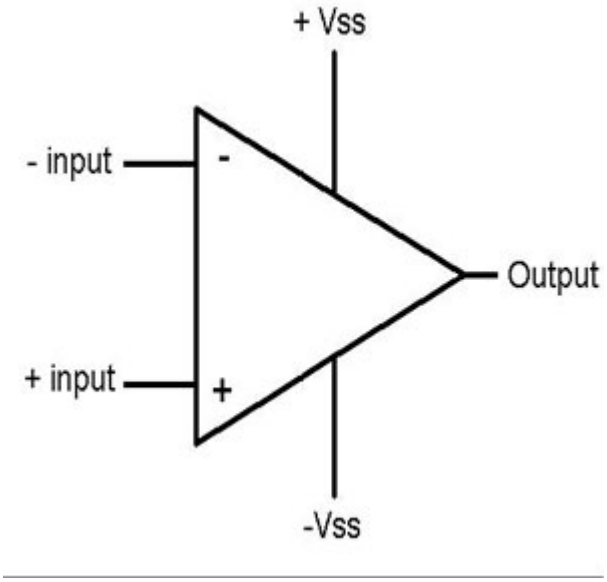
تقویت کننده های عملیا تی

تقویت کننده های عملیاتی به اختصار آپ امپ نامیده می شو ند.و به صورت مدار مجتمع در دسترس می باشند.این تقویت کننده ها از پایداری بالایی برخوردارند.، و با اتصال ترکیب مناسبی از عناصر خارجی مثل مقاومت،خازن،دیود و غیره به آنها،می توان انواع عملیات خطی و غیر خطی را انجام داد .



از ویژگیهای اختصاصی تقویت کننده های عملیا تی ورودی تفاضلی ،بهره بسیار زیاد ومقاومت ورودي بسیار بالا است .

این المان الکترونیکی اختلاف میان ولتاژهای ورودی در پای های مثبت و منفی را در خروجی با تقویت بسیار بالایی آشکار می سازد.
حتی اگر این اختلاف ولتاژ کوچک نیز باشد.،آنرا به سطح قابل قبولی از ولتاژ در خروجی تبدیل می کند.
به شکل مداری این المان در روبه رو توجه کنید .

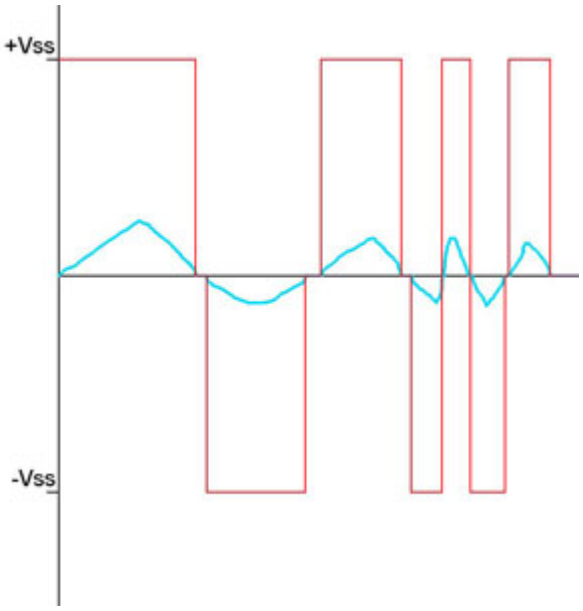
این المان همواره دارای دو پایه مثبت و منفی در ورودی است،این دو پایه ورودی مستلزم یک پایه در خروجی هستند .
پایه ورودی مثبت را در اصطلاح لاتین noninverting و پایه منفی را inverting می گویند .

نحوه عملکرد op_amp

این المان بسته به وضعیت پایه های ورودی و خروجی دارای شرایط و عملکرد متفاوتی خواهد شد که در زیر به توضیح راجب این وضعیت ها می پردازیم .

اگر noninverting < inverting باشد.خروجی به سمت منفی VSS اشباع می شود.منظور از منفی VSS مقدار منفی ولتاژ تغذیه آیسی است. مثلا اگر ولتاژ ورودی ۵ ولت باشد و ورودی پایه منفی دارای ولتاژی بزرگتر از ورودی پایه مثبت باشد.خروجی به سمت منفی ۵ ولت به اشباع می رود .

اگر noninverting > inverting باشد.خروجی به سمت مثبت VSS اشباع می شود.مثلا اگر تغذیه آیسی ۵ ولت باشد.و ورودی پایه مثبت دارای ولتاژی بزرگتر از پایه منفی باشد.خروجی به سمت مثبت ۵ ولت به اشباع می رود.به شکل توجه کنید این شکل گویای همه مطالب است.همانطور که مشاهده می کنید.،هر جا که اختلاف ولتاژ ورودی مثبت باشد.خروجی به اشباع مثبت VSS می رود.و همچنین هر جا که اختلاف ولتاژ ورودی منفي با شد خروجی به منفی VSS می رود .
منظور از اختلاف ولتاژ ،اختلاف بین ورودی هاي مثبت و منفی است .مي توان منبع را فقط به يكي از پايه ها متصل كرد و ديگري را گراند نمود.اگر ورودي به پايه منفي متصل گردد خروجي با ورودي ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارد اما اگر به پايانه مثبت متصل گردد ورودي با خروجي هم فاز است.



بدون قرار دادن فیدبک از خروجی به ورودی، ماکزیمم اشباع در خروجی با کمترین اختلاف ولتاژ در پایه های مثبت و منفی ورودی بوجود می آید.در این حالت مدار شما بسیار نویز پذیر است .

در حالت ایده آل منظور حالت غیر عملی است.،در این حالت op-amp ها دارای مقاومت ورودی بی نهایت تقویت سیگنال ورودی در خروجی به صورت بی نهایت و مقاومت خروجی صفر هستند .

در حالت واقعی گین یا تقویت بین ولتاژ های مثبت و منفی ورودی محدود می شود .

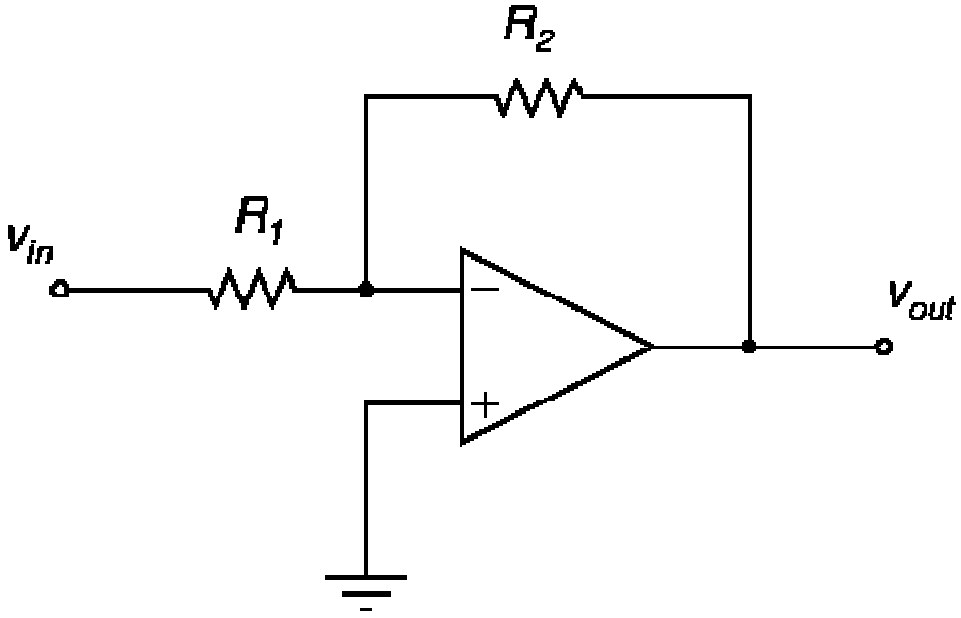
بین پایه های ورودی و خروجی آپ امپ جریانی وجود نداردیعني آپ امپ هیچ گونه جرياني از مدار نمي كشد.و این تنها ولتاژ ورودی است که خروجی را کنترل می کند .

استفاده از فیدبک در آپ امپ

با استفاده از فیدبک می توانید میزان تقویت ولتاژ های ورودی در خروجی را تعیین کنید.فیدبک می تواند.،از خروجی به هر یک از پایه های مثبت و منفی صورت گیرد.در آپ امپ اغلب فیدبک از خروجی به پایه منفی صورت می گیرد این نوع فیدبک را فیدبک منفی یا negative feedback می نامند .
با استفاده از فرمول زیر می توانید. میزان تقویت یا گین (gain)را در این نوع از فیدبک به راحتی محاسبه کنید .

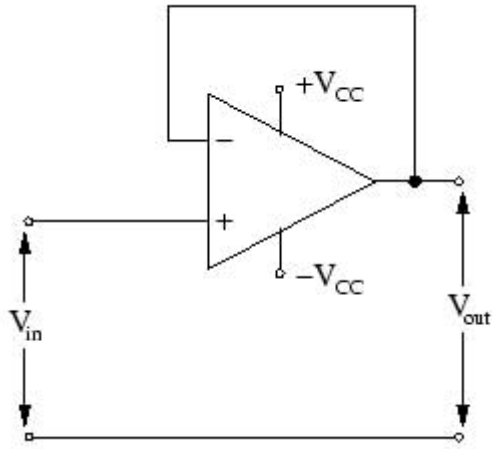
$$GAIN = 1 + Rf/Rin$$

در فرمول فوق Rf همان مقاومت فیدبک است.که در شکل زیر با نام R2 و از خروجی به پایه منفی ورودی زده شده است.منظور از Rin نیز مقاومت ورودی است.،که در شکل زیر با نام R1 می باشد .



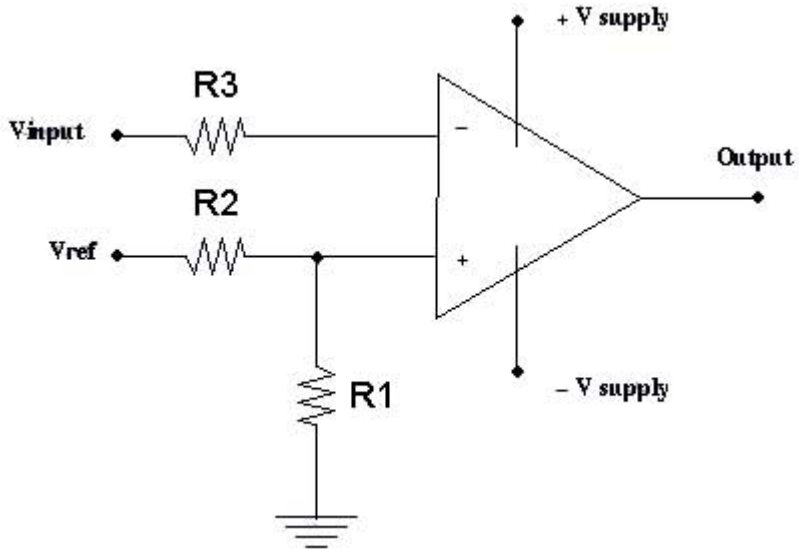
بنابر فرمول فوق اگر Rf برابر صفر باشد دیگر تقو یتی وجود ندارد.،و GAIN برابر یک می شود.در این حالت ولتاژ خروجی برابر ولتاژ ورودی است.در این وضعیت آپ امپ تنها به صورت یک بافر مجزا کننده یا ISOLATE کننده جریان

ورودی از خروجی عمل می کند.شکل زیر نشان می دهد چگونه خروجی بدون استفاده از مقاومت به پایه منفی ورودی فیدبک زده شده است .(مانند ترانسي که تعداد دور هاي اوليه و ثانويه برابر دارد).



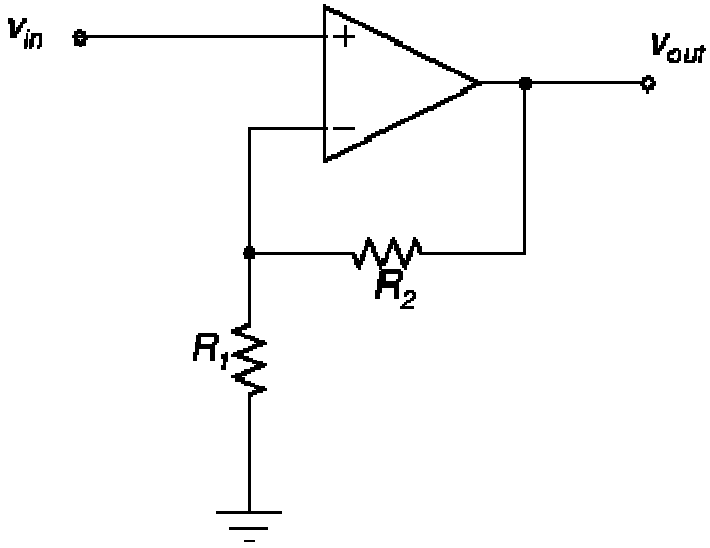
آپ امپ در حالت مقایسه گری یا Comparator

در این حالت کوچکترین اختلاف بین ولتاژ های ورودی تقویت شده و در خروجی نمایان می شود .
در این وضعیت خروجی زمانی high یا سوییچ می شود.که مقدار ولتاژ در پایه inverting یا منفی به سطح ولتاژ در پایه noninverting یا مثبت برسد.این ولتاژ در شکل زیر برابر vref است .
از این نوع مدار جهت مقایسه ولتاژ های ورودی به خصوص در سنسورها استفاده می شود .
در این مدار به جای مقاومت R2 می توانید از پتانسیومتر جهت تعیین ولتاژ Vref و تنظیم آن به صورت دلخواه استفاده کنید .(از این مدار در درایو کردن سنسورهاي ربات نیز استفاده میگردد)



تقویت کننده مستقیم (noninverting amplifier)

در این حالت ورودی منفی یا inverting توسط مقاومت R1 زمین می شو د.و فیدک نیز از خروجی توسط مقاومت R2به ورودی منفی فیدبک داده می شود.در این حالت خروجی کاملا هم فاز با ورودی خواهد بود .



تغذیه Op-Amp

در بعضی موارد Op-Amp ها نیاز به دو منبع تغذیه مثبت و منفی دارند .
اگر ما مایل باشیم که تنها از خروجی مثبت آپ امپ استفاده کنیم.در واقع منظور ولتاژ های مثبت در خروجی است.در این حالت می بایست منفی Vss را به زمین متصل کنیم.ولتاژ مثبت را تنها به پایه تغذیه مثبت وصل کنیم .
در این حالت شما بایستی از دو باطری یا از یک منبع تغذیه دوتایی مثبت و منفی استفاده کنید .
در لینک زیر می توانید.یک مدار ساده تغذیه دوبل را تجربه کنید .

نکاتی راجب به Op-Amp

هیچگاه تغذیه مثبت و منفی آپ و امپ را به صورت معکوس وصل نکنید زیرا با این کار Op-Amp خواهد سوخت براي اینکه خیال خود را از این بابت راحت کنید میتوانید در ورودي يك ديود قرار دهید .
تغذیه ورودی های مثبت و منفی می بایست.از مقادیر ورودی در پایه های inverting و noninverting بیشتر باشد.سیگنال های ورودی و خروجی را توسط خازنهای ۰,۱ ufتا ۱,۰ ufزمین کنید تا از تاثیر نویز در مدار خود جلوگیری کنید .

در حالت ایده آل آپ امپ ها دارای مقاومت ورودی بالا و در نتیجه جریان ورودی در حد صفر و مقاومت خروجی صفر می باشند.همچنین در این حالت ولتاژ در ورودی های مثبت و منفی با یکدیگر مساوی هستند .

$$V- = V+$$

حالت های مختلف بستن Op-Amp

تقویت کننده معکوس (Inverting Amplifier)

با توجه به اینکه $V+$ زمین شده است. بنابراین $V+ = 0$ است.در حالت ایده آل $V- = V+$ است.در نتیجه

$V- = 0$ می شود .

با توجه به بالا بودن مقاومت ورودی آپ امپ در پایه منفی و با توجه به قوانین گره می توان نتیجه گرفت .

$IZ1 = IZ2$ (منظور از IZ1 جریان امپدانس یا مقاومت Z1 می باشد)
می شود.در واقع در اینجا فرض کردیم IZ1 جریان وارد شونده به گره موجود در پایه منفی آپ امپ است.و IZ2 جریان خارج شونده از این گره است .
با توجه به قانون اهم و جهت جریان و صفر بودن جریان ورودی در آپ امپ رابطه زیر را برای IZ1 و IZ2 داریم .

$$IZ2 = (VS/Z1)$$

$$IZ2 = -(Vout/Z2)$$

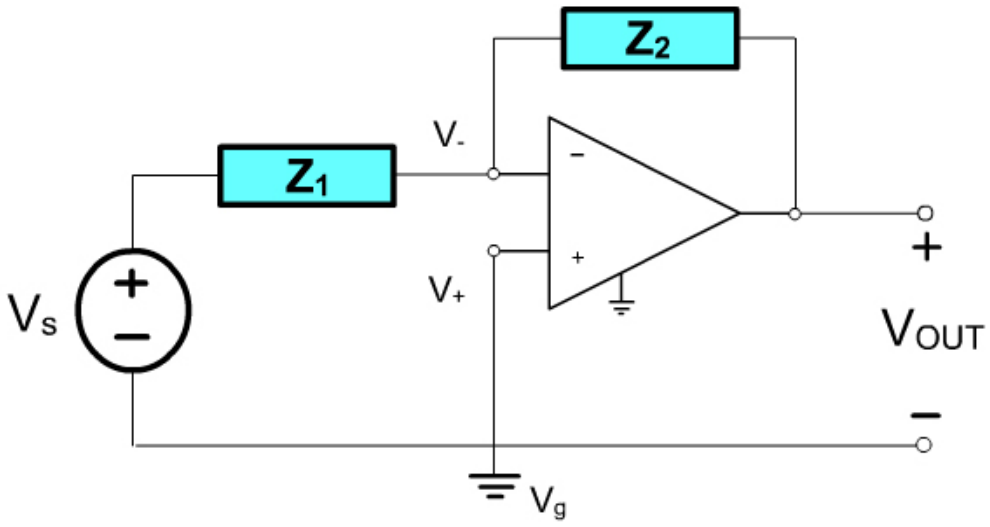
منفي به خاطر اينكه خروجي ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارد

$$VS/Z1 = -Vout/Z1$$

با توجه به فرمول فوق و تساوی IZ1 و IZ2 رابطه زیر بدست می آید .

$$Vout = -(Z2/Z1Vs)$$

اگر مقاومت فیدبک و مقاومت ورودی یکسان باشند.،مقدار گین برابر منفی یک می شود.در این حالت آپ امپ به صورت یک بافر NOT یا معکوس عمل می کند .



تقویت کننده مستقیم

در این حالت برعکس حالت قبلی تحریک آپ امپ از پایه مثبت صورت می گیرد.همانطور که در شکل زیر مشخص است. $V+ = VS$ است .
با توجه به هم پتناسیل بودن پایه های ورودی منفی و مثبت در حالت ایده آل داریم

$$V- = VS$$

با در نظر گرفتن قانون اهم $I = V/R$ در مورد جریان IZ2 رابطه زیر را داریم

$$IZ2 = (Vout - V1)/Z2$$

همانطور که دیدید $V- = V1 = VS$ می باشد.در نتیجه فرمول فوق به صورت زیر ساده می شود .

$$IZ2 = (Vout - VS)/Z2$$

$$IZ1 = (V1 - 0)/Z1$$

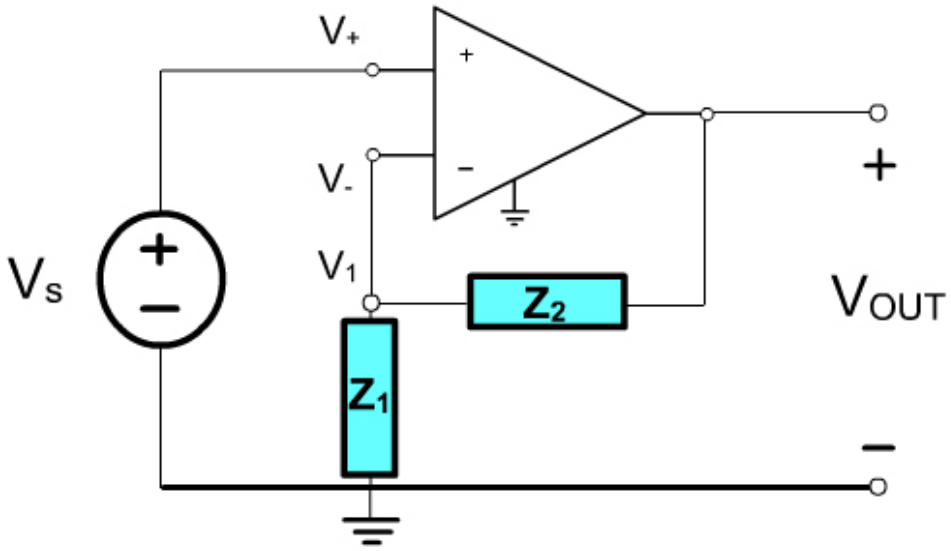
با توجه به قوانین گره و صفر بودن جریان ورودی آپ امپ در حالت ایده آل و روابط فوق رابطه زیر را داریم

$$(Vout - VS)/Z2 = VS/Z1$$

با ساده کردن رابطه فوق داریم

$$Vout = (1 + Z2/Z1)VS$$

در این حالت خروجی مضرب مثبتی از ورودی است .

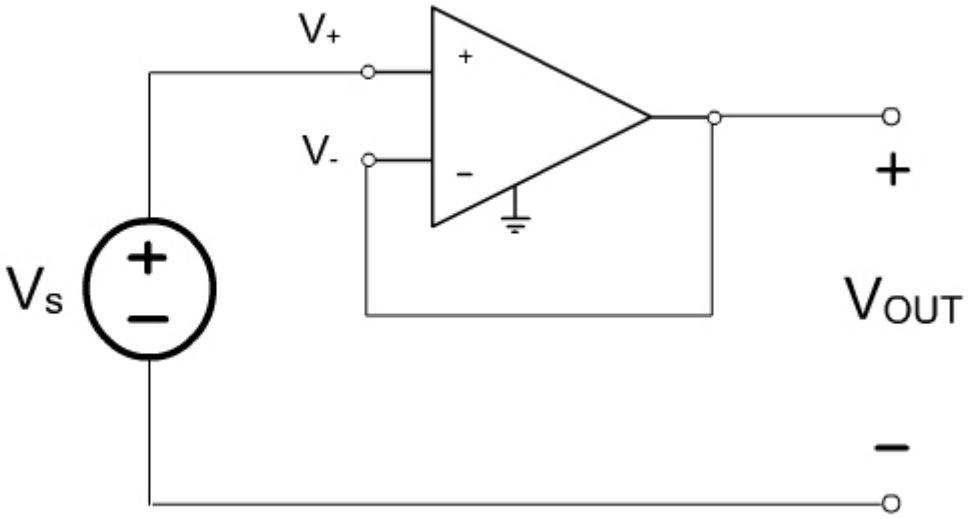


دنبال کننده و لتاژ

در یک آپ امپ ایده آل که به صورت زیر بسته شود.ولتاژ ورودی VS با ولتاژ خروجی برابر می شود.در این حالت به دلیل امپدانس بالای ورودی در آپ امپ ها ولتاژ خروجی با وجود برابری با ولتاژ ورودی ولی کاملا از جریان ورودی مجزا یا ایزوله شده است .

همانطور که گفته شد.،در آپ امپ ایده آل $V- = V+$

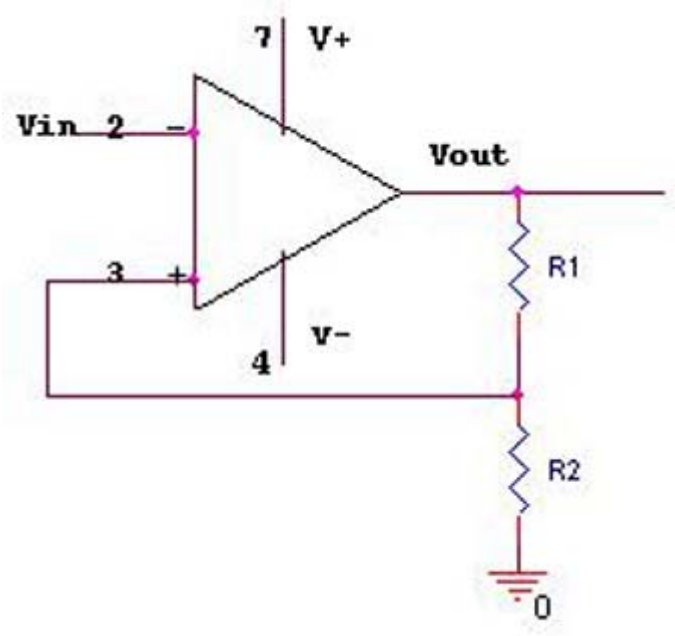
همانطور که در نقشه ملاحظه می کنید. $V+ = VS$ در این حالت جریان از پایه مثبت به پایه منفی می رود.،و از آنجا به خروجی می رود.در این حالت $V- = Vout$ می شود.و در نهایت $VS = Vout$



تقویت کننده ولتاژ به جریان

در این حالت جریان ایجاد شده در بار مقاومتی متناسب با ولتاژ ورودی است.به دلیل مقاومت ورودی بسیار بالا در آپ امپ ها می توان از جریان ورودی آپ امپ ها صرفنظر کرد.بنابراین جریان خروجی از رابطه زیر محاسبه می شود .

$$Iout = Vin/R2$$

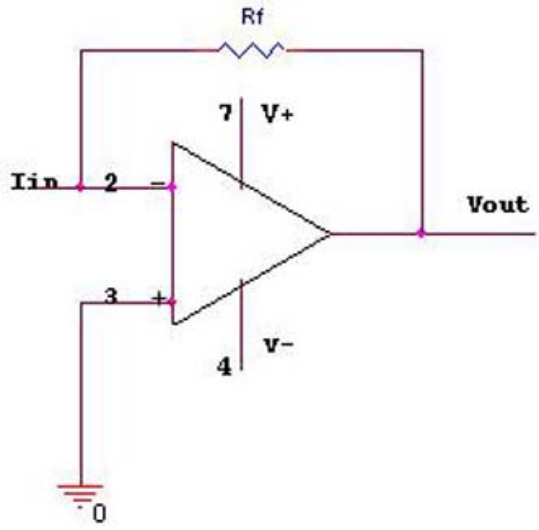


تقویت کننده جریان به ولتاژ

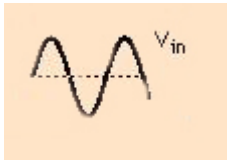
از این مدار جهت تقویت جریانهای خیلی کوچک در حد میکرو آمپر و تبدیل آن ها به ولتاژ های مناسب و خیل بیشتر از میکرو استفاده می شود .

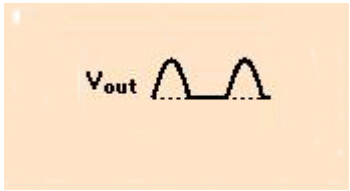
با استفاده از فرمول زیر می توانید.مقدار ولتاژ خروجی را محاسبه کنید .

$$Vout = -Iin * Rf$$

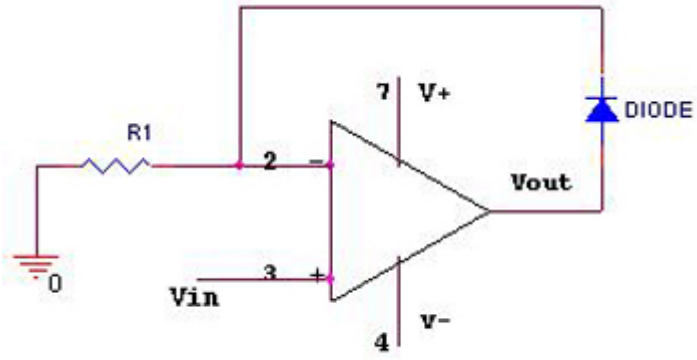


مدار نمونه با استفاده از دیود





همانطور که در شکل زیر مشاهده می کنید.مسیر فیدبک توسط دیود ایجاد می شود.اگر شکل موج ورودی سینوسی باشد.این شکل موج را با عبارت Vin در کنار شکل می توانید در شکل بالا مشاهده کنید.خروجی این آپ امپ در حالتی که ولتاژ ورودی در سیکل منفی باشد.،نزدیک به صفر است.که با صرفنظر کردن از این مقدار نزدیک به صفر آنرا صفر در نظر می گیرند .
در این حالت ولتاژ های کمتر از ولتاژ هدایت دیود را از سیگنال ورودی در حالت عملی در خروجی نخواهیم داشت .



مدار انتگرال گیر

همانطور که در شکل زیر مشاهده می کنید.زمانیکه لبه بالارونده پالس را در ورودی منفی این آپسی داشته باشیم.، ولتاژ در پایه منفی بیشتر از ولتاژ در پایه مثبتی است.که زمین شده است.در این حالت آپ امپ به صورت معکوس کننده عمل می کند .
همانطور که می دانید.انتگرال شکل موج مربعی به صورت مثلثی است.شیب این شکل موج در لبه بالا رونده منفی و در لبه پایین رونده مثبت می شود .
می توانید شکل موج مربعی را توسط آپسی ۵۵۵ ایجاد کنید.و شکل موج مثلثی را در اسیلسکوپ ببینید .

در حالت ایده آل همانطور که می دانید. $V- = V+$
با توجه به قوانین مربوط به گره،جریان های وارد شونده به یک گره با جریان های خارج شونده از گره برابر هستند.این قانون تحت عنوان kcl نامیده می شود.بنابراین رابطه زیر را خواهیم داشت .

$$IR1 = I- + Ic2$$

همانطور که گفته شد به دلیل مقاومت ورودی بالا در آپ امپ می توانید از جریات $I-$ صرفنظر کنید .
بنابراین رابطه بالا به صورت زیر ساده می شود .

$$IR1 = Ic2$$

با توجه به قانون اهم جریان گذرنده از مقاومت IR1 به این صورت به دست می آید. $IR1 = (VS - V-)/R1$ با توجه ب اینکه در حالت ایده آل $V- = V+$ و $V+$ برابر صفر است. $V- = 0$ می شود .

و رابطه مربوط به جریان در بالا به این صورت ساده می شود. $IR1 = VS/R1$

رابطه مربوطه به جریان خازن به صورت زیر می باشد.در این رابطه جریان خازن با حاصلضرب ظرفیت خازن بر حسب فاراد در مشتق زمانی ولتاژ خازن بدست می آید .

$$IC(t) = C2d/dtVc(t)$$

بر اساس این رابطه و جهت جریان عبارت مربوط به جریان خازن به صورت زیر به دست می آید .

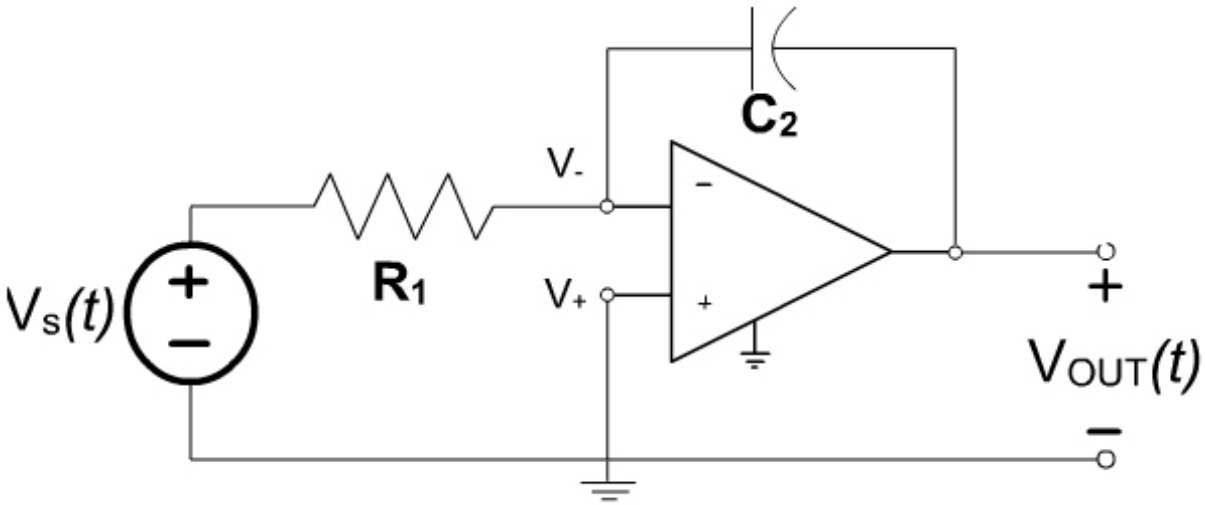
$$Ic(t) = C2d/dt(V - -Vout)$$

با توجه به صفر بودن $V-$ رابطه بالا به صورت روبرو ساده می شود. $Ic(t) = -C2d/dtVout$

بنابر روابط مربوط به kcl که گفته شد.رابطه زیر را خواهیم داشت .

$VS(t)/R1 = -C2d/dtVout$ با ساده کردن این رابطه خواهیم داشت. $d/dtVout = VS(t)/(R1C2)$

همانطور که می دانید.انتگرال از مشتق برابر خود عبارت می شود.پس برای بدست آوردن خروجی از دو طرف تساوی انتگرال می گیریم .
در این حالت خروجی برابر انتگرال حاصل تقسیم ورودی بر حاصلضرب مقاومت در ظرفیت خازن خواهد شد .
در این حالت اگر شکل موج ورودی به صورت مربعی باشد شکل موج خروجی به صورت مثلثی خواهد بود .



مدار مشتق گیر

اگر در محل اتصال خازن با پایه ۲ آپ امپ مطابق شکل از قوانین مربوط به kcl استفاده کنید.همانطور که می دانید بر اساس قوانین kcl جریان های وارد شونده به یک گره با جریان های خارج شونده از گره برابرند.در این گره ای که مطرح شد.،۳ جریان وجود دارد.،یک جریان را جریان خازن در نظر بگیرید.،که به گره وارد می شود.دو جریان دیگر از گره خارج می شوند.یک جریانی که وارد پایه منفی آپ امپ می شود.و جریانی که وارد مقاومت R2 در خروجی می شود.بنابراین فرمول زیر را خواهیم داشت .

$$Ic = I - +IR2$$

به دلیل مقاومت ورودی بالا در آپ امپ و در حالت ایده آل می توانیم از جریان در پایه منفی آپ امپ صرفنظر کنیم بنابراین داریم
در واقع بنابر فرمول زیر همان جریانی که از خازن در ورودی می گذرد وارد خروجی نیز می شود .

$$Ic = IR2$$

فرمولی که می توان در مورد جریان خازن وجود دارد.به صورت زیر است .
در این فرمول c ظرفیت خازن بر حسب فاراد است t.نیز در این عبارات بیانگر این است.که این فرمول بر حسب زمان می باشد .
d/dtنیز همانطور که می دانید علامت مشتق گیری است.بنابراین جریان گذرنده از خازن از حاصلضرب ظرفیت خازن در مشتق زمانی ولتاژ بدست می آید .

$$Ic(t) = cd/dtVc(t)$$

جریان گذرنده از مقاومت فیدبکی R2 نیز از رابطه زیر محاسبه می شود .

$$IR2 = (V - -Vout)/R2$$

در حالت ایده آل $V- = 0$ می باشد.بنابراین $IR2 = -Vout/R2$

بنابر روابط فوق راطه زیر را خواهیم داشت .

$$-Vout/R2 = cd/dtVc(t)$$

با ساده کردن عبارت فوق خواهیم داشت.همانطور که می بینیدخروجی از مشتق ورودی حاصل می شود .

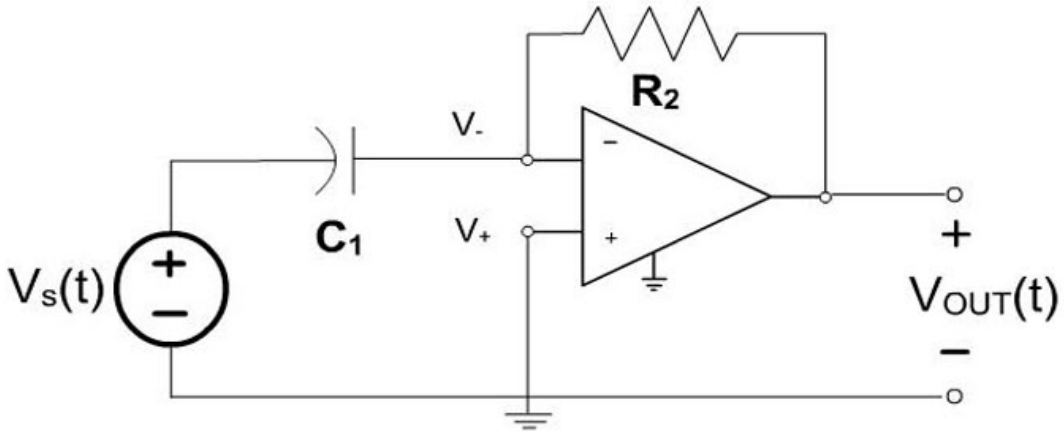
$$-Vout = R2cd/dtVc(t)$$

در شکل مثلثی ورودی مربوط به مشتق گیر.،هر جا که شیب خط مثلثی شکل زاویه ای حاده باشد لبه بالا رونده پالس را خواهیم داشت.،و هر جا که این زاویه منفرجه یا باز باشد.لبه پایین رونده پالس را خواهیم داشت .
اگر شکل موج ورودی سینوسی باشد.مشتق آنرا در نظر بگیرید.وسپس به خاطر علامت منفی که در فرمول بدست آوردید.آنرا معکوس کنید .

$$d/dtsin(at) = -acos(at)$$

علامت منفی این عبارت با منفی فرمول بالا مثبت می شود.بنابراین در این حالت شکل موج خروجی همسان با شکل موج ورودی و جلوتر از آن ایجاد می شود.علت جلوتر بودن آن ضریب a است.که در مشتق مشاهده می کنید.این شکل موج ها را براحتی می توانید در اسیلسکوپ مشاهده کنید .

اگر شکل موج ورودی مربعی باشد.،همانطور که می دانید مشتق تابع پله ای تابع ضربه ای می شود. بنابراین در خروجی هنگامیکه لبه بالارونده پالس وجود داشته باشد.، یک پالس نوک تیز به سمت بالا خواهیم داشت.و هنگامیکه لبه پایین رونده پالس را داشته باشیم.این پالس نوک تیز به سمت پایین خواهد بود .



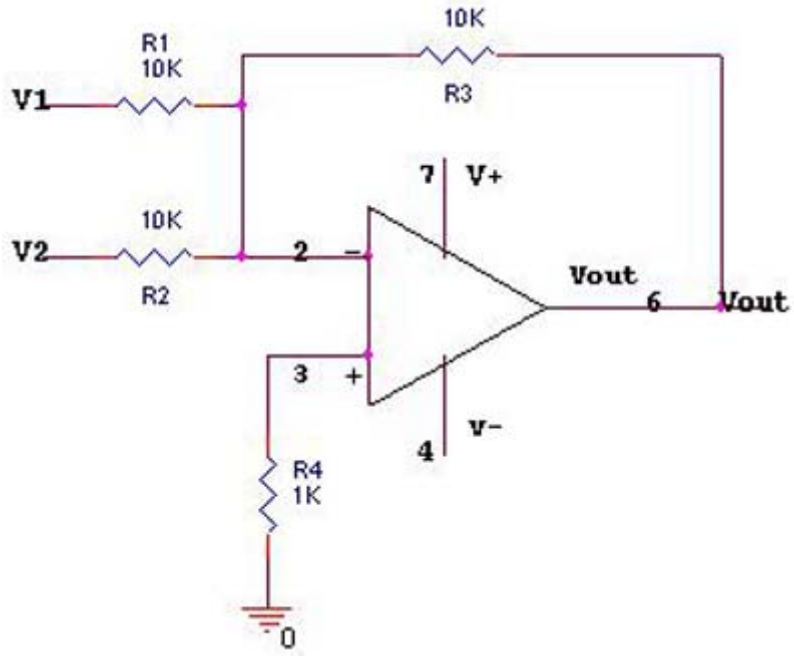
مدار جمع کننده

با توجه به مقاومت ورودی بالا در آپ امپ جریان هر یک از مقاومت ها در ورودی و جریان خروجی از رابطه زیر بدست می آید.علامت منفی نیز به خاطر این است که تحریک ولتاژ از پایه منفی صورت گرفته است .

$$(V1/R1 + V2/R2 = -Vout/R3$$

اگر مقاومت های R1 ، R2و R3 با یکدیگر برابر باشند.فرمول بالا به صورت زیر محاسبه می شود .

$$-(Vout = (V1 + V2))$$



مدار تفریق کننده

اگر آپ امپ را ایده آل فرض کنید.در واقع مقاومت ورودی آنرا بی نهایت و ولتاژ در دو پایه مثبت و منفی آنرا یکسان در نظر بگیرید .روابط زیر را جهت محاسبه ولتاژخروجی خواهیم داشت .

$$V- = V+$$

مقدار ولتاژ در مقاومت R3 به صورت زیر محاسبله می گردد.در اینجا از قانون تقسیم ولتاژ در مقاومت های سری استفاده شده است.اگر به شکل نگاه کنید.این دو مقاومت سری نیستند. اما به دلیل بالا بودن مقاومت وردی آپ امپ و صفر بودن جریان ورودی می توان دو مقاومت را سری در نظر گرفت .

$$VR3 = (V2 * R3/(R1 + R3))$$

$VR3 = V+$ همانطور که در شکل می بینید.

و همانطور که گفته شد.در حالت ایده آل $V- = V+$ است.بنابراین همانطور که در شکل می بینید $VA = V-$ است .

از روابط گفته شده می توان نتیجه گرفت.،که $VA = VR3$ است .

با توجه به اینکه جریان های وارد شده به یک گره با جریان خارج شونده از آن گره برابر است.،بنابراین اگر شما در شکل زیر گره VA را در نظر بگیرید.جریان خارج شونده از آن به سمت ورودی منفی آپ امپ به دلیل مقاومت بالا ورودی آپ امپ نزدیک به صفر خواهد بود.،که در محاسبات صفر در نظر می گیرند.این کاهش جریان و نزدیکی آن به صفر را می توان با رابطه قانون اهم به راحتی فهمید .

$V = R * I$ بر اساس این قانون هر چه قدر جریان بیشتر شود.مقاومت کمتر خواهد شد.چرا که همانطور که در فرمول می بینید. می توانید مقاومت را در کسر در زیر ولتاژ بیاورید.و جریان را به صورت مجزا در یک طرف تساوی داشته باشید.حال هر چه قدر مقاومت را بیشتر کنید.این کسر کوچکترمی شود.،و جریان کمتر می شود .

با توجه به مسایل گفته شده جریان در مقاومت R1 برابر $(V1 - VA)/R1$

جریان در مقاومت R3 نیز از رابطه زیر بدست می آید

$$(Vout - VA)/R3$$

با توجه به قوانین مربوط به گره اگر هر دو جریان را وارد شونده به گره VA در نظر بگیرید.رابطه زیر را خواهیم داشت.

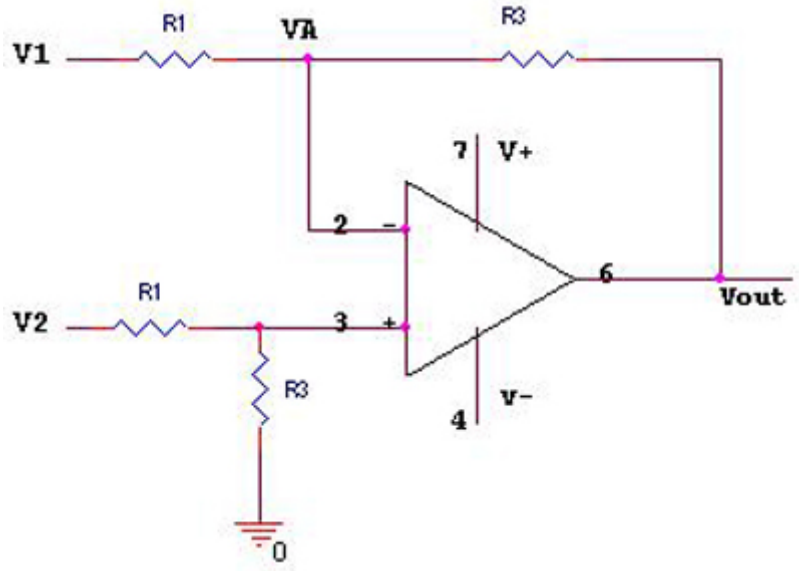
$$(V1 - VA)/R1 = -(Vout - VA)/R3$$

با ساده کردن این رابطه و جاگذاری VA با عبارت مربوط به VR3 که مساوی VA بدست آمد.رابطه نهایی زیر را خواهیم داشت .

$$1/R1 * (V1 - V2) = -VouT/R3$$

اگر دو مقاومت R1 و R3 با یکدیگر مساوی باشند.رابطه زیر را خواهیم داشت.،که بیانگر عمل تفریق است .

$$Vout = V2 - V1$$



گردآورنده : امین شیخ نجدی

email : aminnima2@gmail.com

www.esud83.mihanblog.com

mobile: 09166420367