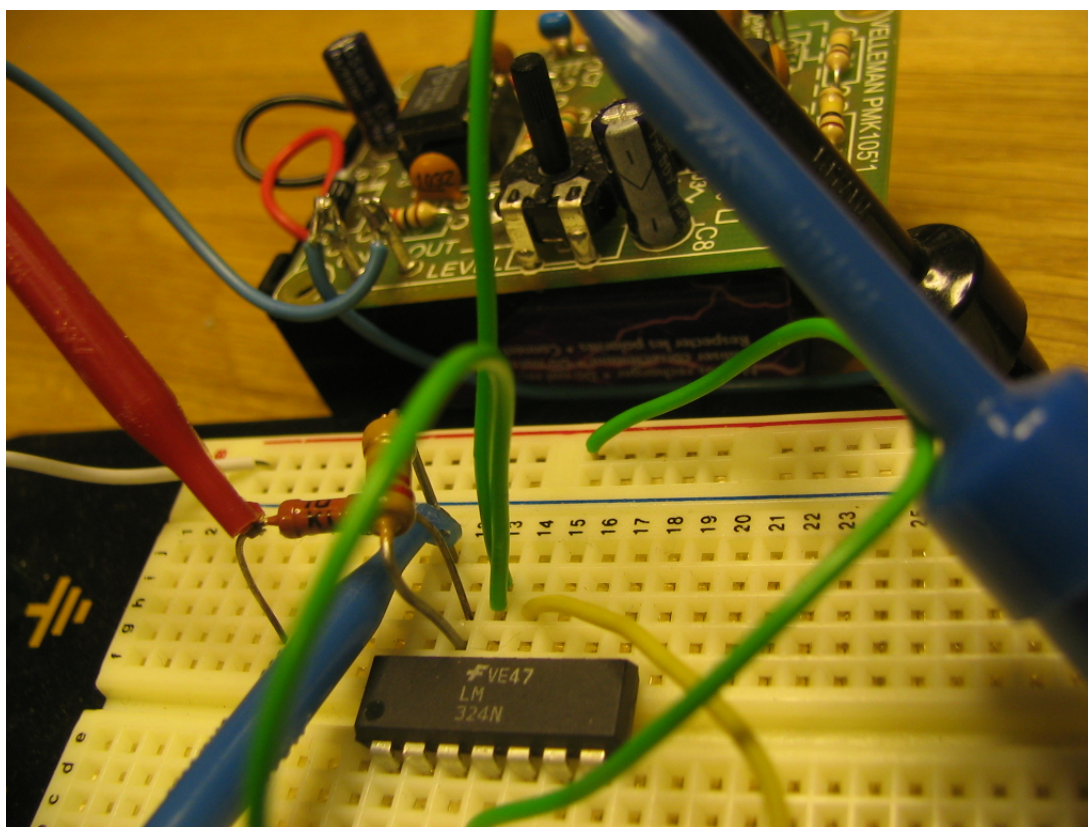


Op-förstärkarens grundkopplingar. Del 2, växelspänningsförstärkning.

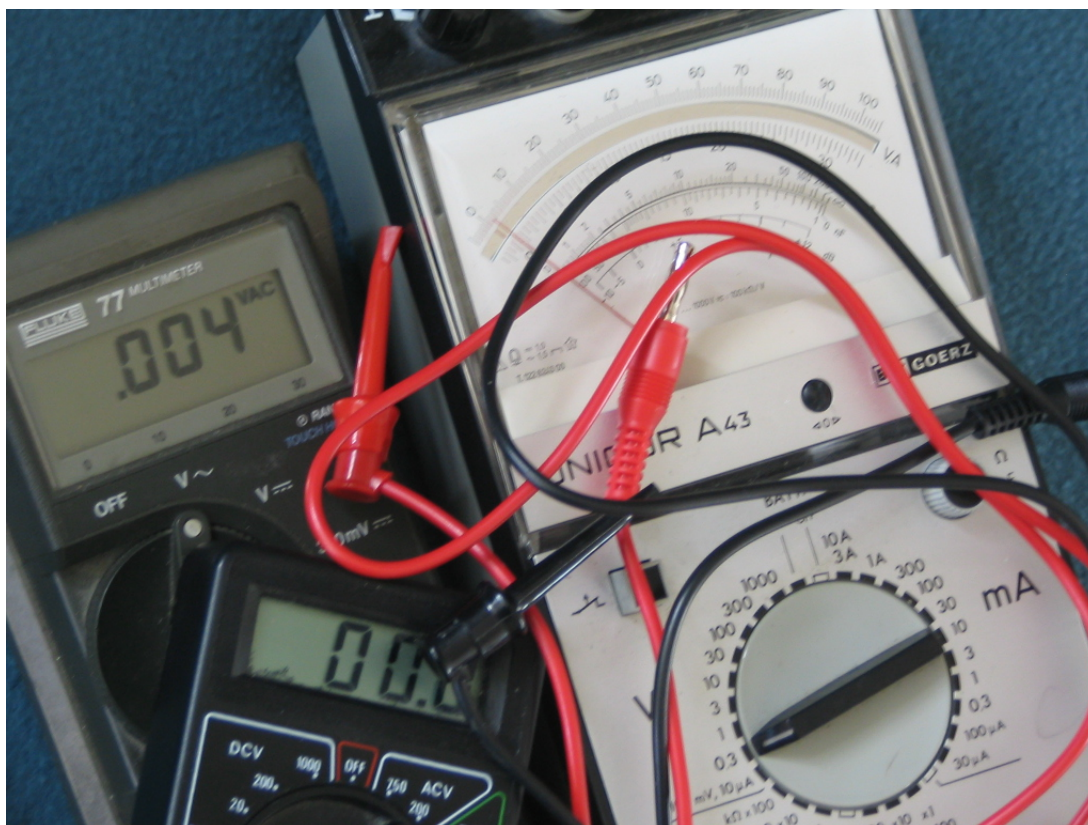
I del 1 bekantade vi oss med op-förstärkaren som likspänningsförstärkare. För att kunna arbeta med op-förstärkaren vill vi kunna mäta på och hantera förstärkaren också när den förstärker växelspänning.

Då många av våra första projekt kring våra radioapparater helt naturligt blir att komplettera med någon yttre enhet för att uppnå en ”bättre” radio. Exempel på detta är mikrofonförstärkare, olika filter för mikrofonen eller högtalaren, etc.

De signaler dessa exempel behandlar är alla i inom det hörbara frekvensområdet (20 Hz – 20 kHz), och det är inom detta område vi skall börja att mäta. Huvuddelen av multimetrarna fungerar i regel bra mellan 40 Hz – 5 kHz eller mer, kontrollera om möjligt detta i manualen för instrumentet. För att göra det lite enklare att utföra dessa mätningar väljer vi att arbeta mitt i det hörbara området 1 – 2 kHz.



Op-förstärkaren LM324N kopplad som inverterande förstärkare med ca. 7 dB förstärkning. I bakgrunden syns testgeneratoren MK105, i övrigt behövs två batterier om 9 V, en voltmeter för växelspänning samt några smidiga klämmor och ett kopplingsbord.



Den lilla fina voltmeter som fungerade så fint att mäta likspänning tidigare i del 1 är här inte mycket att komma med, med 200 VAC som känsligaste område i läge AC duger den endast till enklare mätningar typ kontrollera om det är spänning i vägguttaget etc. men den är fortfarande en mycket bra och användbar multimeter för ca. 89 kr!

De bägge andra multimetrarna får representera vad vi behöver för att kunna mäta både in- och utsignal till vår koppling. Dessutom behöver vi ett par mätsladdar, här har jag Clas Ohlsons helt underbara mätsladdar (nr: 32-858) som inte bör saknas på någons labbänk, små nätta ”mätkrokar” och smidiga sladdar.

För att kunna genomföra dessa mätningar behöver vi även en multimeter (gärna batteridrivna) med ett mätområde som har max. 1-2 VAC som känsligaste område. Skall vi arbeta lite mer utanför dessa labbkopplingar är det önskvärt att känsligaste området är 0.1 VAC eller mer.

För de som vill utföra dessa mätningar med oscilloskop så bör känsligheten vara 0.1 V/div, eller bättre. Det bör också finnas två uppsättningar mätsladdar alternativt mätprobar till oscilloskopet.

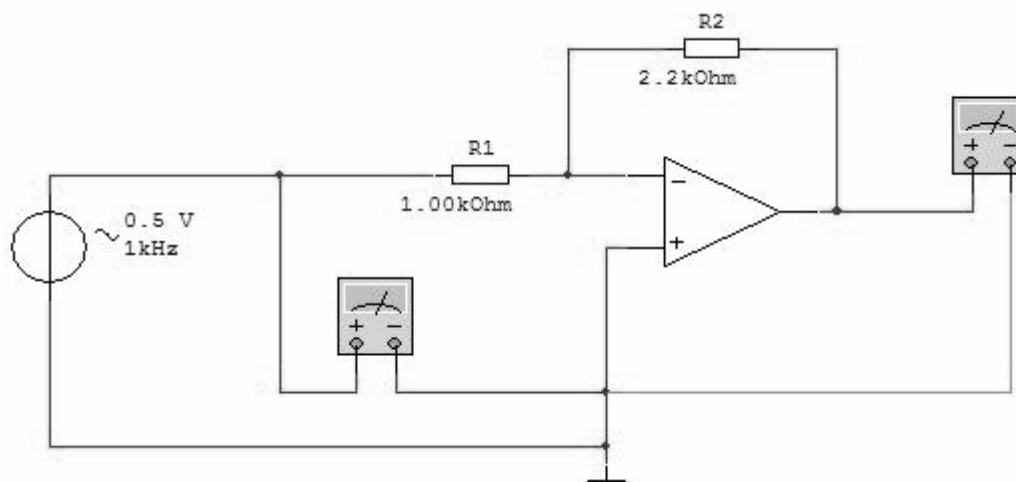
Som generator använder vi en Velleman MK105, eller liknande batteridrivna växelspänningsgenerator med en frekvens på 1-2 kHz, samt med en utspänning mellan 0-1 VAC, sinusformad växelspänning. Vi bör kunna justera utspänningen stabilt mellan 100 – 300 mV.

Inverterande förstärkare.

Uppkopplingen sker på liknande sätt som vid DC-mätningar. Spänningsmatningen är även här +/- 9 V, är du osäker på hur du kopplar spänningen rekommenderar jag att du läser det avsnittet i del 1 där dubbel spänningsmatning avhandlades. För att förenkla schemat är spänningsmatningen utelämnad.

Vi börjar denna gång, med 2.2 gångers förstärkning (detta för att enklare kunna mäta på oscilloskopets skärm).

Koppla generatoren till ingången, mät därefter insignalen och justera med potentiometern på generatoren till 0.1 – 0.5 VAC på ingången på förstärkaren. Om du använder en generator med variabel frekvens så skall signalfrekvensen vara ca. 1 kHz.



Flytta därefter voltmetern till utgången på förstärkaren och kontrollera att signalen är ca. 2.2 gånger högre. Vid dessa låga signalnivåer har många multimetrar svårt att presentera ett lika stabilt värde som när vi mäter med likspänning.

Försök att göra en, vad du uppfattar som rimlig avläsning av in och utsignal, och se vad du får förstärkningen till genom att räkna ut förstärkning = utsignal/insignal.



Här är insignalen kopplad på mätaren i den vänstra bilden som visar 100 mV, den högra bilden av mätaren visar utsignalen ca. 220 mV.

Önskar vi resultatet i dB visar den vänstra bilden att visaren pekar på 10 dB (skalan under spegelskalan), till höger där vi ser utsignalen pekar visaren på 16.9 dB. Normalt beräknar vi utsignalen genom ut/in, här blir det:

$220\text{mV}/100\text{mV} = 2.2$ gånger, motsvaras av $16.9\text{dB}-10\text{dB}=6.9$ dB, dvs 2.2 gånger.

Har du möjlighet att prova olika multimetrar ser du att då vissa mätare är stabila och lättavlästa ned till enskilda mV, så är många ”billiga” multimetrar väldigt ostabila och ”bladdrar” flera hundra mV och gör avläsningen näst intill oanvändbar.

Moderna multimetrar har oftast väldigt bra mätförstärkare även för AC-mätningar, men stora variationer förekommer.

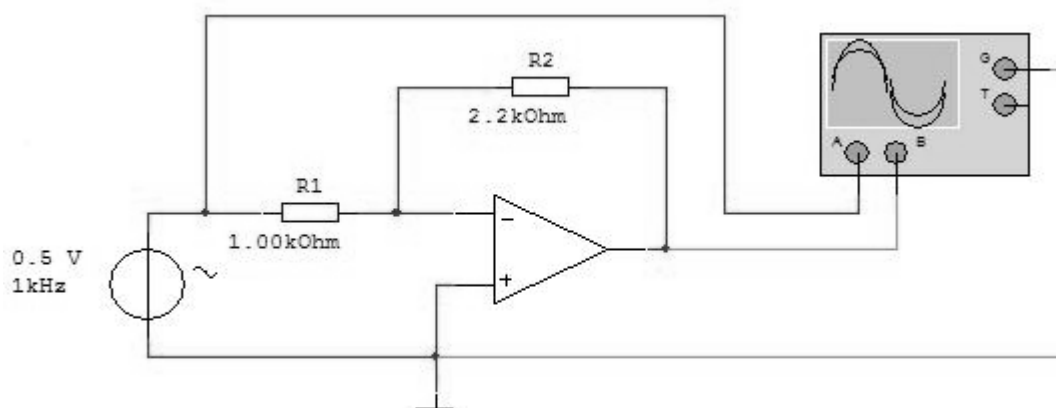
Prova de mätare du har till hands och notera skillnaden mellan de olika mätarna och bedöm av detta vilken du litar mest på.

Vid denna mätning kan vi inte se om förstärkaren är inverterande eller fasriktig, vår multimeter ger helt enkelt ingen fasinformation. Vill vi kunna avgöra om förstärkaren är inverterande måste vi ta hjälp av oscilloskopet. (eller mäta med en DC-signal)

Mäta med hjälp av oscilloskop.

Vi ansluter kanal A (eller 1) från oscilloskopet till ingången på vår förstärkare, var noga med att jorden på oscilloskopet ansluts till jorden på förstärkaren.

Därefter ansluter vi kanal B (eller 2) till utgången på förstärkaren, var även här noga på att oscilloskopets jord ansluts till förstärkarens jord.



De bägge mätsladdarna som nu kommer från oscilloskopet har nu jordarna hopkopplade i oscilloskopet, det är därför av yttersta vikt att du än en gång kontrollerar att de bägge jordanslutningarna går till samma anslutning på din koppling, dvs. förstärkarens jord, eller helst tar du bort jordsladden på kanal B och använder bara jordanslutningen på insignalen kanal A.

Ställ in oscilloskopets knappar så att du har:

Alla justerkontroller i kalibrerat läge.

Två synliga linjer centralt på skärmen och så att du precis ser början på linjerna till vänster på skärmen där rutnätet börjar.

Förstärkningen på kanal A & B på 100 mV/div, och DC-kopplade.

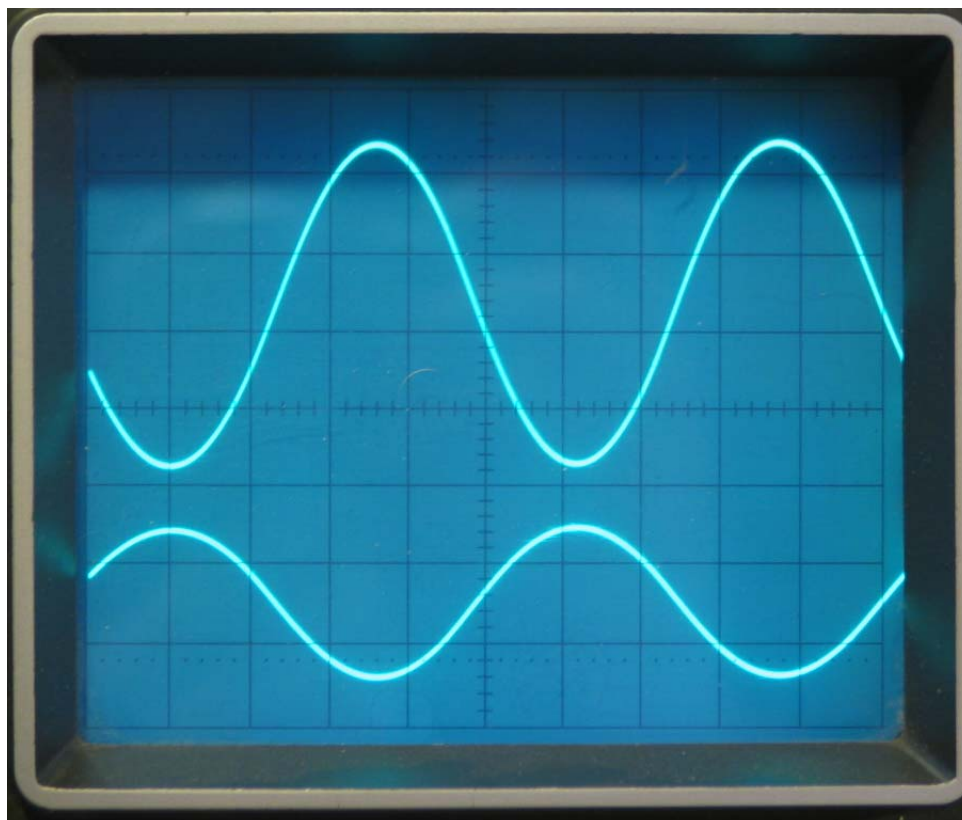
Tidsbasen på 1-2 ms/div.

Triggförstärkaren känslig på kanal A (insignal), ”Trigger level” centrerat, och ”Auto” inkopplat.

Med dessa inställningar bör du få en signal då du försiktigt vrider upp utsignalen från din signalgenerator och då matningsspänningen är inkopplad till förstärkaren. Öka insignalen tills insignalen upptar 2-4 rutor i amplitud, du bör då få en utsignal som är ungefär dubbelt så stor i amplitud.

Justera "trigger level" så att du får en bild som står still, därefter justerar du kanal A & B "position" så att kurvorna hamnar där du vill, samt justera "timebase" så att du ser önskat utsnitt av signalen.

Du bör nu ha en bild på ditt oscilloskop som ser ut ungefär som den nedan.



Inställningar: tidbas = 0.2 ms/div, känslighet kanal A & B = 0.2 V/div.

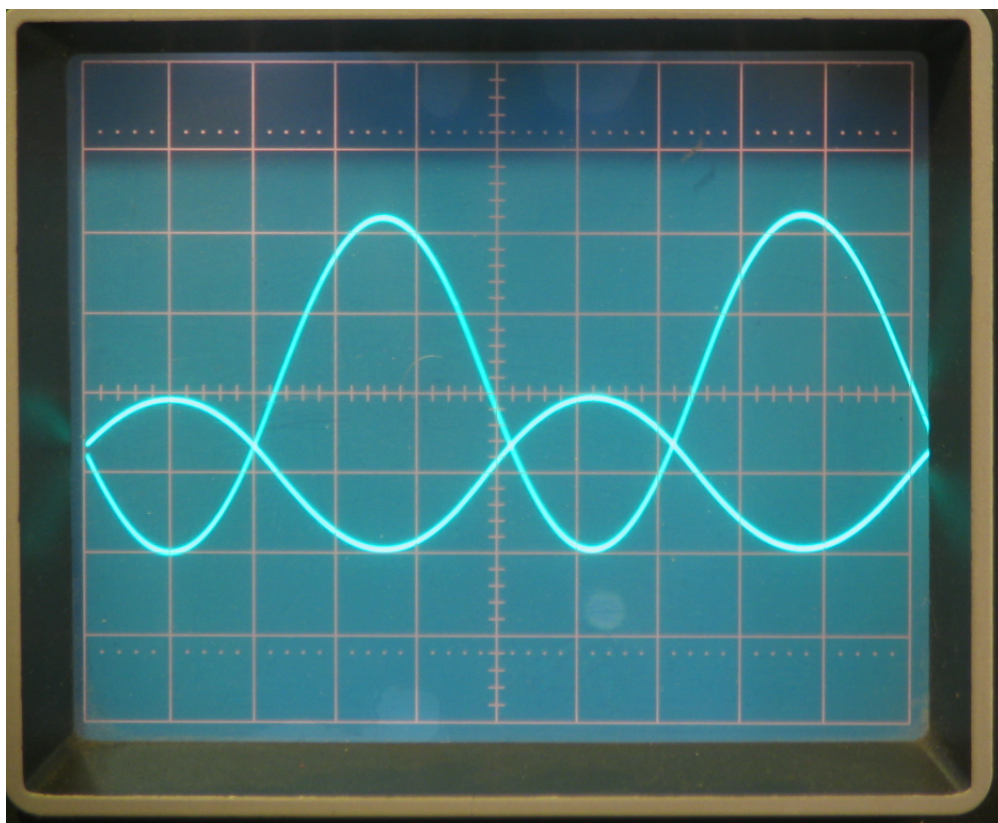
Notera att kurvorna börjar precis där rutmönstret börjar i vänsterkanten, det är den punkten som du justerar med "trigger level". Då detta är en viktig punkt att utgå ifrån är det viktigt att justera "X-position" så vi ser den punkten, andra änden av kurvan kan gärna få "försvinna" utanför rutmönstret till höger på skärmen.

Om du använder ett digitalt oscilloskop är oftast denna punkt förbestämd att vara placerad mitt i skärmen.

Vid noggranna mätningar med ett oscilloskop där ett katodstrålerör används för att presentera bilden är det viktigt att fokus och intensitet av strålen är justerade så att vi får en väl definierad linje från elektronstrålen.

Mätning av förstärkningen.

Enklast är nu att jämföra U_{tt} på de båda signalerna. Justera först insignalen så att den är 2 eller 3 hela rutor hög från topp till topp. Placera därefter kurvorna så att de "står" på någon av de nedre linjerna.



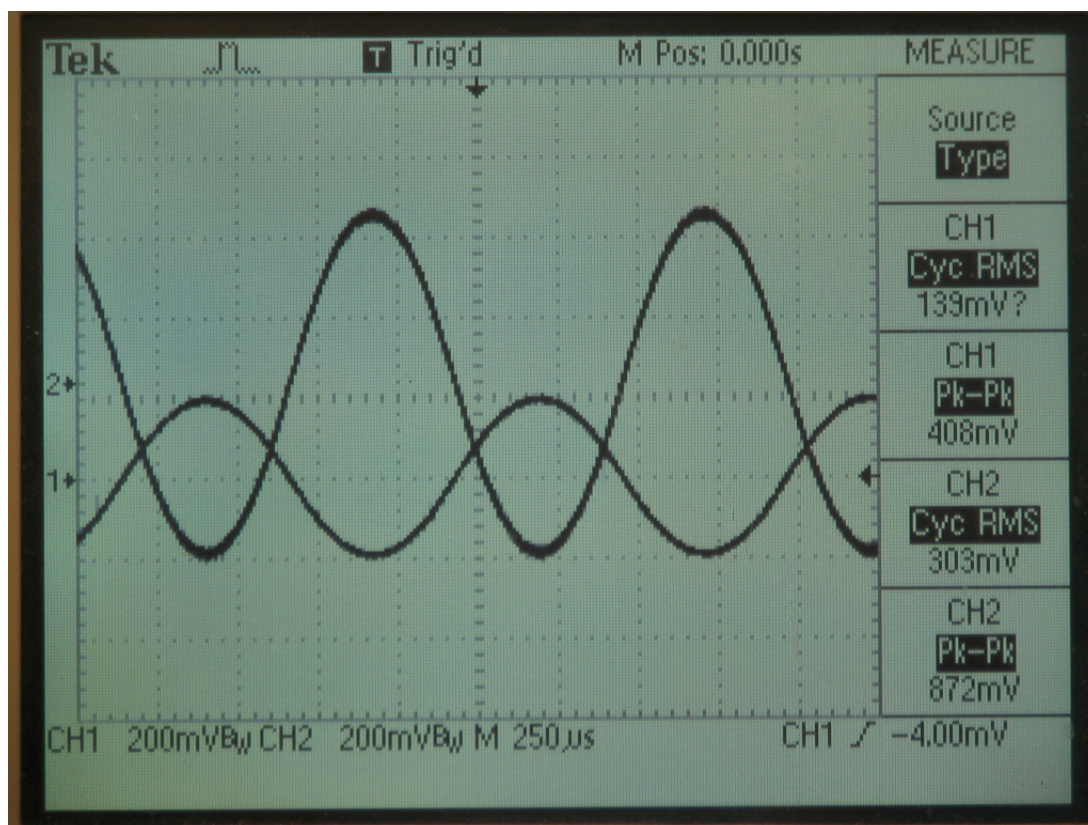
Det är nu lätt att se mellan vilka rutor som kurvorna sträcker sig i höjddled. Är nu insignalen 2 rutor hög, och utsignalen 4.2 rutor är följaktligen förstärkningen $4.2/2 = 2.1$ gånger

Vi kan nu också se om vi har en inverterande eller en fasriktig förstärkare. Eftersom insignalen är "omvänd" med utsignalen (när insignalen är som högst är utsignalen som lägst och tvärt om) då är följaktligen detta en inverterande förstärkare.

Det är också uppenbart att även en ganska enkel multimeter (analog eller digital) ger en betydligt högre upplösning när vi skall beräkna förstärkningen. Bara strålens bredd ger ett avläsningsfel på 5 % om vi inte är extremt noggranna vid avläsningar och justeringar. Detta gör att den optimala instrumenteringen är i regel en voltmeter och ett oscilloskop tillsammans.

Vi avläser då nivåer på voltmetern och oscilloskopet används till att läsa fasläge och kontroll av att kurvan har "rätt" utseende.

Detta har lett till att dagens digitala oscilloskop i regel har en "multimeter" inbyggd i programvaran och där mätvärdet presenteras på skärmen.



Om du har tillgång till ett digitalt oscilloskop kan skärmen se ut som ovan. Förutom kurvan som ser ut ungefär som det tidigare visade analoga oscilloskopet så finns det runt om bilden i skärmens ytterkant en hel del info.

Till vänster finns det två små pilar som visar "noll-nivån" för respektive kanal. I övre delen ser vi information om vilken position triggpunkten har. Här visas det med en pil mitt i skärmen.

I nedre kanten visas känsligheten för vertikalförstärkarna (200mV/div) samt att jag har bandbredds begränsning på (BW). Tidbasen är 250µs, lite ovanligt, normalt är 1-2-5 som steg, men här är det 1-2.5-5. Sist visas triggvillkoret, kanal 1, stigande flank, 4mV under "noll-nivån".

Till höger ser vi "multimetern", här mäter jag både RMS och U_{tt} (Pk-Pk, Peak to peak). Dessa positioner definierar du själv genom att välja från en meny.

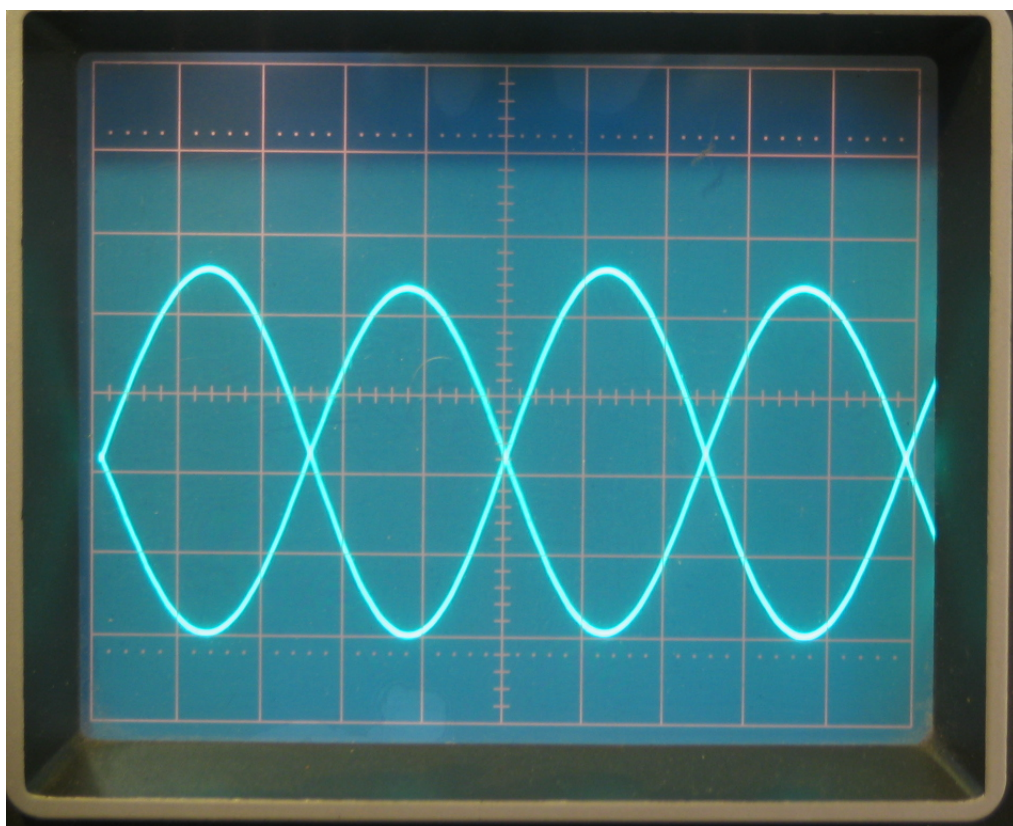
Använder vi dessa värden får vi: Förstärkning = utsignal/insignal, $303/139=2.18$ eller $872/408=2.14$ gånger. Beräkningen av RMS-värdet ger normalt en lägre "känslighet" för störningar, att mäta U_{tt} i en tillämpning som denna ger normalt alltid "sämre" värde. Den information vi får med denna jämförelse är också ett mått på eventuella störningar, har vi inga störningar, brus etc. har båda kvoterna samma värde.

Då vi har en förstärkare som ger ett fasskift i utsignalen så är korrekt förstärkning $U_{ut}/U_{in}=-A$, minustecknet framför förstärkningen indikerar att det är en inverterande förstärkare. Kopplingen i detta exempel har då en förstärkning av -2.18 gånger.

Öka förstärkningen.

Vi kan nu byta R2 till 10 kohm och får då 10 gångers förstärkning, vi får nu problem att se både ut- och insignal på samma inställning på vertikalförstärkarens känslighet. Vi får nu ändra vertikalförstärkarens känslighet på den kanal (B) som är ansluten till förstärkarens utsignal så att vi får två kurvor som är ungefär lika stora.

Då det nu skall skilja 10 gånger mellan ut- och insignal så kan vi enkelt kontrollera detta genom att justera vertikalförstärkarna så det skiljer 10 gånger mellan kanal A & B. T.ex. kanal A på 50 mV/div och kanal B på 0.5 V/div, är allt riktigt så kommer dessa kurvor att vara lika höga.



Här är båda signalerna från förstärkaren med 10 gångers förstärkning mellan ut- och insignal. Signalerna presenteras lika i amplitud då förstärkningen skiljer med en faktor 10 gånger mellan kanal A & B.

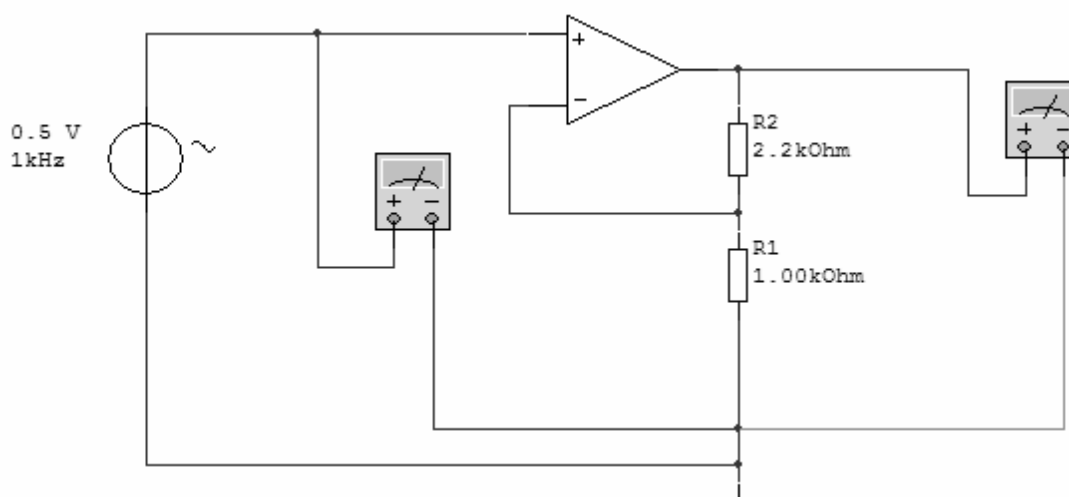
Skall vi veta vilken kurva som är in- resp utsignal tittar vi på triggförstärkaren på oscilloskopet, den är i detta exempel inställd att trigga på kanal A med negativ lutning. Tittar vi på startpunkten ser vi att en kurva startar nedåt (negativ lutning), detta är kanal A, vår insignal. Vi ser då att utsignalen är aningen större.

Hade signalerna varit "lika stora" så är förstärkningen 10 gånger eller 20 dB, vid kontroll med voltmeter är förstärkningen här 20.5 dB.

Icke inverterande förstärkare.

Gör nu om mätningarna med en icke inverterande förstärkare. Förstärkningen för kopplingen tecknas som $A = 1 + (R2/R1)$.

Använd gärna samma motstånd som du hade till den första kopplingen och se att du får samma förstärkning som vid DC-mätning (cirka 3.2 resp 11 gångers förstärkning), om du mäter med oscilloskop kan du notera att här är förstärkaren fasriktig.



Varianter.

Prova att byta motstånden R1 & R2 till ett värde som är 10 respektive 100 gånger högre, t.ex. 10 k Ω och 22 k Ω , resp 100 k Ω och 220 k Ω och lär dig hur det är att mäta på förstärkare med olika ingångsimpedans.

Har du ett välsorterat sortimentskåp kan du fortsätta att prova med 1000 gånger större resistans, men det går även att minska motstånden till 100 Ω och 220 Ω . Beroende på använd förstärkare kan de arbeta mer eller mindre bra med en stor variation av motstånd, prova gärna din "favorit op-förstärkare" och lär dig den praktiska kopplingens begränsningar.

Glöm inte att jämföra dina resultat med tillverkarens datablad.

I del III tittar vi närmre på AC-mätningar på en balanserad förstärkare.