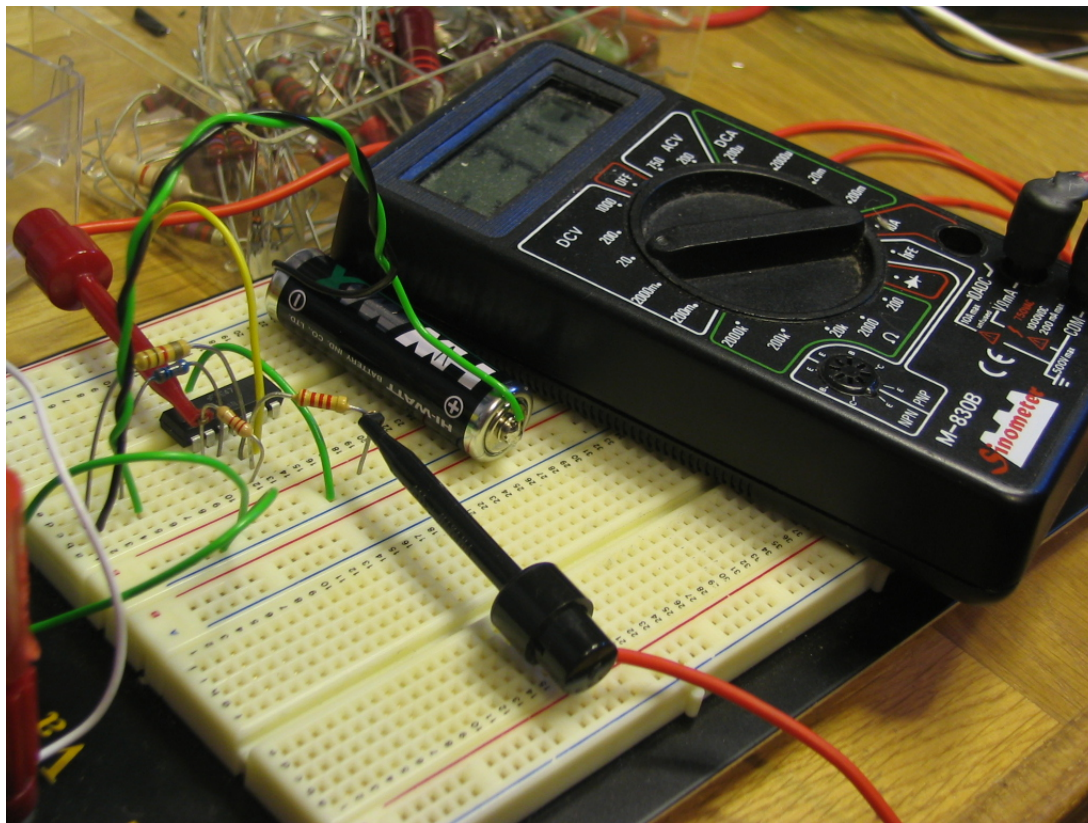


Operationsförstärkarens grundkopplingar.

Vi har i tidigare artikel bekantat oss med operationsförstärkaren som komparator. Här tittar vi närmare på OP-förstärkaren som just förstärkare.



Finessen med op-förstärkaren är att förstärkningen kan ses som oändlig, i och med detta behöver vi inte bry oss om själva förstärkarkretsen, utan kan koncentrera oss på förstärkaren som systemkomponent.

Som amatörer är det smidigt att känna till de tre standardkopplingar vi använder kretsen i.

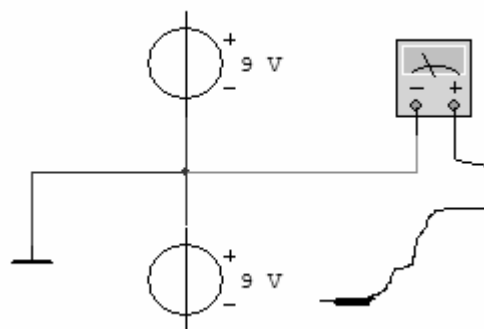
Nämligen, icke inverterande, inverterande och balanserad förstärkare. Den sista är inte helt balanserad utan mer som en aktiv Balun, dvs. Balanserad ingång och obalanserad utgång.

Kan vi använda och förstå dessa blir mycket av vårt kopplande mycket enklare. Ingången till att förstå op-förstärkaren är att förstå hur den strömförsörjs, huvuddelen av kopplingarna blir väldigt enkla om vi kan hantera dubbel matningsspänning. Men någon protesterar säkert att det finns kretsar för enkel matningsspänning. Visst det, men de enkla typkopplingarna är klart enklare att förstå med dubbel matningsspänning. Dessutom kan vi arbeta med förstärkaren som DC-förstärkare där de flesta av oss har voltmeter som har upplösning på hundradels volt.

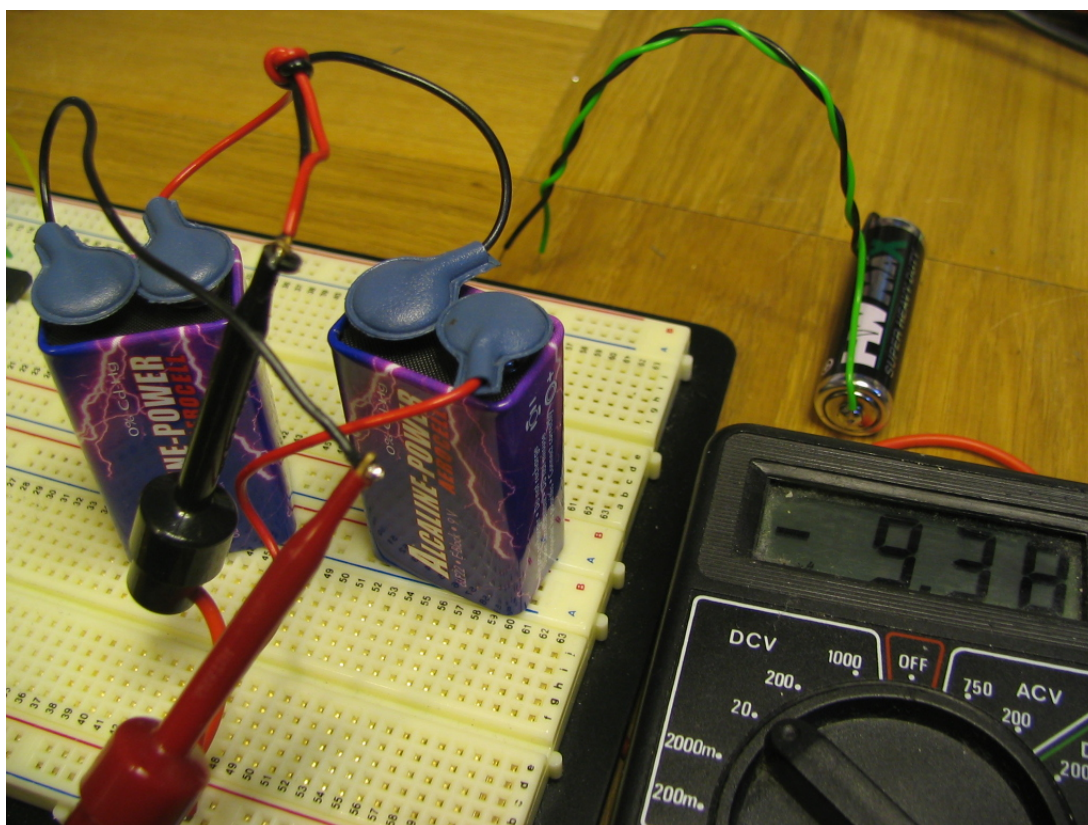
Dubbel matningsspänning.

Detta låter krångligt för många, men skaffa två 9-volts batterier med anslutningskontakter, vill man slippa att köpa kontakter till batterierna gör vi så att när batterierna är slut så "återanvänder" vi batterianslutningen innan vi kastar batteriet till returen. Det är inte fel att vara lite "snål" ibland.

Anslut nu plus från det ena batteriet till minus på det andra batteriet, denna hopkoppling av en pluspol med en minuspol blir vår "jord", dvs vår referenspunkt för hela kopplingen som skall växa fram.



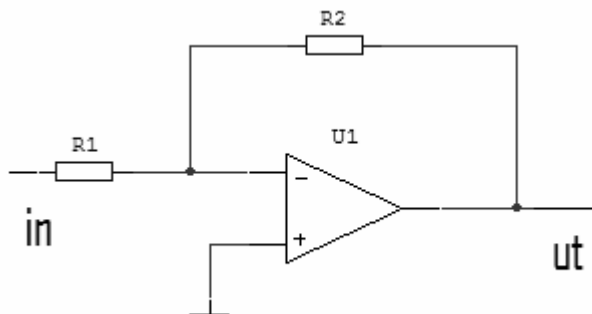
Om vi nu ansluter terminalen märkt "common" på vår voltmeter till denna jordpunkt mellan batterierna så kommer vi att mäta +9 V respektive -9 V på de andra batteripolerna. Vi har alltså byggt en "nätdel" med dubbel matningsspänning +/- 9 V.



Så ser batterikopplingen ut i "verkligheten". Plus från det vänstra batteriet är förbunden med minus från det högra batteriet, dessa sladdar är sedan kopplingens jord och kan här även kallas "0 volt". Mäter vi sedan med vår voltmeter på det vänstra batteriets minuspol skall vi se -9 volt på vår voltmeter. Och på den kvarvarande polen på det högra batteriet mäter vi +9 volt. I bakgrunden ser vi vår "generator", ett 1.5 V batteri med partvinnad kabel.

Inverterande förstärkare.

Den enklaste förstärkaren att bygga är den inverterande. Den kallas inverterande för att vi matar in signalen på minusingången och därmed får vi en förstärkt signal fast med omvänt tecken.

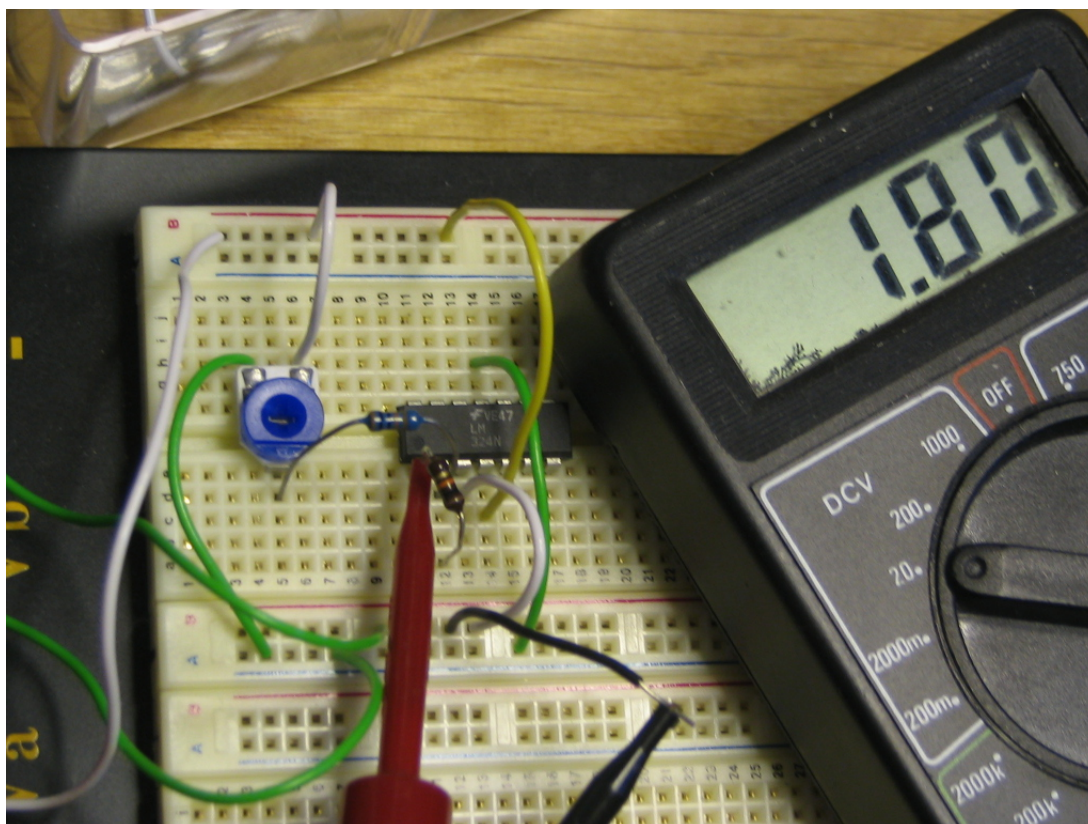


Eftersom kretsens förstärkning kan ses som oändlig, så bestäms förstärkningen endast av förhållandet mellan de två motstånden R1 och R2. Vi skriver förstärkningen som $A = -R2/R1$, minusteknet kommer av att det är en inverterande förstärkare.

Ingångsresistansen på en förstärkarkoppling som denna blir lika med R1, det kommer också av det faktum att vi sätter förstärkningen som "oändlig".

Om förstärkningen är oändlig kommer den signal som behövs för att få en utsignal att vara "oändligt liten". Insignalen i en op är alltid skillnaden mellan + och - ingångarna, och då + ingången är ansluten till jord och skillnaden mellan + och - är "oändligt liten" så kommer R1 att se ut som om den var ansluten till jord.

Alltså kommer en signal in i förstärkaren ett känna att R1 är ansluten till jord.

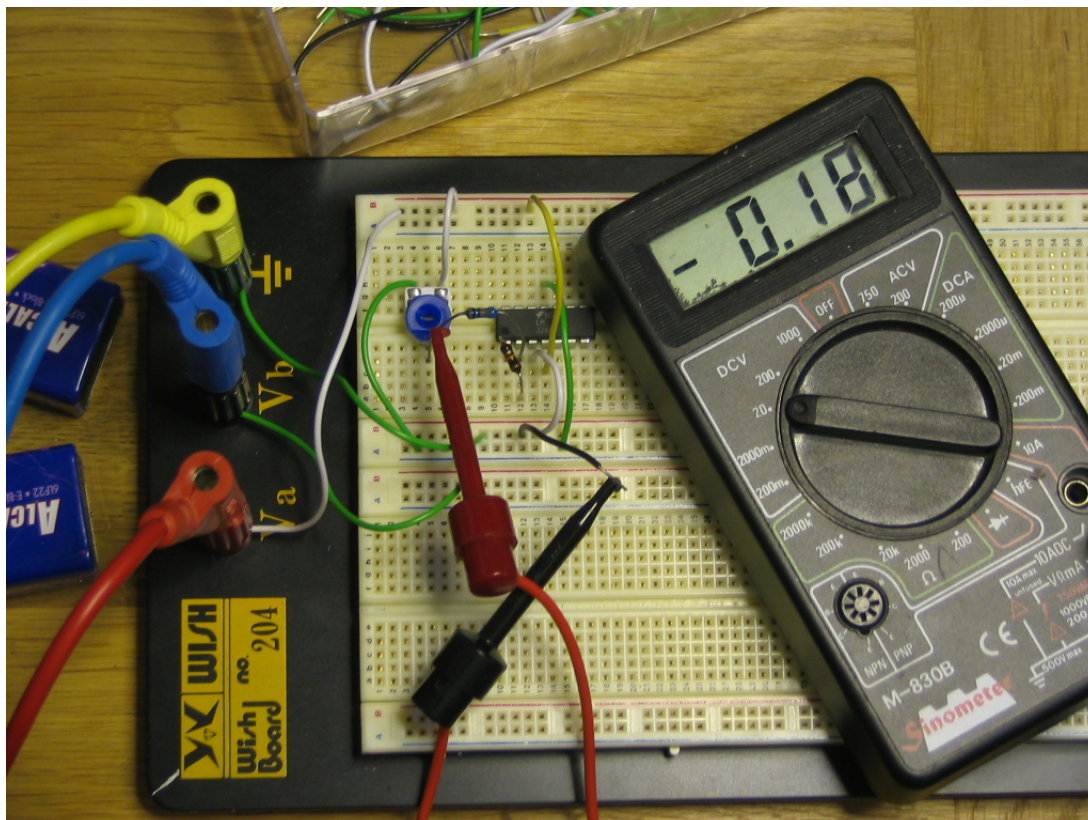


Den här beskrivna inverterade förstärkaren uppkopplad i ett kopplingsbord. Två motstånd som bestämmer förstärkningen, och en trimpotentiometer som genererar insignalen. Instrumentet visar här utsignalen + 1.80 V

Matar vi in 0.5 V DC in i förstärkaren så får vi ut -5 V DC på förstärkarens utgång om vi har tio gångers förstärkning.

Det roliga är att det blir exakt 10 ggr förstärkning om vi låter $R1 = 1 \text{ kohm}$, och $R2 = 10 \text{ kohm}$.

Som insignal använder vi en potentiometer på ca. 10 kohm som vi ansluter mellan plus och minus och tar ut insignalen från löparen på potentiometern.



Här har vi flyttat den röda klämman till förstärkarens ingång, om vi har valt motstånd som är 1 och 10 kohm så kommer som synes förstärkningen att bli exakt 10 gånger. Inte behövs det några komplicerade instrument heller, det visade instrumentet är inköpt hos en av våra större hobbykedjor för 89 kr. Skulle vi däremot mätta med växelspanningar så hade instrumentets två mätområden 200 & 750 VAC inte givit oss mycket resultat.

När vi mäter insignal och utsignal så skall vi mäta med jorden ansluten till "common" på vår multimeter, vi behöver då bara flytta pluspolen på multimetern mellan in och ut, och vi kommer alltid att få tecknet (+/-) rätt.

"Exakt förstärkning"

Mäter vi insignalen med vår voltmeter säg 0.348 V, kommer vi att få exakt -3.48 V som utsignal.

Vill vi vara mer noggranna så mäter vi våra motstånd innan vi kopplar in dem. Säg att vi mäter $R1 = 1.03 \text{ kohm}$ och $R2 = 9.89 \text{ kohm}$. Förstärkningen A blir då $-9.89/1.03 = -9.60$

Med samma insignal 0.348 får vi $0.348 \times -9.60 = -3.34 \text{ V}$.

Det är alltid trevligt att koppla när mätvärden stämmer med beräkningar, och med op-förstärkare stämmer det väldigt bra. Dessutom är ofta även mycket enkla digitala multimetrar förbluffande stabila även för små värden på DC-spänning, vilket gör det enkelt att se viktiga samband.

Prova att byta ut R2 mot säg 2.2 kohm och kontrollera att förstärkningen blir -2.2 ggr. Genom att testa med olika motstånd så lär vi oss att lita på vår voltmeter och på vår egen förmåga att tolka mätvärden.

Notera att utsignalen aldrig kan bli större än matningsspänningen, försök att inte ha för mycket förstärkning, vid förstärkningar under 25 ggr så brukar det funka bra utan ”konstiga” värden. Börjar vi försöka att testa förstärkningar på 50 – 200 ggr så uppträder olika fenomen som mest beror på kopplingsbordet än på förstärkaren, så vi undviker detta nu i början av vårt kopplande.

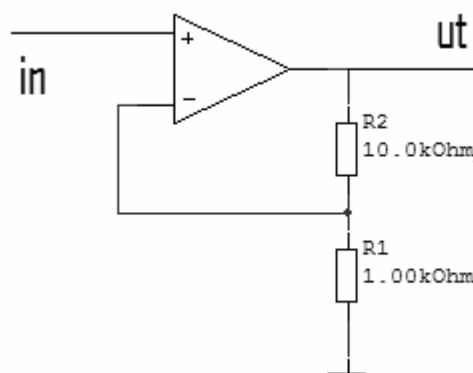
Icke inverterande förstärkare.

Nästa koppling att pröva är ”fasriktig”, dvs. matar vi in en positiv signal så får vi en positiv förstärkt signal ut från förstärkaren.

Förstärkningen för kopplingen tecknas som $A = 1 + (R2/R1)$, om vi har samma motstånd som tidigare koppling så får vi $1 + (9.89/1.03) = 10.60$ ggr.

Även här mäter vi med en potentiometer som genererar vår insignal, och vi mäter både in- och utsignal med jorden som referens.

Denna krets skiljer sig mot den tidigare också på att ingångsresistansen är liksom förstärkningen ”oändlig”, även på sämre op-förstärkare är den oftast 20-30 Mohm eller mycket mer.



Det kan tyckas bra att alltid ha hög inresistans, men oftast är vi intresserade att veta vad inresistansen är, och därför är den inverterande förstärkarkopplingen väldigt smidig med sin enkla beräkningsmodell.

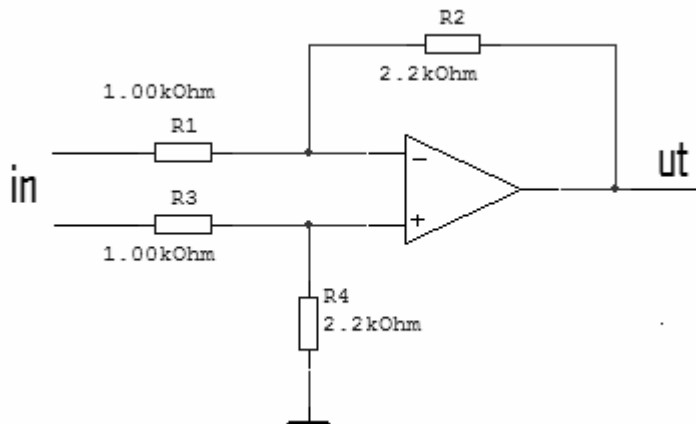
Denna förstärkare har med dagen kretsar så hög ingångsresistans att vi oftast kopplar ett motstånd från ingång till jord för att få en mer ”normal” ingångsresistans.

En specialvariant av denna koppling är spänningsföljaren, vi har då inga motstånd alls, utan låter minusingången gå direkt till utgången på kretsen.

Vi har då en förstärkare med 1 gångs förstärkning, väldigt hög inresistans samt väldigt låg utgångsresistans.

Balanserad ingång.

Den tredje kopplingen vi provar är balanserad ingång med obalanserad ut, denna koppling är typisk för ”riktiga” mikrofonförstärkare. Finessen med denna koppling är att det enda som förstärks är skillnaden mellan + och – ingången (som vanligt) men när vi ansluter vår mikrofon med en bit sladd så kommer en störning att påverka båda ingångarna lika mycket.



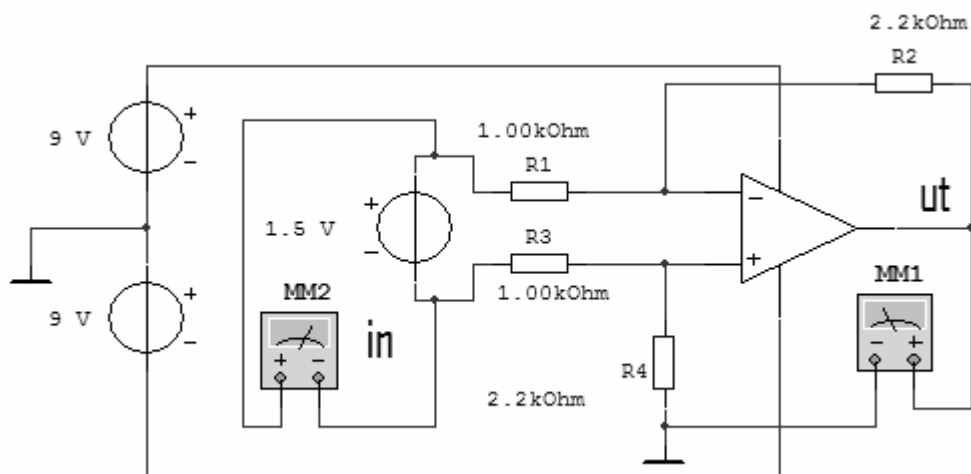
Om vi skickar in samma signal på bägge ingångarna så blir utsignalen noll, alltså de flesta störningar ”nollas” i förstärkaren. Däremot kommer signalen från mikrofonen att skifta mellan de bägge ingångarna och kommer alltså att förstärkas.

Rent praktiskt kan vi ofta ansluta en mikrofon som bara ger några få mV med en tämligen enkel partvinnad kabel utan att få problem med störningar.

Jag har sett installationer med kabellängder på upp emot 100 m oskärmad partvinnad kabel utan större problem med störningar.

Normalt har man dock en partvinnad ledare med en skärm ansluten till jord i förstärkaränden.

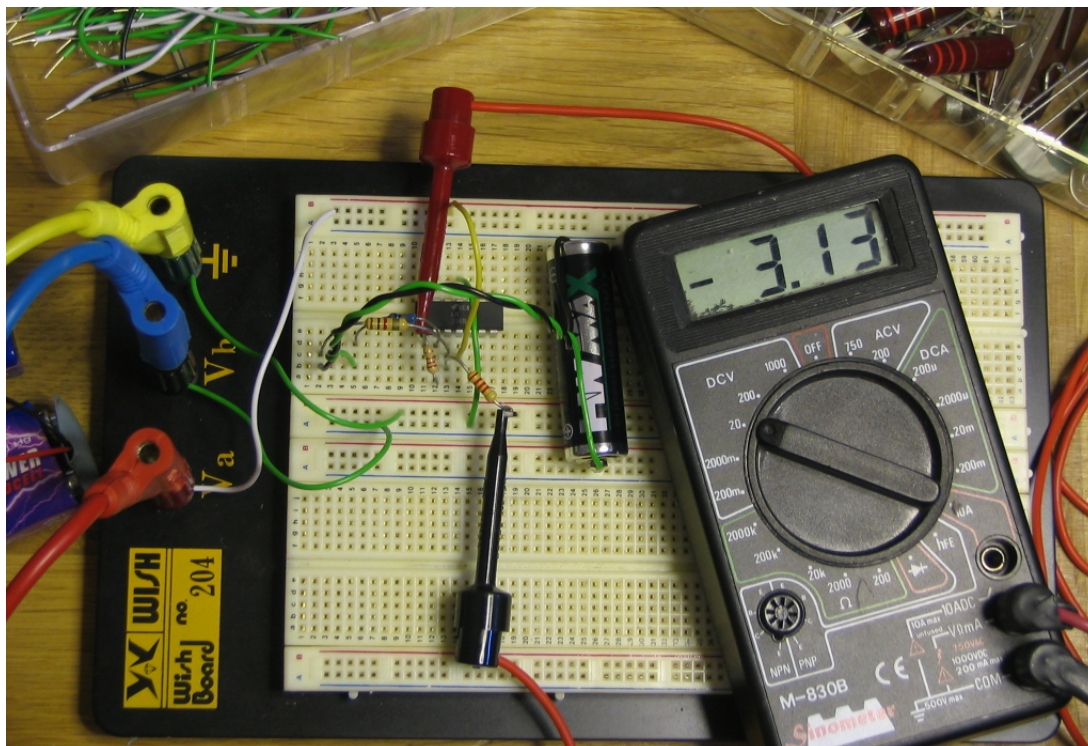
Denna möjlighet att kunna balansera ut störningar är mycket viktigt inom förstärkartekniken och normalt använder vi en transformator eller en förstärkare för att nå denna fördel.



Vid mätningar som denna när voltmeter skall anslutas till en ingång där ingen anslutning går till jord är det en fördel att ha instrument som inte är nätanslutna.

Det kan vara väldigt svårt att undvika att ena polen på vår voltmeter är ansluten till nätsladdens jord, och då är vår förstärkare inte balanserad längre.

Om vi tittar på schemat så ser vi att det finns två ingångar som är symmetriska och en osymmetrisk utgång. För att enkelt kunna koppla med denna förstärkare kommer vi att ha en låg förstärkning så att vi kan använda ett vanligt 1.5 V batteri som insignal. Vi ansluter batteriet mellan de bägge ingångarna samtidigt som vi mäter på utgången. Genom att ansluta batteriet till de bägge ingångarna ser vi att insignalen är skild från förstärkarens jordsystem.



För dem som är "ovana" med förstärkarkopplingar brukar den balanserade kopplingen kännas lite "konstig", men genom att bekanta sig med kopplingen på "batterinivå" så hoppas jag att det blir lite lättare att ta till sig kopplingens fördelar och att våga använda den. Här ser vi att även här stämmer matematiken och verkligheten. Vi matar den balanserade förstärkaren med 1.42 V från vår "generator" som är helt fri från jordpotential. Kopplingen skall ge 2.2 gånger förstärkning, och $1.42 \times 2.2 = 3.124$ V, vi läser 3.13 V på vår voltmeter.

Om vi vill prova hur en störning balanseras bort kopplar vi två batterier med bägge pluspolerna på jord, och en minus pol till varje ingång. Om batterierna är lika i spänning kommer detta inte att påverka utsignalen, utan den är fortfarande endast påverkad av det batteriet som är anslutet mellan ingångarna. (Kontrollera att du använder två batterier som har samma spänning, denna förstärker skillnaden mellan ingångarna.)

Även här är inresistansen lika med R_1 på den övre ingången och R_3+R_4 på den nedre ingången. Förstärkningen är $A = R_2/R_1$, notera att de bägge ingångarna skall vara symmetriska och det är skillnaden mellan ingångarna som förstärks. Mellan de fyra motstånden gäller $R_2/R_1 = R_4/R_3$, här bör vi välja precisionsmotstånd för att få så god störningsdämpning som möjligt.

Varför DC-förstärkare?

Det kan tyckas tråkigt att bekanta sig med dessa kopplingar med likspännigar när de flesta troligen mest kommer att bruka kretsarna för att förstärka växelspanning. Finessen med att börja mäta med likspännigar är att kretsarna, mätinstrument, kopplingsbord etc. fungerar så mycket bättre än då vi arbetar med växelspanning. Vi får fördelar såsom mindre störningar, enkla generatorer (batterier t.ex.) samt att även mycket enkla digitala multimetrar mäter bra i läge DC. Vidare kommer formler och beräkningar att stämma mycket bra då förstärkningen i op-förstärkaren är väldigt hög (oftast flera hundratusen gånger) vid DC.

Genom att testa förstärkarna med DC-mätning vinner man en förtrogenhet med kretsarna, mätinstrument, miniräknare och spänningsmatning, och man lär sig framförallt att lita på sina kopplingar och beräkningar då man testat förhållandevis enkla kretsar.

Vilka op-förstärkare?

När vi skall prova lite så finns det massor av olika förstärkare att köpa, det billigaste är att köpa ett "helror" på en loppis eller motsvarande. Ofta kan man hitta kretsar för 1 kr st.!

Jag brukar rekommendera LM324 som lämplig att hålla utkik efter, den innehåller fyra op-förstärkare och den är internt frekvenskompenserad så vi kan använda den precis som principalschemat ritas. Den funkade bra när vi testade att arbeta med enkel matningsspänning senare.

Övriga som brukar finnas på surplusmarknaden är LM318, LM321, LM358, OP07, TL071 med flera. Det är enkelt att ladda hem datablad från Internet, ofta är dessa datablad fulla av kul kopplingar att testa.

Fördelen med fyra förstärkare i samma kapsel är att du bara behöver ansluta en spänningsmatning, nackdelen är att om du "kvaddar" en förstärkare är sannolikheten hög för att de övriga tre skadas också.

Det finns säkert de som tycker att det är bättre att ha tillgång till möjlighet att justera bias, offset, frekvensegenskaper, etc. Sorry denna artikel är inte skriven för er, här skall vi bygga DC-förstärkare med låg förstärkning och då finns det ingen anledning att förklara finesser vi klarar oss utan. Tycker du att detta var enkelt och vill koppla mer komplicerade konstruktioner med mer finesser så botanisera gärna bland övriga artiklar och litteraturlistor.

I nästa avsnitt skall vi mäta med AC-spänning från vår testgenerator.

Copyright © Leif Nilsson