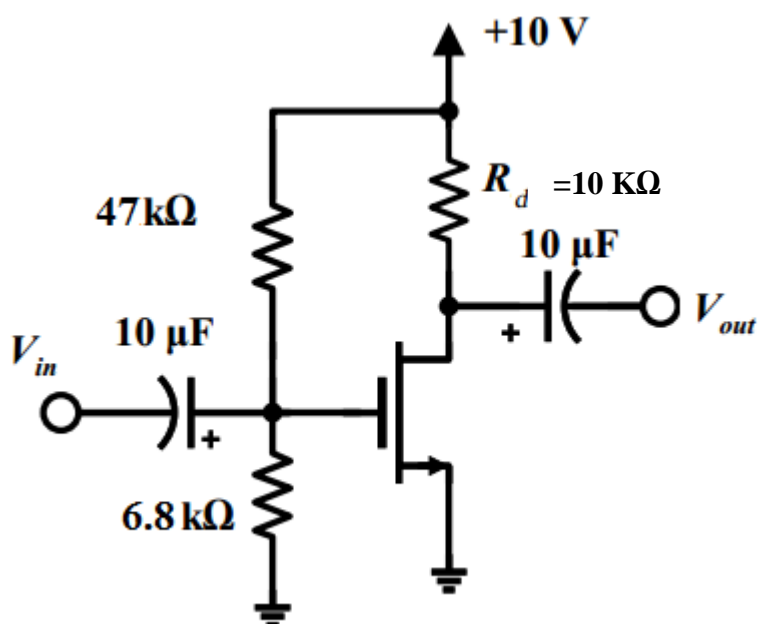
شکل (۹-۱۰)



## ۹-۴- تقویت کننده سورس مشترک با ترانزیستور NMOS

پیش گزارش: بهره ولتاژ  $V_{out}$  بر حسب  $V_{in}$  را حساب کنید.

- مدار شکل (۹-۱۱) یک مدار سورس مشترک می باشد که در آن ورودی به گیت اعمال شده و خروجی از درین گرفته می شود. این مدار را روی برد بورد ببندید و جدول (۹-۲) و (۹-۳) را تکمیل کنید. ولتاژ ورودی به گیت یک موج سینوسی با دامنه ۱۰۰ میلی ولت و فرکانس 1 KHz است.



شکل (۹-۱۱)

جدول (۹-۲)

$I_d$	$V_d$	$V_g$	پارامتر
			مقدار اندازه گیری شده

مقدار مقاومت درین را مطابق جدول (۹-۳) تغییر دهید و نتایج بدست آمده را یادداشت نمایید.

جدول (۹-۳)

$R_d$	$V_{in}$	$V_o$	$A_v$ عملی	$A_v$ تئوری	درصد خطا
۱۰ KΩ					
۵ KΩ					





## آزمایش ۱۰

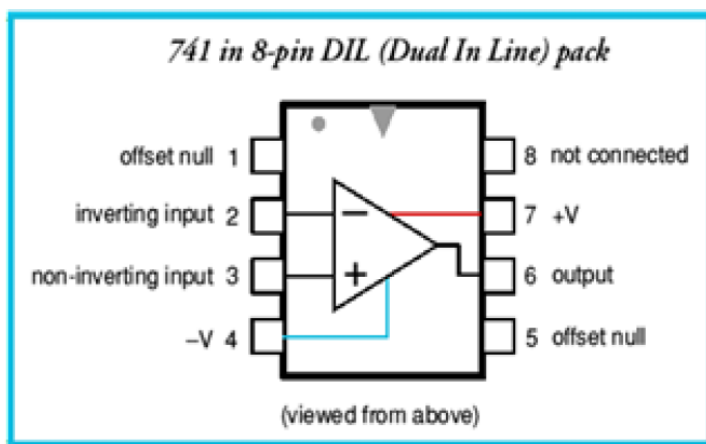
### کاربردهای خطی تقویت کننده عملیاتی

هدف از آزمایش: بررسی تقویت کننده های معکوس کننده و غیر معکوس کننده و پاسخ فرکانسی مدار RC

پایین گذر با استفاده از آپ امپ

تقویت کننده عملیاتی در واقع یک تقویت کننده ولتاژ با بهره ولتاژ بسیار بالاست و معمولاً دارای یک سر خروجی و دو سر ورودی است که سرهای ورودی به صورت تفاضلی عمل می کنند. به عبارت دیگر این تقویت کننده اختلاف ولتاژ بین ورودی را تقویت می کند. یکی از دو سر، ورودی منفی (-) یا معکوس کننده نام دارد، زیرا تقویت کننده برای ورودی های اعمال شده به این سر دارای بهره منفی خواهد بود. سر دیگر ورودی مثبت (+) یا غیر معکوس کننده است و سیگنال های ورودی به این سر، در خروجی با بهره مثبت ظاهر می شوند. این تقویت کننده دارای مقاومت خروجی بسیار کوچک (حدود چند اهم) بوده و از مقاومت ورودی بسیار بزرگی (بیش از چند صد کیلو اهم) برخوردار است. چون تقویت کننده عملیاتی یک قطعه فعال است برای تأمین انرژی مصرفی و بایاس ترانزیستورهای داخلی خود به تغذیه DC نیاز دارد.

آپ امپ با شماره LM741 به صورت مستطیلی و ۸ پایه ساخته می شود. در شکل ۱ دیاگرام پایه های IC آپ امپ آمده است. پایه های ۲ و ۳ به ترتیب ورودی های معکوس کننده و غیر معکوس کننده هستند. در اکثر IC ها پایه هایی برای روشن کردن و در واقع تغذیه موجود می باشد. معمولاً برای تقویت کننده ها یک تغذیه منفی و یک تغذیه مثبت مورد نیاز است.



پایه های ۴ و ۷ به ترتیب  $V_{CC}$  و  $-V_{CC}$  (تغذیه منفی و مثبت) هستند. از پایه های ۱ و ۵ جهت حذف آفست آپ امپ در شرایط مختلف محیطی استفاده می شود. در مقابل پایه ۸ در شکل ۱ عبارت NC نوشته شده است، که به معنی Not Connected می باشد. این پایه در مدار داخلی آپ امپ به هیچ قسمتی متصل نیست و تنها به منظور تکمیل تعداد پایه ها جهت مستطیلی شدن IC در نظر گرفته شده است.

شکل ۱

### ۱- تقویت کننده معکوس کننده:

در این آزمایش می خواهیم یک تقویت کننده با بهره منفی توسط آپ امپ (که فیدبک منفی دارد) بسازیم. مدار مربوط به این آزمایش در شکل ۲ نشان داده شده است.

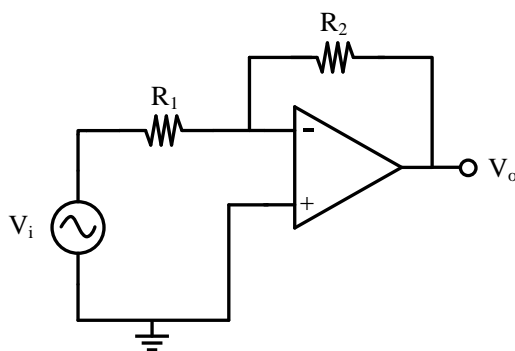


**پیش گزارش ۱:** مدار معکوس کننده شکل ۲ را برای بهره ۵/۶ طراحی کنید. (تعیین مقدار مقاومت  $R_2$  با فرض  $R_1=1k$ ).

**پیش گزارش ۲:** با توجه به مقادیر بدست آمده در قسمت قبل، مدار معکوس کننده را با استفاده از نرم افزار Orcad شبیه سازی کنید.

### شرح آزمایش:

در این آزمایش از دو باتری ۹ ولت به عنوان منبع تغذیه استفاده می شود. این دو باتری با یکدیگر سری خواهند شد و وسط آنها به عنوان زمین اختیار می شود. بنابراین قطب مثبت باتری اول دارای ولتاژ مثبت ۹ ولت و قطب منفی باتری دوم دارای ولتاژ منفی ۹ ولت نسبت به زمین خواهد بود. ولتاژهای تغذیه مثبت و منفی را به ترتیب به پایه های  $V_{CC}$  و  $-V_{CC}$  آپ امپ متصل نمایید. حال مدار مربوط به معکوس کننده را مطابق با شکل ۲ و مقادیر مقاومت های  $R_1$  و  $R_2$  طراحی شده، ببندید. یک ولتاژ سینوسی با دامنه  $2V_{p-p}$  و فرکانس  $1kHz$  به ورودی مدار اعمال کنید. خروجی و ورودی مدار را روی اسیلوسکوپ مشاهده نمایید و بهره مدار را محاسبه کنید.



شکل ۲

### ۲- تقویت کننده غیرمعکوس کننده:

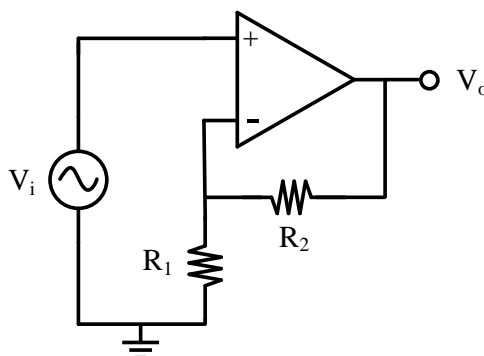
در این آزمایش می خواهیم یک تقویت کننده با بهره مثبت توسط آپ امپ (که فیدبک منفی دارد) بسازیم. مدار مربوط به این آزمایش در شکل ۳ نشان داده شده است.

**پیش گزارش ۳:** مدار غیرمعکوس کننده شکل ۳ را برای بهره ۶/۶ طراحی کنید. (تعیین مقدار مقاومت  $R_2$  با فرض  $R_1=1k$ ).

**پیش گزارش ۴:** با توجه به مقادیر بدست آمده در قسمت قبل، مدار غیرمعکوس کننده را با استفاده از نرم افزار Orcad شبیه سازی کنید.

### شرح آزمایش:

همانند آزمایش قبل ولتاژهای تغذیه مثبت و منفی ۹ ولت را به ترتیب به پایه های  $V_{CC}$  و  $-V_{CC}$  آپ امپ متصل نمایید. حال مدار مربوط به غیرمعکوس کننده را مطابق با شکل ۳ و مقادیر مقاومت های  $R_1$  و  $R_2$  طراحی شده، ببندید. یک ولتاژ سینوسی با دامنه  $4V_{p-p}$  و فرکانس  $1kHz$  به ورودی مدار اعمال کنید. خروجی و ورودی مدار را روی اسیلوسکوپ مشاهده نمایید و بهره مدار را محاسبه کنید.



شکل ۳

### ۳- پاسخ فرکانسی مدار RC پایین گذر

#### ۳-۱ فیلتر پایین گذر

شکل ۴ مدار یک فیلتر RC پایین گذر را نشان می دهد. هنگامی که یک موج سینوسی با دامنه ثابت  $V_m$  و فرکانس متغیر  $f$  به دو سر ورودی این مدار اعمال می شود، ولتاژ خروجی (یا پاسخ مدار) نیز موجی سینوسی ولی با دامنه و فازی متفاوت با ولتاژ ورودی بوده و بطور کلی تابعی از فرکانس موج ورودی خواهد بود.

**پیش گزارش ۵:** در مدار RC پایین گذر رابطه دامنه و فاز  $\frac{V_o}{V_i}$  را بدست آورید و فرکانس قطع مدار را محاسبه کنید.

**پیش گزارش ۶:** مدار مربوط به فیلتر پایین گذر را با استفاده از نرم افزار Orcad شبیه سازی کنید و مشخصه پاسخ دامنه و پاسخ فاز را با استفاده از تحلیل AC Sweep رسم کنید.

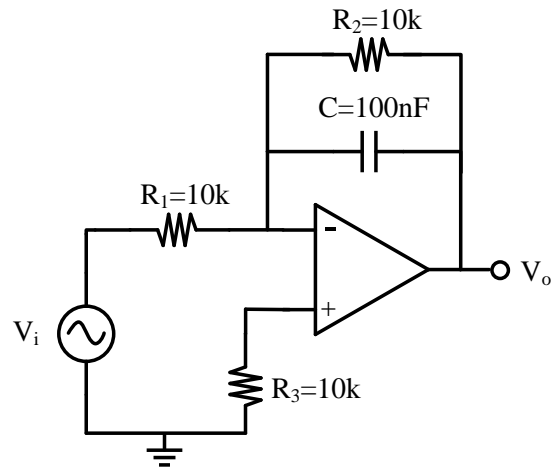
**پیش گزارش ۷:** مدار مربوط به فیلتر پایین گذر را با استفاده از تحلیل Time Domain شبیه سازی کنید.

#### شرح آزمایش:

با استفاده از مقاومت  $R=10k$  و خازن  $C=100nF$  مداری مطابق با شکل ۴ بسازید. بوسیله نوسان ساز یک موج سینوسی با مقدار ماکزیمم ۲ ولت به مدار اعمال کنید و با فرکانسهایی که در جدول ۱ داده شده است مقدار ولتاژ خروجی و اختلاف فاز بین خروجی و ورودی را با استفاده از اسیلوسکوپ اندازه گرفته و در جدول مربوطه یادداشت کنید.

### ۳-۲ مدار انتگرالگیر RC

مدار پایین گذر RC را با خازن  $C=100nF$  و به ازای مقادیر مختلف  $R$  (6.8k، 10k، 22k و 150k) ببندید. نوسان ساز را به ورودی مدار متصل کرده و یک موج مربعی با دامنه ۴Vp-p و فرکانس 100Hz به مدار اعمال کنید و پاسخ مدار را در هر چهار حالت بوسیله اسیلوسکوپ مشاهده نمایید.



شکل ۴

فرکانس $f$	اندازه گیری $V_o$ شده	اندازه گیری $\phi$ شده	محاسبه شده $V_o$	محاسبه شده $\phi$
۲۰ Hz				
۵۰ Hz				
۱۰۰ Hz				
۱۵۰ Hz				
۲۵۰ Hz				
۵۰۰ Hz				
۱۰۰۰ Hz				
۳۰۰۰ Hz				
۱۰۰۰۰ Hz				