

Laborationshandledning Elektronik EITA35

Innehåll

	Sida
Inledning	1
1 Laboration 1: Mätinstrumenten	22
2 Laboration 2: RC- och RL-nät i frekvensplanet	30
3 Laboration 3: Operationsförstärkaren	38
4 Laboration 4: Konstruktionsuppgift	46
5 Laboration 5: Fälteffekttransistorn	49

Inledning

Kursen i elektronik innehåller föreläsningar, övningar och laborationer och utgör en enhet som täcker teori, problemlösning, kretskonstruktion och mätteknik. Lärandeprocessen kan beskrivas med följande steg:

1. teorin presenteras på föreläsningar och i läroboken
2. problem löses vid handledda övningstillfällen och under självstudietid
3. inför laborationen gör studenten en kretskonstruktion och en del teoretiska beräkningar
4. på laborationen görs mätningar på den egna kretskonstruktionen och på kretsar som konstrueras under laborationen
5. mätresultaten dokumenteras under laborationens gång och redovisas efter laborationen

Denna laborationshandledning ger instruktioner och information om de tre sista stegen.

Dokumentation

Det är viktigt att föra noggranna anteckningar under laborationens gång och att göra feluppskattningar av mätvärden. Tänk kritiskt! Försök avgöra om resultat är rimliga! Finn förklaringar om de inte är det! I några av laborationerna skall det skrivas en rapport och det ställs då extra höga krav på att dokumentationen är noggrann och utförlig.

Regler för laborationsarbete på EIT

Det är viktigt att utrustningen fungerar och att det inte saknas komponenter. Meddela handledaren om något instrument fungerar dåligt, eller går sönder, under labben, eller om det blir ont om någon komponent. Då hinner detta åtgärdas till nästa labbtillfälle.

När laborationen avslutas skall följande göras av studenterna:

1. Registrera labben med ID-kortet.
2. Stäng av alla instrument. Låt probarna sitta kvar i oscilloskopet och mätkablarna vara kvar i multimeteren.

3. Häng upp sladdar på rätt plats och lägg tillbaka komponenterna. OBS! Motstånd och kondensatorer skall läggas i lådor märkta använda komponenter och ej i lådorna märkta med komponentvärden.
4. Städa bordet. Det enda som skall finnas kvar på bordet är multimeter, oscilloskop med probar, funktionsgenerator och spänningsaggregat.

När laborationen avslutas skall följande göras av handledarna:

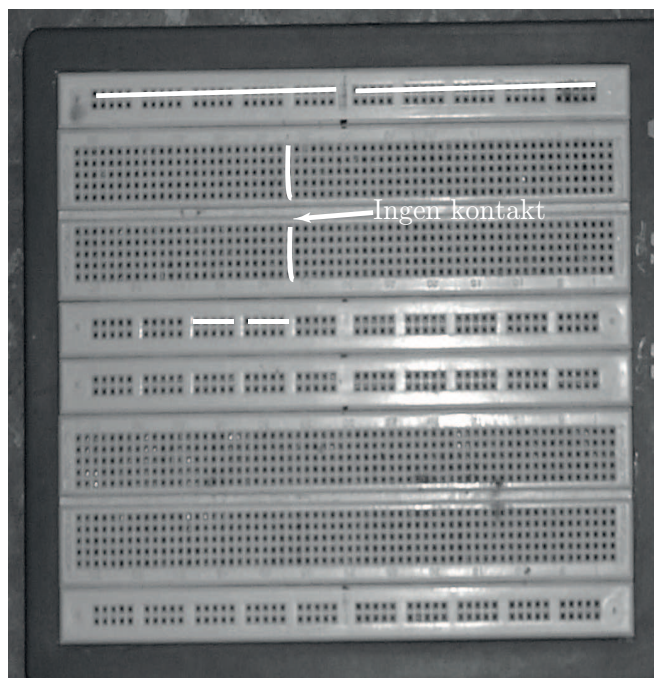
1. Stäng fönster och slå av huvudströmbrytaren.
2. Kontrollera labbänkarna innan godkännande.
3. Lägg tillbaka labspecifika komponenter i lablådan för aktuell lab. Ställ lådan i labskåpet och lås skåpet.
4. Lås korridordörren om tiden inte gått ut (4tim)

Säkerhet

- Det är förbjudet att arbeta ensam i labbet.
- Använd aldrig nätspänningen för annat än att driva instrumenten. Alla spänningar genererade av instrumenten är såpass låga att de är ofarliga.
- Det finns brandsläckare i korridoren utanför labsalarna. Den är placerad mellan dörrarna. Där sitter också en utrymningsplan.

Utrustning som används i laborationerna

Kopplingsdäck



Figur 1: Kopplingsdäck för kopplingar med komponenter. Ett vitt streck indikerar att motsvarande hål är i kontakt med varandra.

Kopplingsdäcket (protoboard på engelska) används flitigt på labbarna. Kopplingar med komponenter utförs på ett kopplingsdäck, enligt figur 1. Komponentben och skalade kopplingstrådar sticks ned i hålen i kopplingsdäcket. Hålen är förbundna med ledare som schematiskt visas av de vita strecken i figuren. De två anslutningarna för banankontakter som finns på kopplingsdäcket är inte vidarekopplade utan ansluts via kopplingstrådar. Du skall använda ditt eget kopplingsdäck på labben.

Det är viktigt att du tidigt lär dig hur de olika hålen i plattan är kopplade till varandra. Fråga labhandledaren om du är osäker. Här är några tips som kan hjälpa dig när du skall koppla upp en krets på däck:

- Planera kopplingen innan du kopplar. Det underlättar att rita upp kretsen så som den skall kopplas upp.
- Försök att hålla nere antalet kopplingstrådar. Utnyttja att hålen är sammankopplade gruppvis.
- Se till att komponentben och trådar sitter fast i hålen.
- Undvik att korsa trådar.
- Använd inte för långa trådar.

Multimeter



Figur 2: Multimeter

De multimetrar som används på laborationerna, se figur 2, kan mäta spänning, ström och resistans. Vid spännings- och strömmätning kan man välja DC-inställning (DC=direct current, d.v.s. likström och likspänning), eller AC-inställning (AC=alternating current, d.v.s. . växelspanning och växelström). AC-mätningarna är bara korrekta om man mäter på sinusformade signal med frekvenser under 1 kHz¹. Vid AC-mätning anger multimetern effektivvärdet (rms-värdet). För sinusformade spänningar är denna lika med toppvärdet \hat{V} dividerat med $\sqrt{2}$, d.v.s. $V_{\text{eff}} = \hat{V}/\sqrt{2}$. I handledningen till laboration 2 ges en mer utförlig beskrivning av AC-mätningar. Tänk på att det är olika anslutningar på multimetern för att mäta spänning och ström. Anledningen är att mätningen skall påverka kretsen så lite som möjligt. Vid spänningsmätning skall instrumentet ha en hög inre resistans och vid strömmätning en låg. Gör klart för dig varför det är så!

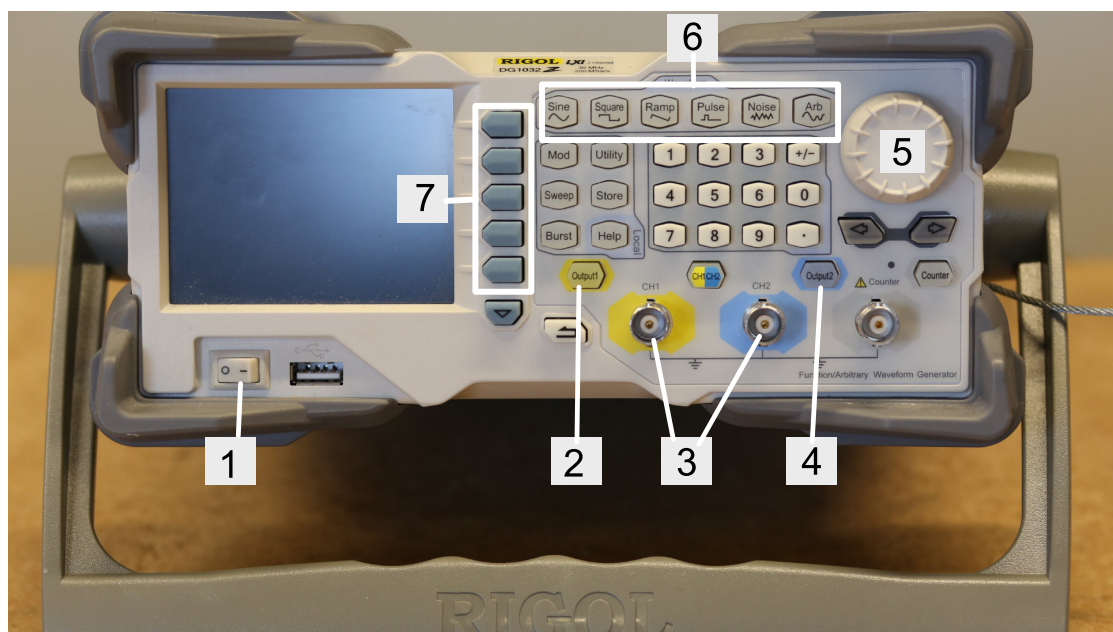
Funktionsgenerator

Funktionsgeneratoren kan skapa spänningssignaler som varierar med tiden. Vanligen ger den en signal som är periodisk, d.v.s. upprepar sig med en bestämd frekvens. Den funktionsgenerator som används på labbet, se figur 3, kan ge en mängd olika periodiska signaler såsom vågformerna sinus, triangel och fyrkant.

Här är de viktigaste reglagen, numrerade enligt figur 3:

1. På och av knappen för instrumentet

¹Multimetern som finns i ELFA-kittet visar endast rätt mätvärde för sinusformade signaler med frekvenser mellan 40 Hz och 400 Hz.



Figur 3: Funktionsgenerator.

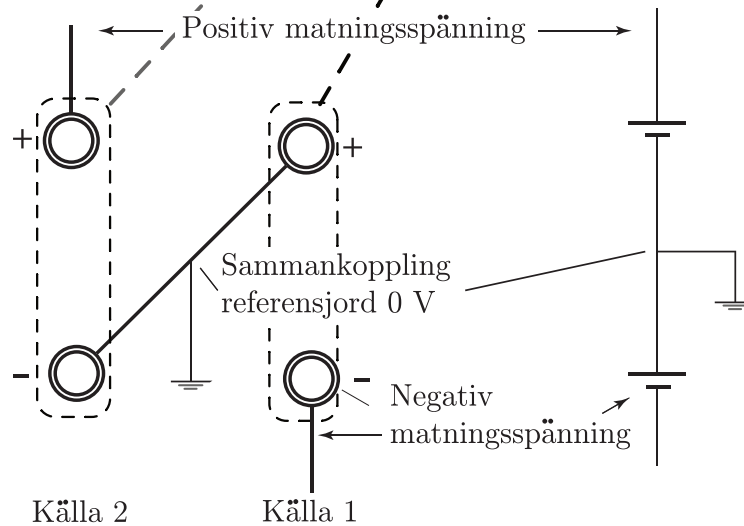
2. På och av knappen för CH1-utgången (CH1=kanal 1). Först när knappen är aktiverad (lyser) ger funktionsgeneratorm en utsignal. När funktionsgeneratorm slås på är knappen ej aktiverad.
3. Utgångarna för CH1 (vänster) och CH2 (höger).
4. Samma funktion som knappen i punkt 2, men för CH 2.
5. Ratt för att ställa in parametrar. Ett alternativ är att använda sifferknapparna.
6. Knappar för att ställa in utsignalens vågform.
7. Meny-knappar för att ställa in utsignalens egenskaper.

Dämpningen av utsignalen anges i decibel (dB), definierad som:

$$\text{dämpning i dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{|V_{\text{ut}}|}{|V_{\text{in}}|} \right)$$

En dämpning med 20 dB motsvarar därmed att amplituden är en tiondel av den odämpade signalens amplitud.

Funktionsgenerator som används på labben har en utresistans av 50Ω för att undvika mättekniska problem vid mycket höga frekvenser. Förklaringen till att utresistansen är 50Ω ges senare i utbildningen, t.ex. i kurserna Radioelektronik, Antennteknik och Mikrovågsteori. Det är lätt att testa att utresistansen är 50Ω : mät först upp tomgångsspänningen från generatorm, d.v.s. utan någon last på utgången, koppla därefter in en resistans på 50Ω på utgången och mät spänningen över denna resistans. Om spänningen halverats är generatorms utresistans 50Ω .



Figur 4: Spänningsaggregatet och koppling för dubbel matningsspänning. De två övre vridknapparna reglerar spänningen på den högra utgången och de två undre vridknapparna reglerar spänningen på den vänstra utgången. Den undre vridknappen märkt "current" för varje utgång ställer in begränsningen för strömmen. Den används för att undvika att komponenter bränns.

Spänningsaggregat

Spänningsaggregatet, se figur 4 förser elektriska kopplingar med effekt, vilket den engelska benämningen av spänningsaggregat, power supply, anger. Vill man speciellt betona att aggregatet skall ge spänning eller ström, kan man använda begreppen spännings- respektive strömkälla. Olika aggregat kan ge olika mycket ström med bibehållen utspänningsnivå. Strömstyrkan begränsas av en strömvakt som sänker utspänningen om strömmen blir för stark. Förvissa dig om att ett sådant skydd finns innan du kortsluter, annars är risken stor att aggregatet bokstavligen brinner upp.

Många kopplingar behöver dubbel matningsspänning, t.ex. +15V och -15V. Har man ett aggregat med två separata spänningskällor, kan man seriekoppla dessa och använda sammankopplingspunkten som referensjord, 0V, se figur 4. Observera att den kontakt som på aggregatet är märkt med ett jordtecken inte skall användas som referensjord. Kontakten är förbunden med skyddsjorden i väggkontakten och skall inte användas som referensjord för signalen, s.k. signaljord.

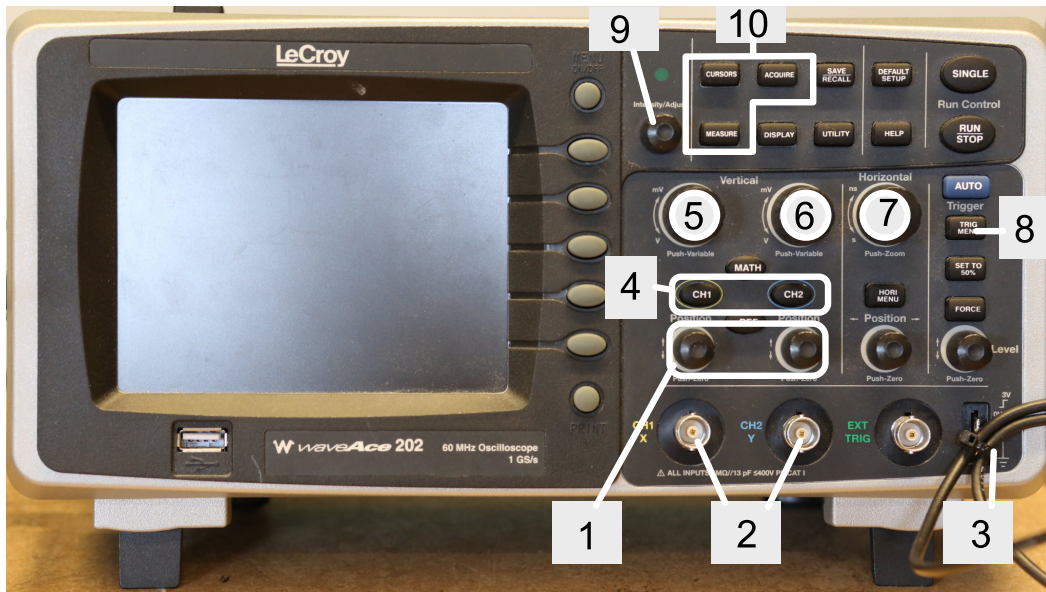
Oscilloskop

Oscilloskopet, figur 5, mäter tidsberoende signaler och visar hur dessa varierar över tiden. Oscilloskopet är i princip en dator med skärm som mäter spänningar med hjälp av en inbyggd Analog till digital omvandlare (AD-omvandlare). AD-omvandlaren samplar spänningen, d.v.s. mäter spänningen vid regelbundna tidsögonblick, och presenterar den som en serie mätvärden till datorn. Mätvärdena behandlas och visas enligt användarens önskemål. Tiden visas längs x-axeln, se figur 6, och svepet² gör att mätvärdena i takt med tiden presenteras från vänster till höger med konstant hastighet, rutor/sekund. Utslaget i vertikalled, d.v.s. i y-led, är proportionellt mot insignalens spänning. Det ger en kurva på skärmen som visar signalens spänning som funktion av tiden.

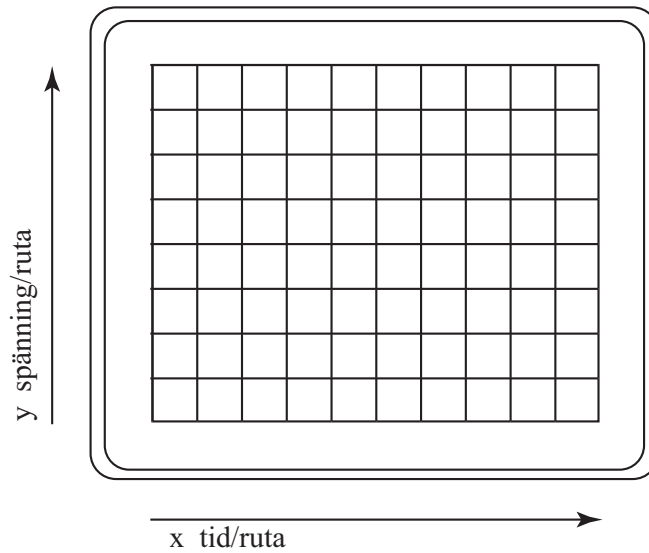
Här följer en kort beskrivning av de viktigaste reglagen, numrerade enligt figur 5:

1. Vridrattar för signalkurvornas placering i y-led på skärmen. Vridknappen till vänster reglerar CH1 och den till höger reglerar CH2. OBS! Då en av knapparna trycks in centreras motsvarande kurva.
2. Ingångarna för CH1 och CH2.
3. Utgången för kalibrering av mätprobar. Utgången ger en referenssignal i form av en fyrkantsvåg med amplituden 3 V och frekvensen 1 kHz. Kalibreringen beskrivs i avsnittet om mätproben nedan.
4. På och av knapparna för CH1 och CH2.
5. Vridknappen som styr upplösningen (V/ruta) i y-led för signalen på CH 1. Känsligheten ändras genom att trycka på knappen.

²Svepa kommer från äldre analoga oscilloskop där en lysande punkt flyttade sig över skärmen.



Figur 5: Oscilloskop.



Figur 6: Oscilloskopskärm.

6. Se punkt 5, gäller istället för CH2.
7. Vridknapp för tidsupplösning i x-led för både signalen från CH1 och CH2. Känsligheten ändras genom att trycka på knappen.
8. Tryck in knappen för att komma åt trigger-menyn.
9. Vridknapp för placering av markörerna vid manuell mätning. Dessa markörer syns först efter att knappen cursors har tryckts in.
10. Dessa knappar aktiverar menyer för mätning av olika signalparametrar.

Värdena på skärmen kan inte avläsas med någon större noggrannhet (kanske $\pm 5\%$) eftersom kurvan har en viss bredd. Många gånger har det ingen betydelse då det är tidsberoendet man vill se. Oscilloskopet kan mäta amplituden och presentera värdet på skärmen. Mätfunktionen ligger i oscilloskopets menysystem under knapparna Measure och Voltage. För att få en noggrann bestämning av amplituden är det bäst att mäta topp-till-topp-värdet (V_{pp} där pp står för peak-to-peak), se figur 7, och dela med två. Då eliminerar man det fel som uppstår om kurvan inte är centrerad i y-led. Det går också bra att mäta amplituden direkt på skärmen. Man bör då ställa in skalorna så att så stor del av skärmen som möjligt utnyttjas! Använd dock inte steglös inställning eftersom det då blir omständligt att räkna ut värdet.

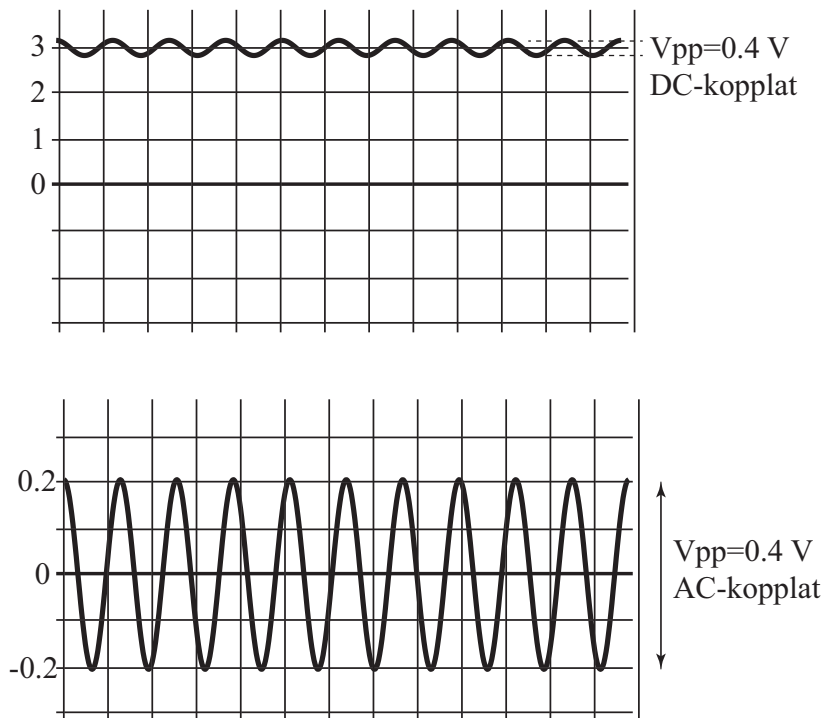
Oscilloskopet kan AC eller DC-kopplas (Menu-on, CH1, Coupling: DC/AC/GND). Med DC-koppling visas signalens hela nivå, d.v.s. med likspänningsdelen (DC), medan det med AC-koppling visas den nivå som ändrar sig, d.v.s. växelspanningsdelen (AC). Detta illustreras i figur 7. Om oscilloskopet är DC-kopplat och AC-amplituden är mycket mindre än likspänningen kan det vara svårt att se variationen över tiden. När man AC-kopplar oscilloskopet tar man bort likspänningsdelen, och kan då förstora den del av signalen som varierar, d.v.s. växelspanningen.

Trigger

Oscilloskopet visar en bild av växelspanningssignaler genom att den ritar samma sak om och om igen. Det är därför viktigt att varje svep från vänster till höger börjar på exakt samma ställe i signalen. Triggern är den krets som känner av nivån av insignalen, och startar svepet från vänster till höger då insignalen passerar en viss nivå. I TRIG MENU på oscilloskopet finner man inställningarna för triggern. Med knappen SLOPE ställer man in om oscilloskopet skall trigga på positiv flank, d.v.s. då signalen passerar från en låg till en hög nivå, eller på en negativ flank. Nivån som triggkretsen skall reagera på ställs in med ratten LEVEL. Trignivån visas också med en markör i vänsterkanten, T→. Triggtidpunkten visas med en pil i skärmens överkant. Med knappen SOURCE väljer man vilken av de två kanalerna som triggern skall trigga på.

Mätprob

Mätproben, se figur 8, används nästan alltid när man vill mäta spänningar inuti en krets och samtidigt påverka kretsen så lite som möjligt. Proben består av en

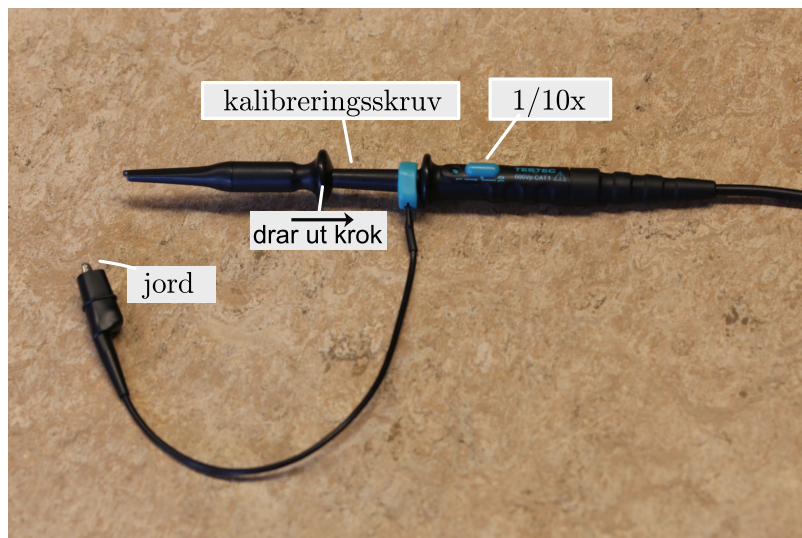


Figur 7: AC- och DC-koppling för signalen $3 + 0.2 \cos(\omega t)$ V.

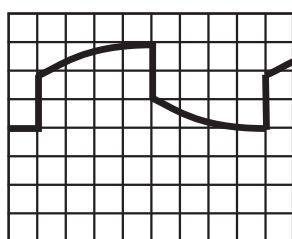
mätspets, ibland försedd med en fjäderbelastad klo, och en sladd med en krokodilklämma för jordanslutning. Det är mellan dessa två anslutningar som oscilloskopet mäter spänningen. Lägg märke till att alla jordanslutningar är sammankopplade inuti oscilloskopet, d.v.s. när man mäter på två kanaler samtidigt måste detta ske med en gemensam jordpunkt. Jordklämmorna på de två proberna är alltså kopplade till samma nod inuti oscilloskopet.

Proben kan ställas in att dämpa signalen 10 gånger, $\times 10$, eller en gång, $\times 1$, med hjälp av en omkopplare. Vid 10 gångers dämpning mäter oscilloskopet en tiondel av den spänning som finns vid probens spets. Det är viktigt att probens dämpning ställs in på oscilloskopet för att detta skall ge rätt mätvärden. Tryck CH1 för att ställa in probens dämpning för kanal 1. Med $\times 10$ -dämpning går det att ställa in känsligheten mellan 20 mV och 50 V per ruta medan den med $\times 1$ -dämpning kan ställas in i intervallet 2 mV till 5 V per ruta. Proben innehåller en anpassningskrets som är justerbar, se fördjupningsavsnittet om proben på sidan 18. Man kan kontrollera om kretsen är rätt justerad genom att ansluta proben till den kalibreringsutgång som finns längst ned till höger på oscilloskopets framsida. Signalen på skärmen skall då se ut som i figur 9b.

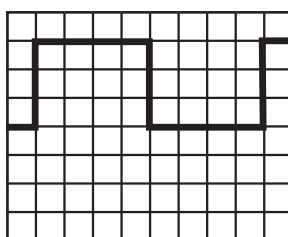
En fyrkantpuls från funktionsgeneratoren återges inte exakt på oscilloskopskärmen eftersom det alltid tar en viss tid för funktionsgeneratoren, och för oscilloskopet, att ändra en spänningsnivå. Stig- och falltiden anger hur snabbt signalen stiger respektive faller. Stigtiden är definierad som den tid det tar att gå från 10% till 90% av maxvärdet, se figur 10. Oscilloskopet kan ställas in att mäta stig- och falltiden i menyn MEASURE. I menyn finns Voltage, Time, Delay, Allmea. Stig- och falltid



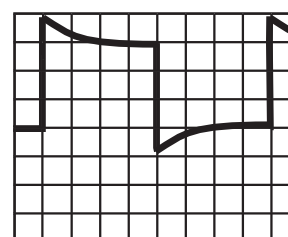
Figur 8: Oscilloskopprob med jordkabel.



a) Underkompenserad

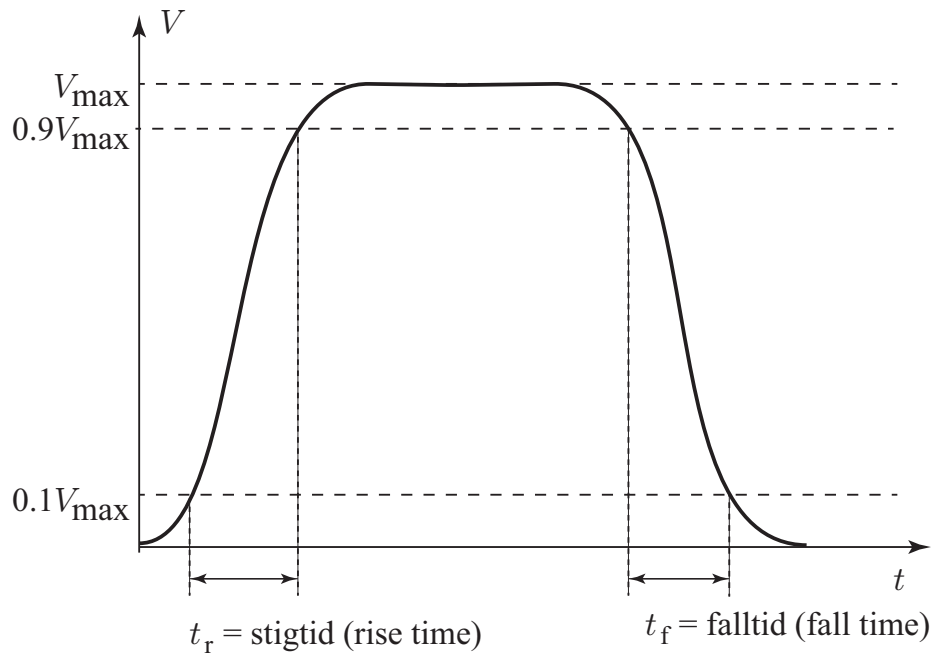


b) Kompenserad



c) Överkompenserad

Figur 9: Kalibreringssignalens utseende på skärmen vid olika fall av kompensering.



Figur 10: Definitioner av stig- och falltid hos en puls.

finns under Time.

Den stigtid som mäts beror av både signalens stigtid och oscilloskopets stigtid. Vid mätning på signaler med korta stig- och falltider måste resultatet kompenseras för oscilloskopets inverkan. Den uppmätta stigtiden ges av

$$t_{\text{avläst}} = \sqrt{t_{\text{signal}}^2 + t_{\text{osc}}^2} \quad \text{d.v.s.} \quad t_{\text{signal}} = \sqrt{t_{\text{avläst}}^2 - t_{\text{osc}}^2} \quad (1)$$

där $t_{\text{avläst}}$ är den avlästa stigtiden, t_{signal} är signalens stigtid och t_{osc} är oscilloskopets stigtid. Ofta är $t_{\text{signal}} \gg t_{\text{osc}}$ och då gäller $t_{\text{avläst}} \approx t_{\text{signal}}$. Om inte oscilloskopets stigtid finns angiven kan den uppskattas ur sambandet

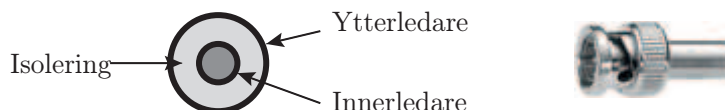
$$t_{\text{osc}} B \approx 0.35$$

där B är oscilloskopets bandbredd. Bandbredden anges som den frekvens vid vilken en uppmätt signal har dämpats en faktor $\frac{1}{\sqrt{2}}$ på grund av begränsningar i oscilloskopet. Normalt finns oscilloskopets bandbredd angiven på frontpanelen. De oscilloskop som finns i lablokalen har, enligt tillverkaren, $t_{\text{osc}} = 5.8 \text{ ns}$.

Kablar och komponenter som används på labbarna

Kablar

På labbarna används koaxialkablar, se figur 11, dels med BNC-kontakt i båda ändar, och dels med BNC i ena ändan och banankontakter i andra ändan. Dessutom används enkla ledare med banankontakter och/eller krokodilklämmor, samt



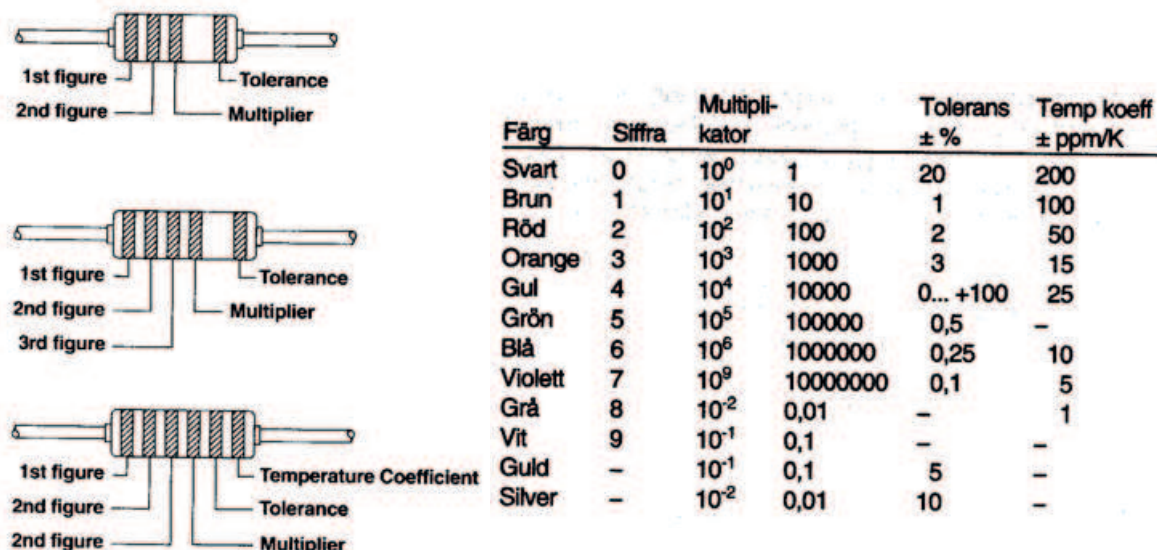
Figur 11: Den vänstra figuren visar ett tvärsnitt av koaxialkabel. Den yttre ledaren är oftast jordad via kontakten. Den högra figuren visar en BNC-kontakt.

kopplingstråd för kopplingar på kopplingsdäcken. Koaxialkablar har den fördelen att de elektriska och magnetiska fälten är inneslutna mellan inner- och ytterledaren. Det gör att strömmarna i koaxialkablar kan vara sig störas eller bli störda av yttre elektronik.

Det är viktigt att kabelns resistans är försumbar i förhållande till de resistanser som ingår i de kretsar kabeln är kopplad till. Resistansen för en cirkulär ledning med diametern d och längden l ges av $R = \ell\rho/A = 4\ell\rho/(\pi d^2)$, där $A = \pi d^2/4$ är kabelns tvärsnittsytta och ρ är resistiviteten för det material ledaren är gjord av. För koppar, vilket är en vanlig metall i ledare, är $\rho = 1.68 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$. Den kopplingstråd som följer med Elfa-lådan har tvärsnittsarean 0.28 mm^2 vilket ger resistansen $0.06 \Omega/\text{m}$.

Motstånd

Motstånden som används på laborationerna är färgkodade med färgringar enligt figur 12. Motsvarande koder finns i ELFA-katalogens faktasidor och på tavlor uppsatta i labbet. De tre första färgringarna anger resistansen med tre värdesiffror och den



Figur 12: Färgkoder för motståndvärden.

fjärde färgringen anger vilken 10-potens som skall multipliceras med värdesiffrorna.

Den sista ringen, som sitter lite skilt från de andra, anger toleransen. Som exempel innebär färgkoden brun (1), svart (0), svart (0), röd (2) och brun (%) att motståndet har värdet $10\text{ k}\Omega$ med 1% tolerans.

Kommentar: I modern mikroelektronik används ytmontering. Detta innebär att komponenterna inte har anslutningstrådar utan metallytor som löds direkt på ledarmönstret. Fördelen är att komponenterna kan göras mycket små och därmed användas vid högre frekvenser. Nackdelen är att förmågan att hantera höga effekter minskar med storleken. Komponenterna benämns efter sin storlek, tex 0812, 0603, 0402 som är moduler av 1/100-dels tum. 0402 har alltså storleken 0.4×0.2 tum d.v.s. ca 1×0.5 mm. De mindre varianterna är inte märkta med värde och hanteras vanligtvis endast av monteringsmaskiner.

Övriga komponenter

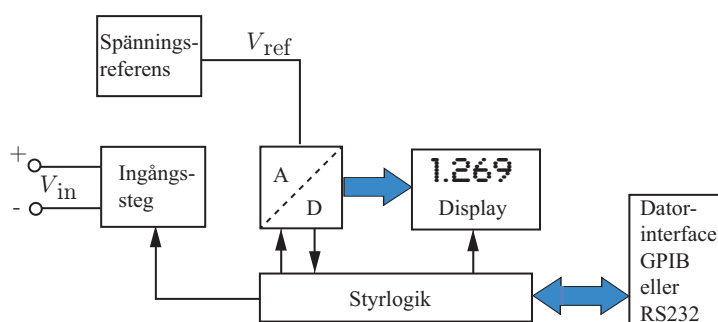
Vid labbarna används även kondensatorer, spolar, dioder, transistorer och operationsförstärkare. Dessa finns beskrivna på ELFA:s hemsidor (www.elfa.se).

Appendix

Här finns lite mer information om instrumenten, för den som är intresserad.

Multimetern (fördjupning)

Om man skall mäta rena likspännings- eller likströmsnivåer och är ointresserad av överlagrade signaler, eller om man vet att signalen är en ren sinus med låg frekvens, kan man ofta använda multimeter istället för oscilloskopet. De flesta digitala multimetrar kan mäta spänning, ström och resistans. Vissa multimeterar kan även mäta upp pn-övergångar (dioder och transistorer).



Figur 13: Blockschema för spänningsmätning i en multimeter.

Figur 13 visar ett blockschema för likspänningsmätning i en multimeter. Ingångssteget dämpar eller förstärker spänningen till en nivå som är lämplig för den efterföljande AD-omvandlaren. I omvandlaren jämförs spänningen med en inbyggd spänningsreferens och omvandlas till digital form. Resultatet visas på en sifvertabla (display). Mer avancerade instrument har möjlighet att kommunicera med en dator. Styrlogiken innehåller oftast en mikroprocessor som kontrollerar AD-omvandlingen och displayhanteringen. Likspänningsmätningen utgör en central funktion i en multimeter eftersom de flesta andra mätfunktionerna som växelspanning, likström, växelström och resistans görs genom att storheten som skall mätas först överförs till en likspänning som sedan mäts enligt ovan. Det som visas på displayen kalibreras så att det visar värdet på storheten som mäts, t ex ohm eller mA (milliampere). En multimeter är lätt att använda, men man bör vara medveten om dess begränsningar.

- Multimetern får inte belasta mätobjektet för hårt. Vid spänningsmätning måste multimeters inresistans vara mycket större än mätobjektets och vid strömmätning mycket mindre. Det som generellt gäller vid mätningar är att mätobjektet inte får påverkas i någon större grad av ett inkopplat mätinstrument för att undvika mätfel.
- Man skall inte mäta signaler med amplituder som överstiger multimeters mätområde. Det vanligaste resultatet av att man försöker mäta en för hög spänning eller ström är att säkringen går, men har man otur kan ingångskretsarna

förstöras. Även om displayen på instrumentet visar flera decimaler är det inte säkert att man kan räkna med att alla siffrorna är signifikanta.

- Multimetern fungerar bara inom ett visst frekvensområde. De multimetrar, som används på laborationerna är användbara upp till ca 1 kHz. Över 1 kHz dämpas signalen så mycket internt att man inte kan lita på det visade värdet.
- När man mäter tidsvarianta signaler mäter multimetern rms-värdet (rms = root mean square, effektivvärdet) av signalen. De multimetrar som finns vid laborationsplatserna är kalibrerade för att mäta rms för en sinussignal. Vet man inte vilken kurvform man har, bör man använda oscilloskopet.

Rms-värdet eller effektivvärdet av en växelspänning motsvarar det likspänningsvärde som ger samma genomsnittliga effektutveckling i t.ex. en resistor som växelspänningen. Effektivvärdet för en periodisk spänning $v(t)$ med periodtiden T ges av:

$$V_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (v(t))^2 dt}$$

För att mäta detta värde korrekt krävs analoga kretsar som kan kvadrera signalen, integrera och sedan beräkna kvadratroten av resultatet. Alternativt kan man AD-omvandla signalen snabbt och sedan låta en mikroprocessor räkna ut effektivvärdet. Både dessa metoder är relativt sett dyra att genomföra och därför använder man sig av en alternativ metod i enklare instrument. Man antar helt enkelt att signalen är sinusformad och mäter det likriktade medelvärde av signalen. Värdet multipliceras med en konstant för att bilda effektivvärdet för sinussignalen. Nackdelen är att om man mäter på andra kurvformer än sinus kommer instrumentet att visa fel. Det likriktade medelvärdet ges av:

$$|\bar{V}| = \frac{1}{T} \int_0^T |v(t)| dt$$

Oscilloskopet (fördjupning)

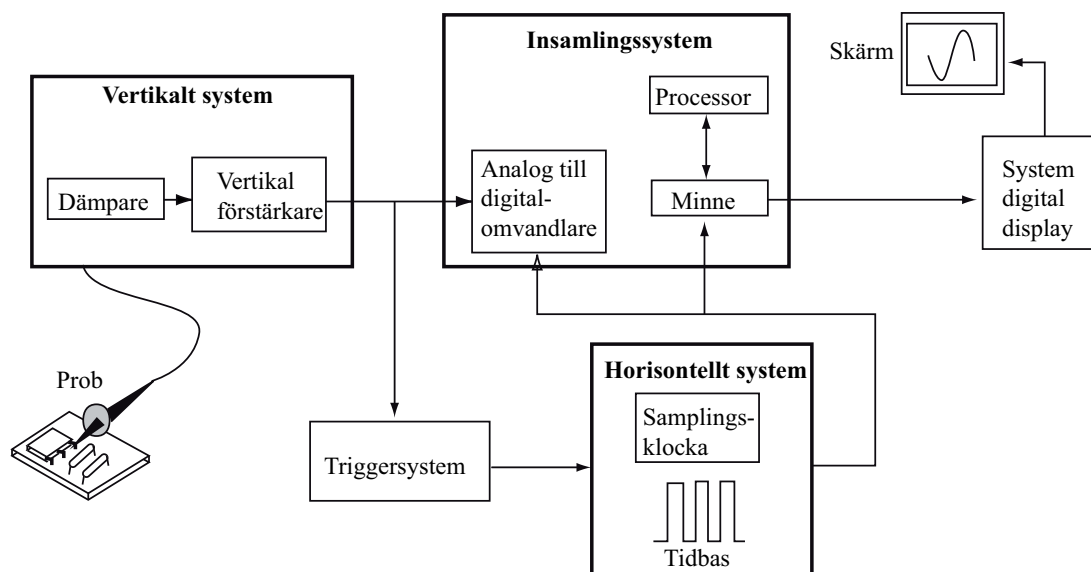
Blockschema

Mycket förenklat kan man säga att oscilloskopet har samma blockschema som multimetern. Skillnaden är att blockets styrlogik är en dator och displayen är en skärm.

Blockschema för ett digitalt oscilloskop visas i figur 14. Dagens oscilloskop har digital signalbehandling och består i princip av ingångsmodul enligt figuren, medan resten är en PC med avancerade AD-omvandlare och signalbehandlingskretsar som utför funktionerna i de andra blocken.

Grundenheten

Grundenheten innehåller grafikstyrning och kommunikation, t.ex. nätverk och USB. På skärmen ritas bilden av den anslutna signalens tidsförlopp.



Figur 14: Förenklat blockschema för ett digitalt standardoscilloskop.

Vertikalt system

Denna enhet är oscilloskopets ingångsförstärkare för Y-signalen, d.v.s. normalt den signal man vill mäta. Den kan AC-kopplas eller DC-kopplas (se nedan). Med Y-förstärkarens dämpsats kan man bestämma signalkurvans storlek i Y-led. Oscilloskopen har normalt minst två kanaler, vilket gör att minst två signaler kan visas samtidigt på skärmen. Tidsaxelns upplösning är gemensam för de båda kanalerna, men upplösningen i y-led kan vara olika.

Horisontellt system

Enheten har till uppgift att generera tidsaxeln (svepet). Tidsaxeln går från vänster till höger på skärmen. Enheten har också de reglage som gör det möjligt att starta (trigga) svepet vid önskad tidpunkt

Oscilloskopets kontroller

Kontroller för bilden:

POWER ON-OFF Strömbrytare för till- och frånslag av instrument på ovansidan.

INTENS Inställning av strålens ljusintensitet.

Kontroller för horisontalavlänkning (x-led)

Horisontal	Omkopplare för svephastighet i x-led. Tiden anges i fönstret som tid per ruta på skärmen.
X-Position	Flyttar strålen i X-led. Används för att lägga startpunkten i önskat läge på skärmen.
LEVEL MTB	Omkopplare och reglage för trigging av svepet i X-led. Med ratten LEVEL MTB ställs önskad triggnivå in.

Kontroller för vertikalavläkning (Y-led)

Ch1, Ch2, B	Omkopplare för inställning av känslighet i Y-led för de två kanalerna. Spänningen anges i fönstret som spänning per ruta på skärmen.
POSITION	Flyttar strålen i Y-led. Används för att lägga 0V-nivån i önskat läge på skärmen.
GND, AD/DC	<p>GND – Jordar ingången på oscilloskopet och kopplar bort ingångskontakten. Används t.ex. vid inställning av lämpligt läge för 0V-nivån på skärmen.</p> <p>DC – Insignalen går direkt in i oscilloskopet och både AC- och DC-signaler visas på skärmen.</p> <p>AC – DC – spänningar blockeras på ingången till oscilloskopet och endast AC-signaler visas på skärmen.</p>

Jämförelse mellan oscilloskopet och den digitala multimetern

Likspänningar och strömmar bör mätas med den digitala multimetern, medan periodiska signaler i de flesta fall bör mätas med oscilloskopet. Multimetern klarar dock av att mäta effektivvärdet för lågfrekventa (< 1 kHz) signaler. Multimetern mäter noggrannare och är mindre och lättare att handskas med än oscilloskopet. Batteridriften gör den oberoende av nätspänningen. Den behöver ingen anslutning till jord och kan alltså användas till att mäta potentialen mellan två valfria punkter i en koppling. Det finns även batteridrivna instrument, som är en kombination av ett digitalt oscilloskop och en multimeter. Många av dagens oscilloskop har både batteridrift och ett flertal signalbehandlingsmöjligheter t.ex. multimeter, FFT³ etc.

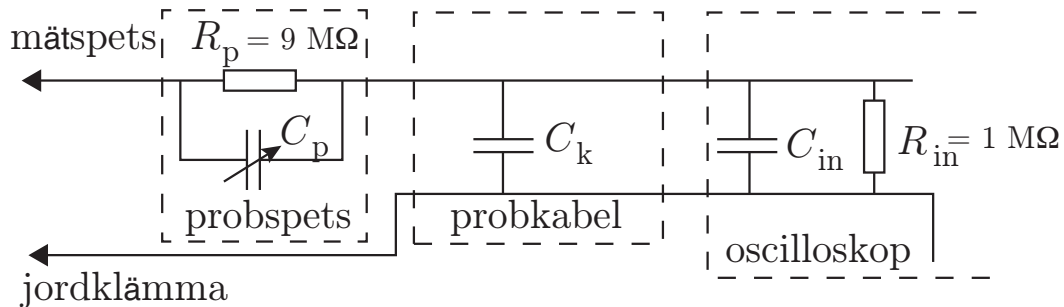
Proben, fördjupning

Hur får vi signalen till oscilloskopet? Det är inte fullt så trivialt som det kanske låter. På oscilloskopet finns koaxialkontakter, se sid 13, en för varje kanal och ytterligare en för en extern triggsignal⁴. Den ände av mätsladden som skall anslutas till oscilloskopet skall alltså ha en koaxialkontakt. Hur den andra änden av sladden ser ut kan väljas alltefter hur mätobjektet ser ut. Om man t.ex. vill titta direkt på en signal från en funktionsgenerator, vilken har koaxialkontakter som utgångar, kan man använda en sladd med koaxialkontakter i båda ändarna. I andra fall kanske man

³Fast Fourier Transform. En beräkning som visar frekvensinnehållet i en signal.

⁴Vanligen triggas man på någon av oscilloskopets kanaler, men ibland vill man kunna trigga på en extern signal. Då kan man utnyttja denna ingång.

använder en koaxialkabel, där två banankontakter finns monterade i ena änden (en för signalen och en för signaljorden). Den här typen av kabel kan endast användas för låga frekvenser, mindre än 1kHz, om man vill behålla noggrannheten. Vanligast är att man använder de mätprobar som följer med oscilloskopet (figur 8 på sidan 11 och figur 15 nedan). Proben kan ställas in för $\times 1$ - eller $\times 10$ -dämpning. Normalt används $\times 10$ -dämpning. Probens inimpedans är högre än direktingångens (vid $\times 10$) och belastar därmed mätobjektet mindre (d.v.s. jämförelsevis lite ström går till mätinstrumentet och kopplingen påverkas mindre av de genomförda mätningarna). För att göra dämpningen av mätsignalen oberoende av frekvensen, finns både en resistans och en kapacitans i proben, se figur 16. Med dessa balanseras den resistans och den kapacitans som finns på oscilloskopets ingång och framför allt den kapacitans som finns mellan mätledning och jord i mätsladden.



Figur 15: Modell av 10:1 proben och oscilloskopets ingång med probkabelns ekvivalenta kapacitans inlagd. Notera kompenseringkapacitansen i probspetsen.

Senare i kursen, med kunskaper i växelströmlära, kan vi visa att spänningen in till oscilloskopet, V_{osc} , i förhållande till signalen vid mätobjektet, $V_{\text{mätt}}$, ges av

$$V_{\text{osc}} = \frac{R_{\text{in}} \parallel \frac{1}{j\omega(C_{\text{in}} + C_{\text{kabel}})}}{R_{\text{in}} \parallel \frac{1}{j\omega(C_{\text{in}} + C_{\text{kabel}})} + R_{\text{prob}} \parallel \frac{1}{j\omega C_{\text{prob}}}} V_{\text{mätt}}$$

där \parallel står för parallellkoppling av komponenter. R_{in} är $1 \text{ M}\Omega$ och R_{prob} är $9 \text{ M}\Omega$. På oscilloskopets framsida finns en speciell kalibreringsutgång, dit man kan koppla proben. Kalibreringssignalen är en fyrkantsvåg som används för att justera förhållandet mellan kapacitanserna för bästa möjliga överföring. Det sitter en justerbar kapacitans antingen i proben eller i mätsladdens kontakt mot oscilloskopet. Gör till vana att kontrollera att proben är justerad inför varje laboration! När proben fungerar som den ska, ser kalibreringssignalen verkligen ut som en fyrkantsvåg på oscilloskopskärmen, se figur 9 på sidan 11. Ingen upp- eller urladdning av kapacitanser syns. Om proben inte är justerad, be din laborationshandledare om hjälp. (Man måste vara mycket försiktig, så att inte den justerbara kapacitansen går sönder.)

För en korrekt kompenserad prob ges förhållandet för resistanser och kapacitanser av:

$$\frac{R_{\text{prob}}}{R_{\text{in}}} = \frac{C_{\text{kabel}} + C_{\text{in}}}{C_{\text{prob}}} = 9$$

Detta gör att signalen som visas på oscilloskopet är dämpad 10 gånger i förhållande till den signal som ansluts till probspetsen. En signal med 5 V amplitud visas som en signal med 0.5 V amplitud på oscilloskopskärmen.

När du använder prober är det ett par saker du måste tänka på:

- Om du använder båda kanalerna samtidigt vid mätning på kopplingar avsedda för låga frekvenser, räcker det att använda bara den ena jordsladden. På så sätt kan du undvika att kortsluta komponenter med felaktig placering av den andra jordsladden. Mätjordarna är förbundna inuti oscilloskopet. Vid högre frekvenser behöver i regel båda probarnas jordsladdar anslutas till jordpunkter så nära respektive probs mätpunkt som möjligt. Spänningsfall kan uppstå i jordledningarna och en felaktigt jordad prob ger då ett felaktigt mätvärde.
- Proben kan ställas in för $\times 1$ (ingen dämpning) eller $\times 10$, vid $\times 10$ dämpar proben signalen 10 ggr. Vissa oscilloskop kompenserar automatiskt för det, dock inte de vi har på lab. Det är bäst att kontrollera om så är fallet, t ex genom att ansluta en känd signal och avläsa dess amplitud på oscilloskopet. Om oscilloskopet inte kompenserar, måste man själv multiplicera de spänningar som avläses på oscilloskopskärmen med en faktor 10 eller som i vårt fall ställa in vilken prob som är ansluten genom att välja i menyn.

Laboration 1

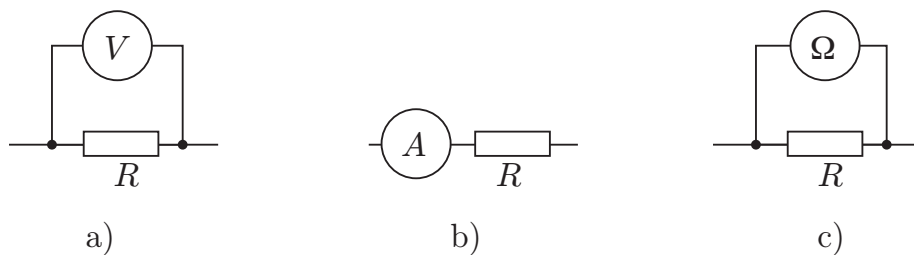
Mätinstrumenten

1 Syfte och mål

I denna laboration skall ni lära er hantera de instrument som finns i lablokalen. För att bli godkänd skall ett praktiskt prov genomföras och godkännas. Mer information ges på kursens hemsida.

2 Teori och mätteknik

2.1 Mätning av spänning, ström och resistans med multimeter



Figur 16: a) spänningsmätning, b) strömmätning, c) resistansmätning

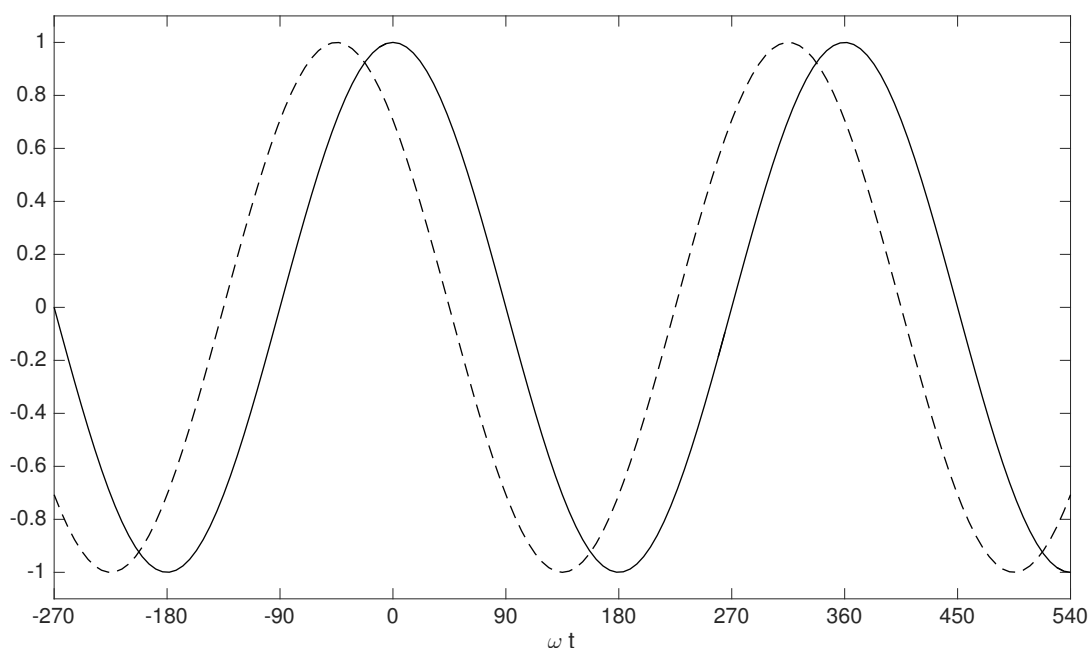
- **Spänning-** Instrumentet (voltmeter eller oscilloskop) kopplas in parallellt med den del av kretsen över vilken spänningen skall mätas, se figur 16a. Det är viktigt att instrumentet har en såpass hög inresistans att strömmen genom det är försumbar.
- **Ström-** Multimetern kan direkt mäta likström och lågfrekventa strömmar. Ställ då in multimetern som amperemeter och koppla den i serie med mätobjektet, se figur 16b. Amperemetern har mycket låg inresistans för att få försumbart spänningsfall. En indirekt mätmetod, som även fungerar med oscilloskop, är att mäta spänningen över en känd resistans och bestämma strömmen med hjälp av Ohms lag.
- **Resistans-** Resistansmätning görs genom att multimetern ställs in som ohmmeter och kopplas in enligt figur 16c. Det är viktigt att komponenten inte är kopplad till någon krets vid mätningen.

2.2 Mätning av amplitud och fas med oscilloskop

En sinusformad spänning kan skrivas

$$v(t) = \hat{V} \cos(\omega t + \phi)$$

där \hat{V} är amplituden, även kallat toppvärdet, $\omega = 2\pi f$, är vinkelfrekvensen, t tiden och ϕ fasvinkeln, även kallad fasen. I en av uppgifterna i laborationen skall du med oscilloskopet mäta spänningarna och fasen i en krets som består av en resistans och en kondensator. Funktionsgeneratoren ger en sinusformad spänning $v_{AD}(t) = \hat{V}_{AB} \cos \omega t$ och spänningen över kondensatorn är $v_{BD}(t) = \hat{V}_{BD} \cos(\omega t + \phi)$.



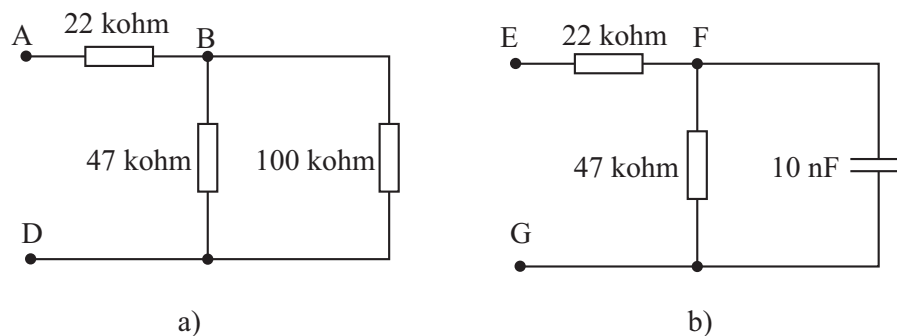
Figur 17: $\cos(\omega t)$ (heldragen kurva) och $\cos(\omega t + 45^\circ)$ (streckad kurva).

3 Förberedelseuppgifter

Dessa uppgifter skall göras innan du börjar mäta med oscilloskopet. De går bra att göra hemma innan du går till lablokalen:

1. Läs igenom avsnitten om oscilloskopet, multimetern och funktionsgeneratoren på sidorna 4–18. Läs igenom hela handledningen för denna laboration.
2. Bygg kretsen i figur 18a.

3. Räkna ut vilken resistans som ligger mellan punkt A och D. Kontrollera att detta stämmer genom att mäta upp resistansen med din multimeter.
4. Koppla in batteriet som spänningskälla mellan A och D. Mät upp spänningarna V_{AB} , V_{AD} och V_{BD} . Kontrollera att Kirchhoffs spänningslag stämmer.
5. Byt $100\text{ k}\Omega$ motståndet mot 10 nF kondensatorn. En kondensator fungerar som ett avbrott för likströmmar. Räkna ut vilken resistans som ligger mellan punkt E och G. Kontrollera att detta stämmer genom att mäta upp resistansen med din multimeter.
6. Vad skall strömmen vara genom kondensatorn? Kontrollera genom att mäta strömmen.
7. Tag med din uppkoppling i figur 18a samt 10 nF kondensatorn till laborationen.



Figur 18: Den vänstra kretsen skall byggas hemma och tas med till lablokalen. Ta även med 10 nF kondensatorn.

4 Uppgifter i lablokalen

Kom ihåg att anteckna mätresultat och observationer under arbetets gång.

1. Kontrollera att probarna och oscilloskopet är inställda på dämpningen $\times 10$ och att probarna är kalibrerade, se sidan 11
2. Prova att mäta med oscilloskopet genom att koppla in det till funktionsgeneratoren. Proben skall vara ansluten till oscilloskopet. En kabel med BNC-kontakt, se figur 11 på sidan 13, i ena ändan och krokodilkontakt i andra ändan ansluts till funktionsgeneratoren. Koppla in prob och jordkabel till krokodilkontakterna. Observera att jordkabeln måste vara sammankopplad med funktionsgeneratorns jord, d.v.s. krokodilklämman på probens jordkabel sätts

fast på den svarta jordledaren på kabeln från funktionsgeneratoren. Justera funktionsgeneratoren så att frekvensen är 10 kHz fyrkantsvåg med amplituden 1 V.

Justera oscilloskopet så att kurvan syns tydligt på skärmen. Var noga med att trigga på rätt kanal. Tryck på knappen **measure** på oscilloskopet för att bestämma den korrekta frekvensen från funktionsgeneratoren. Mät och anteckna frekvensen, amplituden och pulstiden.

Mät periodtiden både genom att använda cursor på oscilloskopet och genom att den inbyggda periodmätningen i menyn. Cursor finns som en knapp på framsidan. Tryck på denna och ställ den i läge Time. Ställ den ena cursorn på en punkt på signalen och den andra cursorn en period längre fram och mät upp tidsskillnaden T . Räkna ut frekvensen från periodtiden och jämför med frekvensen som oscilloskopet anger.

Mät återigen periodtiden, men nu för en sinusformad och därefter triangelformad signal.

Mät därefter periodtiderna för fyrkantsvågor med frekvenserna 75 Hz och 1 MHz.

3. Studera olika trigginställningar för en triangelvåg. Prova positiv och negativ flank och justera level.
4. Ställ in frekvensen 700 Hz. Mät en spänning med både multimetern och oscilloskopet, och jämför mätvärdena. Prova olika vågformer: sinus-, fyrkants- och triangelvåg. Skriv ner dina observationer. Ändra frekvensen till 200 Hz och gör om mätningen för sinusvågen. Ökar eller minskar skillnaden mellan oscilloskopets och multimeters mätvärden?
5. Mät stigtiden, d.v.s. tiden det tar för signalen att gå från låg till hög nivå, se figur 10 på sidan 12. Använd fyrkantsvåg på funktionsgeneratoren. Försök att göra mätningarna genom avläsning på skärmen och jämför med instrumentets egen mätning. För amplitudmätning är det bra att använda $V_{pp}/2$ där $V_{pp} = V_{\max} - V_{\min}$. Oscilloskopets stigtid är enligt tillverkaren 5.8 ns. Använd formeln (1) på sidan 12 för att bestämma signalens stigtid.
6. Ta fram din koppling som du förberett hemma, se figur 18a . Koppla in funktionsgeneratoren mellan A och D (jordklämman på D) och ställ in sinussignal med frekvensen 500 Hz.
7. Använd oscilloskopet och mät V_{AD} på CH1 och V_{BD} på CH2. Kontrollera att de uppmätta spänningarna stämmer med spänningsdelningsformeln.
8. Koppla bort oscilloskopet. Mät upp spänningarna V_{AD} och V_{BD} med multimetern. Multimetern skall stå på V_{\sim} , d.v.s. växelspanning. Kontrollera att de uppmätta spänningarna stämmer med spänningsdelningsformeln. Notera att multimetern mäter upp effektivvärdet av växelspanningen. Effektivvärdet definieras av $V_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}}\hat{V}$, där \hat{V} är toppvärdet (amplituden) av växelspanningen.

9. Byt ut 100 k Ω motståndet mot 10 nF kondensatorn. Mät återigen V_{AD} på CH1 och V_{BD} på CH2 med oscilloskopet. Låt först frekvensen vara 500 Hz och därefter 2 kHz. Mät upp amplitud- och fasskillnad mellan signalerna och fyll i tabellen. Amplitud- och fasskillnaden ϕ mäts på följande sätt:
- Koppla in oscilloskopet så att CH1 mäter spänningen från generatoren och CH2 mäter spänningen över kondensatorn. Jordkabeln för en av probarna skall sammankopplas med generatorns jord (ytterledaren på koaxialkabeln). Båda probarna får därmed samma jord som generatoren.
 - Vrid på knapparna för tidbas och amplitud så att en lagom del av sinuskurvorna syns på oscilloskopskärmen. Tryck på knappen **position** för CH1 och CH2. Då centreras kurvorna i y-led.
 - För att bestämma amplituderna kan du trycka på **measure**. Den andra ovala knappen räknat uppifrån ger dig möjlighet att se amplituden för de båda signalerna. Du kan mäta upp amplituden direkt på skärmen eller genom att välja V_{pp} i menyn. V_{pp} är signalens största värde minus det minsta. Amplituden för en sinusformad signal är därmed $V_{pp}/2$.
 - För att bestämma fasen kan du använda oscilloskopets inbyggda fasmätare. Tryck **measure** och välj **delay, type** \rightarrow **Phase**. Oscilloskopet mäter fasen relativt CH1, d.v.s. insignalen skall vara på CH1 om tecknet skall stämma.

Du kommer att finna att både amplituden och fasen för signalen över kondensatorn är frekvensberoende. Det visar sig att en kondensator fungerar som ett avbrott för låga frekvenser och som en kortslutning för höga frekvenser. Vrid upp frekvensen på funktionsgeneratoren så skall du se att amplituden \hat{V}_{BD} går mot noll.

Tabell 1: Mätningar av amplitud och fas

	500 Hz	2 kHz	1 MHz
\hat{V}_{AD}			
\hat{V}_{BD}			
ϕ			

10. Ställ in frekvensen 2 kHz och ehåll V_{AD} på CH1 och V_{BD} på CH2. Du kan samtidigt se spänningen över 22 k Ω motståndet genom att göra följande:
- Ställ in tidbasen så att ca en period syns på skärmen.
 - Centrera båda kurvorna genom att trycka på positionsrattarna.

- Ställ in samma Y-skala (volt/div) på båda kanalerna.
- Tryck på knappen Math och välj under rubriken Operation - och CH1-CH2.

Studera kurvorna. Den gröna är skillnaden d.v.s. spänningen över $22\text{ k}\Omega$ motståndet. Förvissa dig om att Kirchhoffs spänningslag även gäller för växelström, d.v.s. att $v_{\text{in}}(t) = v_{\text{C}}(t) + v_{\text{R}}(t)$. Mät upp V_{pp} för insignalen, kondensorn och resistorn. Gäller $V_{\text{pp,in}} = V_{\text{pp,C}} + V_{\text{pp,R}}$ för alla frekvenser? Den matematiska förklaringen till att det inte gäller får du i läsvecka 3.

11. På labbänken finns ett spänningsaggregat, PowerBox, se figur 4 på sidan 6. Anslut med två kablar med banankontakter och krokodilklämmor nod A till röd kontakt och nod D till blå kontakt på den vänstra utgången på spänningsaggregatet, se figur 4 på sidan 6. Slå på aggregatet med strömbrytaren längst nere till vänster. Ställ in spänningen på 5 V. Använd kretsen i figur 18a. Mät spänningarna V_{AD} , V_{AB} och V_{BD} med multimetern. Ange spänningarna med tecken. Visa att Kirchhoffs spänningslag gäller.

Tabell 2: Spänningsmätning med likspänning

V_{AD}	
V_{AB}	
V_{BD}	

5 Redovisning och kontroll av mål

Laborationen avslutas med ett prov där du skall visa att du behärskar oscilloskopet, multimetern och funktionsgeneratorn. Du skall koppla in en krets till funktionsgeneratorn och oscilloskopet för att sedan göra diverse mätningar. Du skall bl.a. visa att du kan

- Kalibrera probarna och ställa in dämpningen.
- Koppla in och ställa in funktionsgeneratorn.
- Förklara vad triggern gör och hur man ställer in den.
- Behärska mätning av amplitud, frekvens, fasskillnad och stigtid med oscilloskopet. Vara förtrogen med oscilloskopets menyer. Kunna använda cursors.
- Förklara vad som menas med AC- och DC-kopplat oscilloskop. Varför vill man ibland ha AC-kopplat oscilloskop?

- Mäta spänning och ström med multimetern för DC och AC. Förklara vilka begränsningar multimetern har vid AC mätning jämfört med oscilloskopet.

Det blir ibland kö till redovisningarna. Använd gärna denna tid till att testa dina kunskaper tillsammans med en labkompis.

Laboration 2

RC- och RL-nät i frekvensplanet

1 Syfte och mål

Efter laborationen förväntas du

- förstå hur signaler påverkas av ett RC- eller RL-nät
- kunna konstruera ett Bode-diagram från mätresultat
- förstå begreppen brytpunkt, frekvens- och fasgång
- ha fått större laborationsvana

2 Teori och mätteknik

2.1 Signaler för nätanalys

För att analysera en krets genom mätningar använder man väldefinierade insignaler. Genom att mäta upp motsvarande utsignaler får man information om kretsen, utan att veta hur kretsschemat ser ut. I denna laboration används tidsharmoniska signaler för att analysera kretsarna. En tidsharmonisk spänning är det man normalt brukar kalla växelspanning och ges av

$$v(t) = V_0 \cos(\omega t + \phi),$$

där $\omega = 2\pi f$ är vinkelfrekvensen, f är frekvensen och ϕ fasen. Genom att mäta f , V_0 och ϕ vet vi allt om signalen.

Med $j\omega$ -metoden kan man överföra den tidsberoende växelspanningen till en komplex spänning. Som ni sett på föreläsningarna är transformationen mellan den tidsberoende spänningen $v(t)$ och den komplexa spänningen V given av

$$v(t) = V_0 \cos(\omega t + \phi) \longleftrightarrow V = V_0 e^{j\phi}$$

Det komplexa talet V innehåller alltså informationen om både amplituden och fasen.

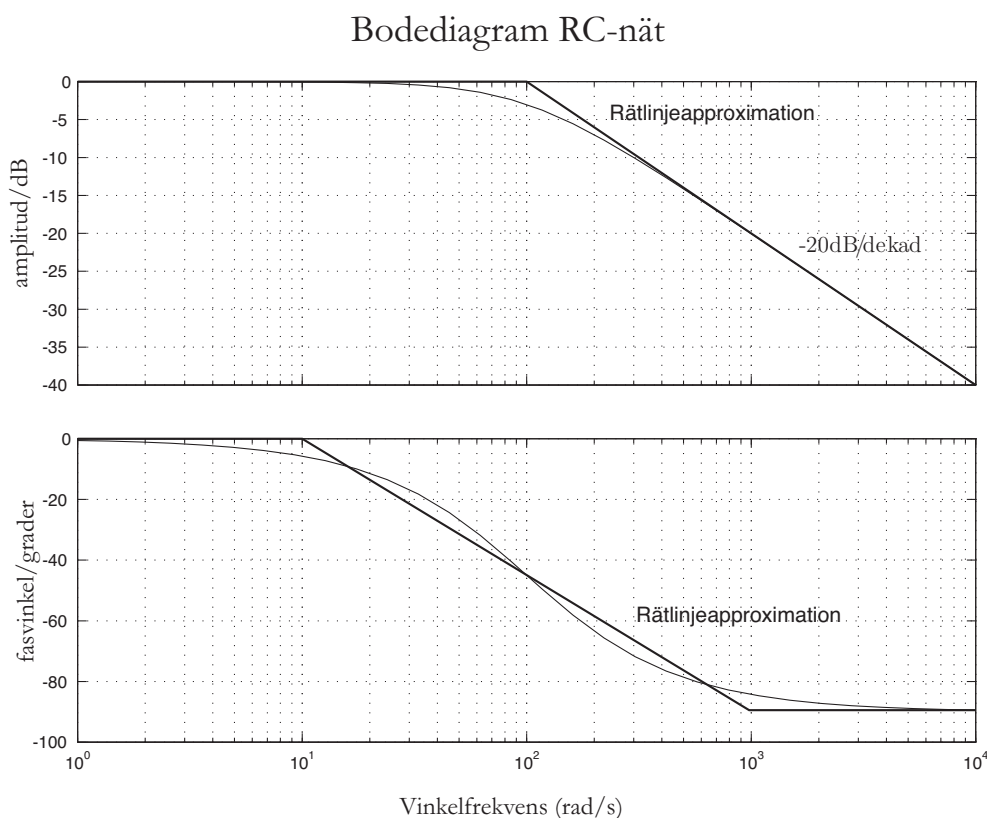
I de flesta fall kan man representera den krets som skall analyseras med en tvåport. Insignalen, som genereras av t.ex. en funktionsgenerator, kopplas in på ingångsporten och utsignalen mäts på utgångsporten. Utsignalens amplitud och fas skiljer sig normalt från insignalens och skillnaden kan vara frekvensberoende. Variationen av utsignalens amplitud med frekvensen kallas för tvåportens frekvensgång och variationen av utsignalens fas med frekvensen kallas för tvåportens fasgång.

Både frekvensgången och faskången bestäms av tvåportens överföringsfunktion H som definieras av

$$H(j\omega) = \frac{V_{\text{ut}}}{V_{\text{in}}}$$

Vi har skrivit ut argumentet ($j\omega$) i överföringsfunktionen för att indikera att denna beror av vinkelfrekvensen⁵. Även utsignalens spänning är frekvensberoende, men det brukar man inte skriva ut.

2.2 Bodediagram



Figur 19: Bodediagrammen för ett låpassfilter

När man analyserar en tvåport över ett stort frekvensintervall är det värdefullt att kunna presentera resultatet grafiskt. Det finns två aspekter man bör ta hänsyn till. Dels vill man ofta använda ett brett frekvensintervall och ha god upplösning för både höga och låga frekvenser. Det gör att det inte duger med en vanlig linjär skala för x -axeln. Dels kommer absolutbeloppet av överföringsfunktionen att variera över flera tiopotenser, vilket omöjliggör en linjär skala för y -axeln. Lösningen på detta

⁵Anledningen till att imaginära enheten finns med är att samma överföringsfunktion dyker upp i analog elektronik och reglerteknik men att man där använder argumentet $s = j\omega$.

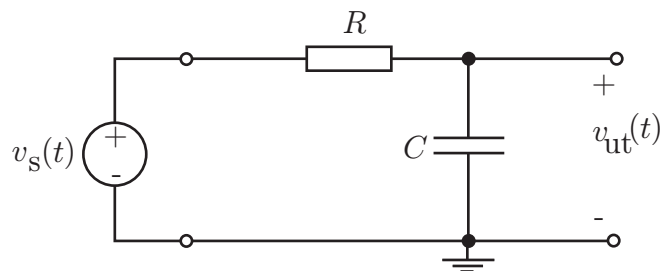
problem är att använda sig av logaritmisk skala för både x -och y -axeln. Vi plottar därför absolutbeloppet av H i ett log-log diagram. Fasen är däremot begränsad till intervallet $-90^\circ < \phi < 90^\circ$ vilket gör att man plottar denna i ett lin-log diagram. Graferna av absolutbeloppet och fasen kallas Bodediagram. De har behandlats på föreläsningar och övningar och finns också beskrivna i kursboken. I stället för att använda $\log(|H|)$ på y -axeln i amplituddiagrammet används $|H|$ i decibelskala d.v.s.

$$|H|_{\text{dB}} = 20 \log(|H|)$$

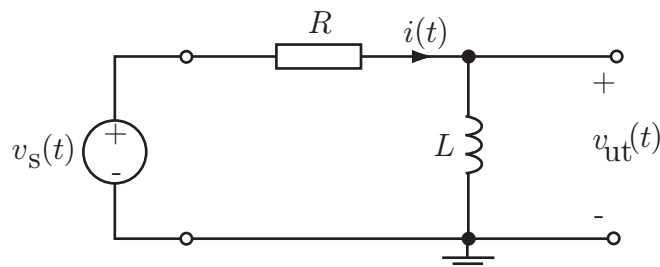
En viktig egenskap för Bodediagrammen är att man ganska lätt kan bestämma filtrets brytpunkter och asymptotiska uppförande från dess grafer.

2.3 Lågpas- och högpasfilter, RC- och RL-nät

Den här laboration skall öka din förståelse för hur man kan filtrera en signal som är en superposition av flera signaler med olika frekvenser. Vi koncentrerar oss på lågpas- och högpasfilter och för detta använder vi oss av RC- och RL-nät. Dessa nät är oerhört viktiga eftersom de är enkla och stabila och används flitigt inom elektroniken. De fungerar också som förenklingar av ingången till mer komplicerade system. Ingången till oscilloskopet kan t.ex. ses som ett RC-nät, se figur 15 på sidan 19. I figur 20 visas kopplingen för ett RC-nät och i figur 21 kopplingen för ett RL-nät.



Figur 20: RC-nät som lågpasfilter



Figur 21: RL-nät som högpasfilter

3 Förberedelseuppgifter

OBS! När du kommer till labben måste du ha gjort punkterna 1-3 nedan. Om dessa inte är gjorda får du inte göra laborationen utan måste vänta till ett senare tillfälle. Läs igenom avsnittet om RC- och RL-nät i kurslitteraturen och/eller i föreläsning-anteckningarna. Se till att du har räknat några av uppgifterna i exempelsamlingen som behandlar dessa nät, t.ex. uppgifterna 14.3, 14.11 och 14.12. Innan du gör labben skall du dimensionera och koppla upp två kretsar med komponenter från ELFA-lådan på din kopplingsplatta. Kretsarna skall användas i laborationen och skall tas med till laborationstillfället.

1. Beräkna och koppla upp ett högpasfilter med brytfrekvensen $\omega_b = 10^5$ rad/s. Du skall använda spolen 10mH. Ställ upp överföringsfunktionen för RL-nätet.
2. Beräkna och koppla upp ett lågpasfilter med brytfrekvensen $\omega_b = 10^5$ rad/s. Du skall använda kondensatorn 10nF. Ställ upp överföringsfunktionen för RC-nätet.
3. Mät upp DC-resistansen för spolen respektive för kondensatorn. Rita fullständigt kretsschema för de båda näten inklusive generator. Tror du att spolens eller kondensatorns resistanser kommer att påverka Bodediagrammen?
4. Bestäm Theveninekvivalenten för uppgift 5 då kondensatorn ses som last. Notera att man kan alltid byta plats på två parallellkopplade komponenter.

4 Uppgifter i labbet

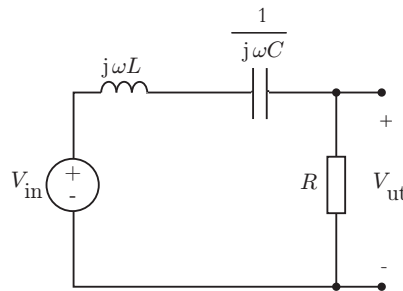
Du skall nu använd de kretsar du kopplat upp på ditt kopplingsdäck, enligt förberedelsen. Om du vill kan du spara data från oscilloskopet på ett USB-minne.

1. Börja med att kontrollera att probarna har dämpning $\times 10$ och att oscilloskopet är inställt på denna dämpning på båda kanalerna. Kontrollera att probarna är kalibrerade.
2. Använd oscilloskopets båda ingångar, en för insignalen och en för utsignalen. Anslut båda probarna, en på insignalen och en på utsignalen. I brytpunkten har amplituden för utsignalen sjunkit med en faktor $1/\sqrt{2} \approx 0.7$ (-3dB) relativt insignalens amplitud. Utnyttja detta för att bestämma brytpunkten genom att variera frekvensen på tongeneratorn och studera amplituden för utsignalen.
3. För att kunna plotta diagrammet behövs en punkt vid brytfrekvensen, minst fyra punkter under brytfrekvensen och minst fyra över. Du kan använda diagrammen som finns i figurerna 23 och 24. Frekvenspunkterna är markerade på x-axeln. Notera att frekvensvärdena är multiplar av brytfrekvensen. Börja med RC-nätet och gör mätningar och plotta diagrammen för både amplitud (log-log) och fas (lin-log). Oscilloskopet har inbyggd fasmätning, (MEASURE, DELAY, TYPE \Rightarrow Phase). Kontrollera att den stämmer genom att mäta upp

fasen med cursorn. Var noga med tecknet på fasen. Om insignalen är kopplad till CH1 kommer oscilloskopets fas att ha omvänt tecken mot det teoretiska värdet. Gör samma mätning på RL-nätet. Fundera lite extra på mätvärdena för låga frekvenser för RL-nätet.

4. Rita in de asymptotiska Bodediagrammen i samma plot som de uppmätta Bodediagrammen.
5. Parallellkoppla utgången på RC-nätet med en resistans $R/2$ och bestäm brytpunkten genom mätning. Brytfrekvensen nu är frekvensen där amplituden gått ner 3 dB från värdet vid frekvensen noll. Ge en teoretisk förklaring till eventuella förändringar i brytpunkt och asymptotiska värden genom att använda Theveninekvivalenten som beskrivs i förberedelseuppgiften.

4.1 Extrauppgift: LC-bandpassnät



Figur 22: Bandpassfilter

Nätet i figur 22 är ett bandpassfilter. Det släpper igenom ett smalt band av frekvenser men stoppar frekvenser som är högre eller lägre än detta intervall. Överföringsfunktionen ges av

$$H = \frac{V_{\text{ut}}}{V_{\text{in}}} = \frac{R}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}}$$

Absolubeloppet av H , d.v.s. dämpningen, ges av

$$|H| = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

Vi ser att $|H| = 1$ för frekvensen $f = \omega/2\pi = 1/(2\pi\sqrt{LC})$. Man kallar denna frekvens för kretsens resonansfrekvens. Bredden på det frekvensband som filtret släpper igenom kallas för filtrets bandbredd och ges av det frekvensband för vilka

$$|H| \geq 1/\sqrt{2}$$

För att bestämma bandbredden skall man finna de två frekvenser för vilka

$$|H| = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

Genom att kvadrera denna ekvation får man en andragradsekvation med lösningarna

$$\omega_1 = \frac{R}{2L} + \sqrt{\frac{1}{LC} + \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$$

$$\omega_2 = -\frac{R}{2L} + \sqrt{\frac{1}{LC} + \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$$

Bandbredden ges av $BW = \omega_1 - \omega_2 = R/L$.

4.1.1 Utförande

Använd först 10 mH spolen, 10 nF kondensatorn samt en resistorn $R = 100 \Omega$. Bestäm de teoretiska värdena på resonansfrekvens och bandbredd. Mät upp resonansfrekvensen. Vad blir värdet på $|H|$ vid resonansfrekvens och varför når det inte upp till ett?

För att få mindre dämpning vid resonansen kan du byta kondensatorn till $C = 100 \text{ pF}$ och motståndet till $R = 1 \text{ k}\Omega$. Bestäm de teoretiska värdena för resonansfrekvensen och för bandbredden. Genomför mätningar så att du kan skissa Bode-diagrammet för bandpassnätet. Jämför med de beräknade värdena ur ekvationerna ovan och förklara eventuella skillnader. Mät bandbredden.

4.1.2 Diskussion

Hur kan ett nät som endast släpper igenom audiofrekvenser, 20Hz - 20kHz, konstrueras?

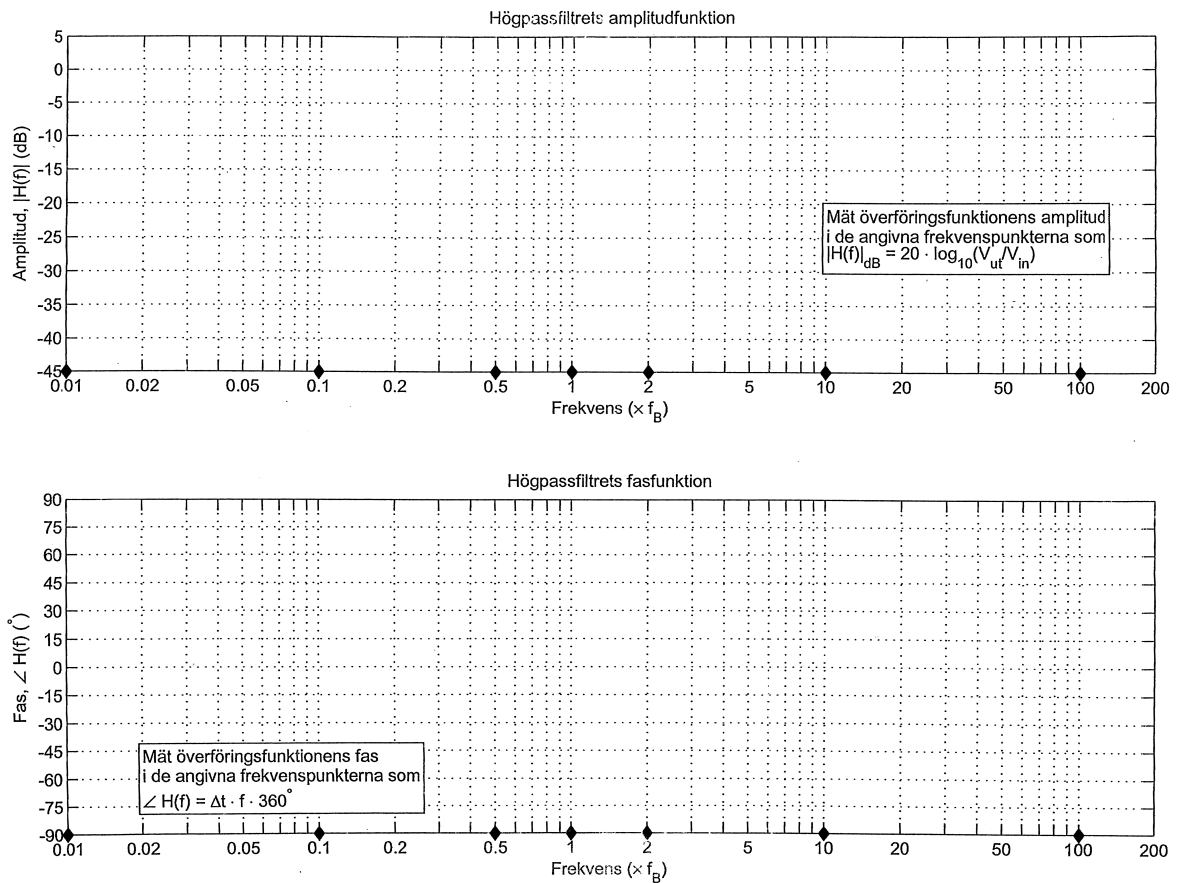
5 Redovisning och kontroll av mål

Du skall skriva en rapport till denna labb. Information om detta finns på kursens hemsida.

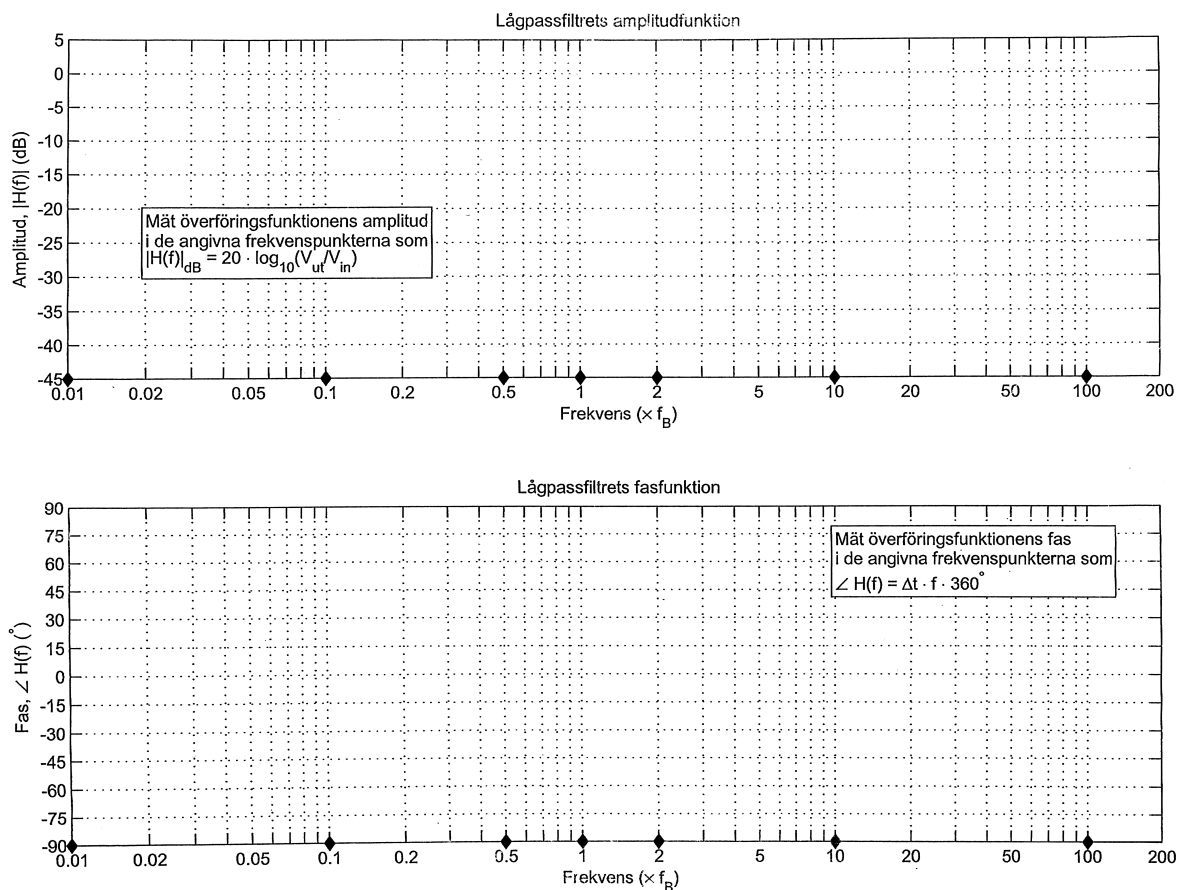
Efter labben skall du kunna följande:

1. Konstruera första ordningens högpas- och lågpasfilter.
2. Beskriva begreppet brytpunkt och genom mätning bestämma vinkelfrekvensen ω_b för de båda kretsarnas brytpunkter.
3. Utgående från överföringsfunktionen bestämma utsignalens amplitud och fas i brytpunkten för de två näten.

4. Kunna bestämma dämpningen och fasvridningen för andra frekvenser utgående från Bodediagrammen. Hur stor är t.ex. dämpningen och fasvridningen för $f = 100f_b$ respektive $f = f_b/100$ för RL- och RC-näten (f_b betecknar brytfrekvensen)?
5. Kunna förklara nyttan med att rita ett Bode-diagram.



Figur 23: Bodediagram för högpassfilter. Frekvenspunkterna finns indikerade på x-axeln.



Figur 24: Bodediagram för lågpassfilter. Frekvenspunkterna finns indikerade på x-axeln.

Laboration 3

Operationsförstärkaren

1 Syfte och mål

Efter laborationen skall du

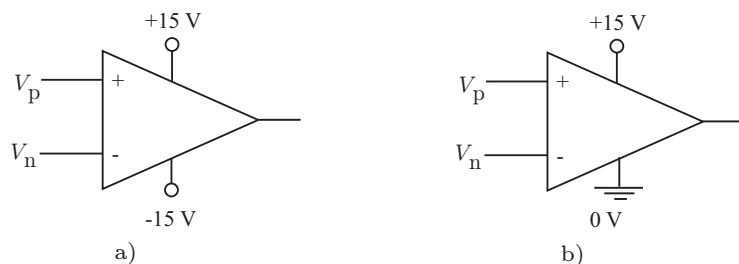
- förstå varför förstärkare behövs
- förstå hur en operationsförstärkare fungerar
- förstå hur man på ett enkelt sätt kan konstruera olika typer av förstärkarkretsar

2 Teori och mätteknik

En av de mest använda komponenterna i dagens elektronik är operationsförstärkaren (eller kort och gott OP:n). Den här laborationen skall visa hur OP:n fungerar och varför den är en viktig komponent. Komponenter som transistorer och OP-förstärkaren kallas aktiva medan resistorn, kondensatorn och spolen kallas passiva. Kretsar som bara innehåller RLC-komponenter kan endast (i medeltal) minska en given insignal medan kretsar innehållande OP och/eller transistorer även kan förstärka signalen. Eftersom det är omöjligt att få ut mer energi från ett system än vad man tillför innebär det att man måste tillföra mer energi än bara signalen. Denna energi kommer från spänningsaggregatet via drivspänningen till OP:n/transistorer.

2.1 Spänningsmatning av OP:n

Det var länge vanligast att operationsförstärkare matades med en hög symmetrisk spänning relativt jord, och att in- och utsignaler var begränsade till max ett par volt från matningsspänningarna. Numera finns OP som klarar låg matningsspänning t.ex. ± 2 V. Man kan koppla spänningsmatningen som dubbel, figur 25a, eller enkel, figur 25b. Med dubbel matningsspänning blir det lätt att referera 0V till signaljord. Enkel matningsspänning är praktiskt om OP:n skall spänningsmatas i system med digital logik där det ofta endast finns en matningsspänning, t.ex. 5V. OP med låg matningsspänning har i regel möjlighet att ha både in- och utsignaler nära matningsspänningen s.k. Rail-to-Rail. Den OP som används på labben heter TLC071 och är av den första typen, medan t.ex. OPA347 är ett exempel på den senare typen. I labben används dubbel matningsspänning med ± 5 volt.



Figur 25: Spänningsmatning av OP:n. Dubbel till vänster och enkel till höger.

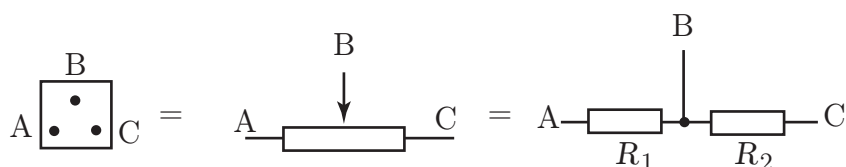
2.2 Förstärkarkopplingar

OPn är generell och många kopplingar kan byggas med OPn. En vanlig tillämpning är omvandlare för mätsignaler till datainsamlingssystem. I den här labben skall vi bygga en spänningsförstärkare, en spänning till strömförstärkare och en ström till spänningsförstärkare. De tre förstärkarna skall kontrolleras var och en för sig för att sedan kaskadkopplas.

Vi vill att spänningsförstärkaren skall ha så stor inimpedans och så liten utimpedans som möjlig. Den icke-inverterande OP-förstärkaren uppfyller dessa krav. Med en ideal OP blir inimpedansen oändlig och utimpedansen noll för den icke-inverterande förstärkaren.

2.3 Trimpotentiometer

En potentiometer delar upp en resistans i två delar, enligt figur 26. Trimpotentiometern som används i labben har totala resistansen $R = R_1 + R_2 = 10 \text{ k}\Omega$. Genom att vrida på trimskruven ändras fördelningen mellan R_1 och R_2 .

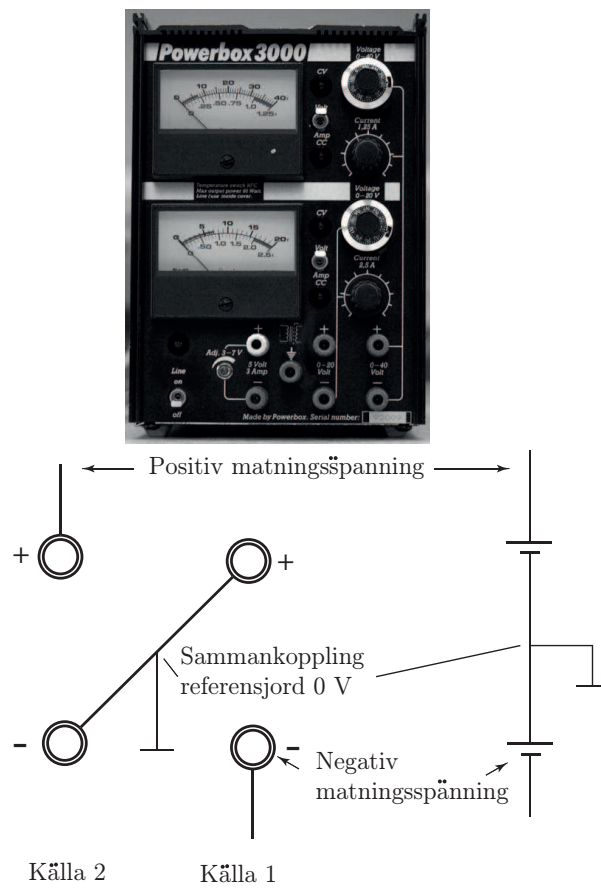


Figur 26: Potentiometer

3 Förberedelseuppgifter

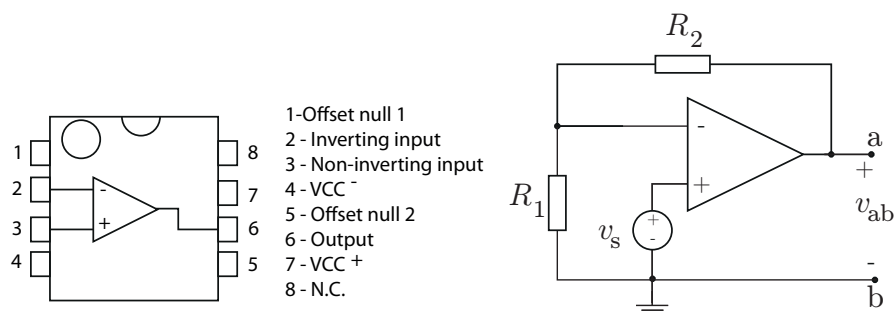
Repetera avsnitten om OP-kopplingar i kursboken och föreläsninganteckningarna. Se till att du förstår varför den icke-inverterande förstärkaren har oändlig inimpedans och noll utimpedans. Gör sedan följande uppgifter:

1. Rita upp kretsschemat för en icke-inverterande spänningsförstärkare och ange förstärkningen i de ingående resistanserna.

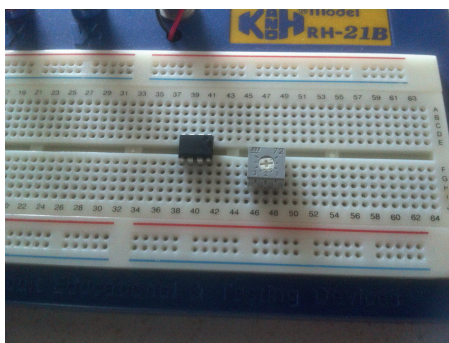


Figur 27: Spänningsaggregatet och koppling för dubbel matningsspänning.

2. Bestäm lämpliga resistanser i en koppling som ger förstärkningen 11.
3. Koppla in TLC071 på kopplingsplattan, enligt figurerna 28 och 29. Koppla upp de båda resistanserna så att förstärkningen blir 11. Låt den minsta resistansen (R_1) vara $1\text{ k}\Omega$.
4. Rita upp kretsschemat för en V-I förstärkare och uttryck förstärkningen i de ingående resistanserna.
5. Bestäm lämpliga resistanser så att en insignal av 1 V ger en utsignal av 1 mA .
6. Rita upp kretsschemat för en I-V förstärkare och uttryck förstärkningen i de ingående resistanserna.
7. Bestäm lämpliga resistanser så att en insignal av 1 mA ger en utsignal av 1 V .
8. Om du vill ha information om den OP:n TLC071 som används på labben, kan du läsa i databladet som du hittar på
<http://www.eit.lth.se/fileadmin/eit/courses/EITA35/Laborationer/TL071.pdf>



Figur 28: TL071 till vänster och icke-inverterande förstärkare till höger.



Figur 29: Placering av OP och potentiometer. De tre benen på potentiometern skall sitta i tre olika rader.

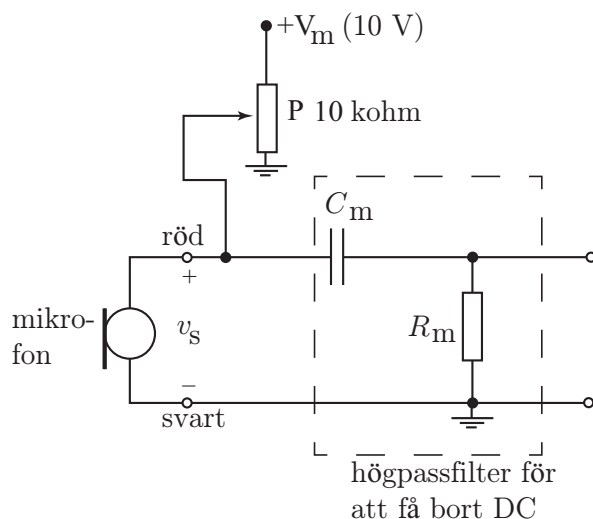
4 Uppgifter i labbet

4.1 Spänningsförstärkaren

1. Vänta med att slå på spänningsaggregatet och funktionsgeneratoren tills allt är uppkopplat.
2. Kontrollera att din koppling från förberedelseuppgiften för spänningsförstärkaren är korrekt.
3. Koppla in den dubbla matningsspänningen enligt figur 27.
4. Ställ in funktionsgeneratoren på sinussignal med frekvensen 1 kHz. Kontrollera först att du får upp en signal på oscilloskopet genom att koppla in dess ena kanal till funktionsgeneratoren. Ställ in funktionsgeneratorns amplitud så signalen på oscilloskopet har topp- till toppvärdet 0.5 V.
5. Koppla in funktionsgeneratoren på förstärkarens ingång.
6. Koppla in oscilloskopet så att insignalen går in på oscilloskopets ena kanal och utsignalen på den andra.
7. Koppla in spänningsaggregatets sammankopplingsjord (se figur 27) till den gemensamma jorden för oscilloskopet och funktionsgeneratoren. OBS! Spänningsaggregatets jord (utgången markerad med jordsymbol) skall inte kopplas in.
8. Börja med en sinussignal med frekvensen 1 kHz. Mät upp förstärkningen med oscilloskopet och jämför med det teoretiska värdet (11).
9. Öka frekvensen med en faktor 10 tre gånger, d.v.s. . till 10 kHz, 100 kHz och 1 MHz. Klarar förstärkaren av att hålla förstärkningen när frekvensen ökar? Om inte var ungefär går gränsen? Jämför förstärkarens bandbredd då förstärkningen är 11 med Gain Bandwidth Product i databladet. Du kan också jämföra med diagrammet i databladet som visar förstärkning som funktion av bandbredd. Kontrollera också fasskillnaden mellan in- och utsignal. Denna skall vara noll i förstärkarens arbetsområde. En icke-inverterande OP-koppling fungerar ungefär som en ideal förstärkare med ett första ordningens lågpasfilter på utgången (se Hambley). Försök att uppskatta brytfrekvensen för filtret. Spara värdet till redovisningen.
10. Ändra till en fyrkantsvåg och använd 1 kHz, 10 kHz och 100 kHz. Klarar förstärkaren av att återge fyrkantsvågen? Zooma in diskontinuiteten genom att ändra tidbasen. Varför tror du att utsignalens fyrkantsvåg inte blir lika fin som insignalens? Gör anteckningar om resultaten och spara dessa till redovisningen.
11. Koppla in en potentiometer i stället för de båda motstånden, se figur 29. Studera hur förstärkningen ändras när du vrider potentiometern.

12. Med en fix inställning på potentiometern kan du ändra frekvensen kontinuerligt från 100 kHz till 1 MHz genom att vrida på frekvensratten. Studera amplituden på utsignalen. Gör detta för några olika förstärkningar för att se bandbredden som funktion av förstärkningen. Jämför med diagrammet i databladet. Produkten av bandbredd och förstärkning skall vara konstant (Gain Bandwidth Product). Kontrollera detta.
13. Testa förstärkarens dynamik genom att ändra förstärkningen. När utsignalens amplitud börjar närma sig matningsspänningen mäts utsignalen. Gör anteckningar om resultaten och spara dessa till redovisningen.
14. Se till att amplituden på utgången är ca 1 V och låt insignalen vara en sinusignal med frekvensen 1 kHz. Koppla in en högtalare på utgången i stället för oscilloskopet. Lyssna på ljudet när du vrider på potentiometern eller ändrar frekvensen. Koppla om till en fyrkantsvåg eller triangelvåg och lyssna på dessa. Fyrkant- och triangelvågor innehåller övertoner vilket gör ljudet lite fylligare än det entoniga ljudet från sinussignalen.
15. Koppla upp mikrofonen enligt figur 30 och koppla in den till spänningsförstärkaren. Öka matningsspänningen för alla OP till $\pm V_{CC} = \pm 10$ V. Koppla in högtalaren på utgången av I-V förstärkaren. Ställ in förstärkningen med spänningsförstärkarens potentiometer så att du får lagom ljud i högtalaren då du talar i mikrofonen. Du kan behöva justera matningsspänningen till mikrofonen genom att vrida på dess potentiometer.

4.2 Mikrofon



Figur 30: Kopplingsschema mikrofon

Mikrofonen kan ses som en spänningskälla (Theveninekvivalent) som ger en signalspänning i intervallet ± 10 mV. Mikrofonen skall ha ca 5 V matningsspänning.

OBS! Om matningsspänningen blir större finns det risk att mikrofonen förstörs. Den har en inre resistans av ca $2\text{ k}\Omega$. I figuren används en potentiometer för att ställa in en lämplig matningsspänning. Spänningsmatningen till mikrofonen gör att det kommer att ligga en likspänning på utgången tillsammans med signalen. För att filtrera bort likspänningen är det lämpligt att lägga in ett högpasfilter mellan mikrofonen och förstärkaren. Brytfrekvensen för filtret bör vara såpass låg att den inte är hörbar. Välj lämpliga värden på R_m och C_m i figur 30 så att brytfrekvensen hamnar under 1 Hz.

4.3 Extrauppgift: V-I och I-V förstärkare

Om du är klar med de obligatoriska uppgifterna i god tid innan labben är slut skall du koppla in en V-I förstärkare och en I-V förstärkare mellan spänningsförstärkaren och högtalaren. Till detta används TL064, vilket är en kapsel med fyra OP, eller liknande kapsel. Spänningsmatningen är gemensam för de fyra OP:na. V-I förstärkaren skall ge en utsignal av 1 mA för en insignal av 1 V och I-V förstärkaren skall ge en utsignal av 1 V vid en insignal av 1 mA. Du får själv välja resistansvärden. Skriv ner värdena för redovisningen.

1. Koppla upp och testa V-I förstärkaren. Gör lämpliga mätningar som verifierar att du har rätt förstärkning.
2. Koppla upp och testa I-V förstärkaren. Gör lämpliga mätningar som verifierar att du har rätt förstärkning.
3. Koppla ihop alla tre förstärkarna och kontrollera att förstärkningen är rätt. Ställ in potentiometern så att förstärkningen är 11.
4. Koppla in oscilloskopet på utgången och koppla in funktionsgeneratoren på ingången.
5. Börja med en sinussignal med frekvensen 1 kHz. Mät upp förstärkningen med oscilloskopet och jämför det teoretiska värdet (11).
6. Öka frekvensen med en faktor 10 tre gånger, d.v.s. till 10 kHz, 100 kHz och 1 MHz. Klarar förstärkaren av att hålla förstärkningen när frekvensen ökar? Om inte var går ungefär gränsen? Kontrollera också fasskillnaden mellan in- och utsignal. Gör anteckningar om resultaten och spara dessa till redovisningen.
7. Koppla in högtalaren på utgången och koppla in funktionsgeneratoren på ingången och lyssna på utsignalen.

5 Redovisning och kontroll av mål

Vid redovisningen skall du visa upp en fungerande krets och förklara dina mätresultat. Du skall kunna redogöra för hur man konstruerar spänningsförstärkare, ström till spänningsförstärkare och spänning till strömförstärkare, och hur man utför relevanta mätningar för att bestämma deras förstärkning.

Laboration 4

Konstruktionsuppgift

1 Syfte och mål

Laboration 4 är ett mindre projekt där varje student konstruerar och bygger en krets. Arbetet kan utföras hemma eller i lablokalerna. Labbet kommer att vara öppet för självverksamhet på tider som kommer att anges på kursens hemsida. Konstruktionsuppgiften skall redovisas muntligt med en datorpresentation. Den muntliga presentationen sker i labbsalarna på tider angivna i schemat. Labben skall ge studenten träning i konstruktion av kretsar, rapportskrivning och muntlig framställning.

Anvisningar

Du anmäler dig till laboration 4 på nätet och tilldelas då en tid när laborationen skall redovisas och ett nummer som anger vilket av projekten du skall göra. Projektet delas ut i början av läsperiod Ht2.

I samtliga projekt skall komponenter från Elfa-lådan användas. Meddela den kursansvarige läraren om någon komponent saknas så kan han skaffa fram en ny. Det behövs operationsförstärkare i alla projekt. Det går bra med TL064 eller TL071. I projekt 4 tillkommer två elektroder och i projekt 5 en encoder. Första och andra veckans föreläsningar tar upp de olika förstärkar- och komparatorkopplingar som behövs för att lösa projekten. Försök att lösa projektet på egen hand. En handledare kommer att finnas i lablokalerna på tider som anges på hemsidan och då finns möjlighet att få hjälp.

Var noga med att rita ett ordentligt kretsschema innan du börjar koppla och tänk igenom hur kretsen skall kopplas upp på kopplingsplattan. Det underlättar felsökningen.

Se till att börja med projektet i god tid innan det skall redovisas! Kretsen måste fungera innan den muntliga presentationen. I flera av projekten behövs spänningsaggregaten och därför kommer lablokalerna att vara öppna på tider som anges på hemsidan.

Muntlig presentation

Skicka först en pdf fil på din muntliga presentation till kursansvarig. Filens namn skall vara enligt namn.efternamn.pdf (t.ex. erik.lind.pdf). Den muntliga presentationen sker i lablokalerna på de schemalagda labtiderna. Var noga med att hålla dig till den tid du fick när du anmälde dig. Ta med kretsen och visa att den fungerar. Du skall ge en 7-10 minuter lång presentation. Det kommer att finnas dator och

projektor i salarna. Presentationerna kommer att finnas på datorn som pdf. Vill du använda ett annat format måste du ha med en USB-sticka och föra över presentationen till datorn innan presentationerna startar. Åhörarna är de andra fyra studenterna som ingår i gruppen och en eller två handledare. När 10 minuter gått kommer handledaren att bryta presentationen. Detta för att alla skall hinna redovisa. Efter den muntliga presentationen diskuteras presentationerna. Laborationen är godkänd när kretsen fungerar och presentationen är godkänd.

Den muntliga presentationen skall innehålla följande:

- Förstasida med projektets namn och ditt eget namn.
- Beskrivning av syftet med ditt projekt.
- Bakgrundsmaterial som kan vara av intresse. T.ex. historik, tillämpningar, andra tekniker.
- Beskrivning av hur projektet löstes. Förberedelser, delmoment mm
- Slutresultat. Utvärdering av funktionen.
- Demonstration av kretsen. Se till att ha kopplat upp kretsen innan presentationerna startar.

Laboration 5

Fälteffekttransistorn

1 Syfte och mål

I laborationen studeras fälteffekttransistorn BS170 och den digitala inverterarkretsen 74HC04. Transistorns egenskaper bestäms av dess I-V karaktäristik. På hemsidan finns datablad för BS170 och 74HC04 . OBS! Endast de första sidorna i databladerna används.

2 Teori och mätteknik

2.1 Fälteffekttransistorn som switch

Den vanligaste användningen av transistorn är som switch. En switch är i princip en strömbrytare med lägena till (ledande) och från (avbrott). Det är viktigt att veta vid vilka spänningar och strömmar omslaget sker och hur snabbt omslaget sker. Omslagshastigheten bestämmer klockfrekvensen i t.ex. processorer, se avsnittet **Digitala kretsar** nedan.

2.2 Digitala kretsar

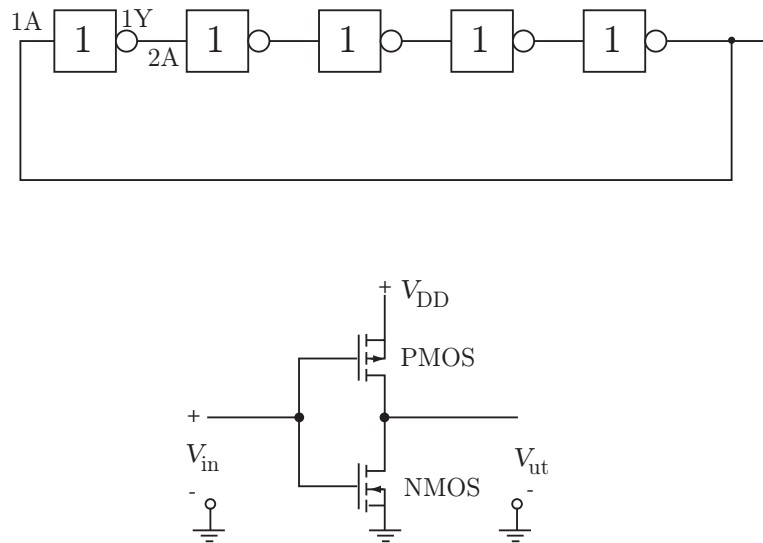
Logiska funktioner som NOT, AND, OR, NAND etc. kan realiseras i en mängd olika logikfamiljer. Karakteristiskt för en familj är att kretsarna har fastlagda spänningar och strömmar för de logiska tillstånden 1 och 0. Det går då att koppla samman utgångar och ingångar utan att ta hänsyn till belastningseffekter. Det finns även kretsar för konvertering mellan olika logikfamiljer. Tidsmedelvärdet av effekten som måste tillföras en switch som slår om med frekvensen f kan approximeras med formeln:

$$P = 0.5fC_{in}V_{CC}^2$$

där P är effektutvecklingen, f omslagsfrekvensen, V_{CC} matningsspänningen och C_{in} kapacitansen mellan gate och bas. Formeln förklaras av att för varje period T laddas kapacitansen upp till spänningen V_{CC} för att sedan laddas ur. Energin för en kondensator med spänning V_{CC} och kapacitans C_{in} är $W = 0.5C_{in}V_{CC}^2$. Spänningskällan avger därmed energin $0.5C_{in}V_{CC}^2$ varje period, vilket motsvarar medeleffekten $P = 0.5C_{in}V_{CC}^2/T = 0.5fC_{in}V_{CC}^2$. Det lönar sig uppenbarligen att minska matningsspänningen om man vill hålla nere effektutvecklingen. Det är därför matningsspänningen har minskat, först från 5V till 3.3V och nu till 2.6V, för vissa

familjer i digitala kretsar. I de moderna processorerna sänker man spänningen ytterligare när frekvensen stiger. AMD processorerna kan t.ex. sätta kärnspänningen variabelt mellan 0.925V och 2V.

Det tar en viss tid för transistorerna i en digital krets att slå om, d.v.s. att gå från ett tillstånd där kanalen mellan drain och source är öppen till att den är strypt, eller vice versa. Den huvudsakliga anledningen till tidsfördröjningen är att gaten och halvledaren kan ses som två plattor i en kondensator och det tar en viss tid för denna kondensator att laddas upp och laddas ur eftersom strömmen till gaten är begränsad.



Figur 31: Ringoscillator med fem inverterare. I under delen visas en inverterare i CMOS.

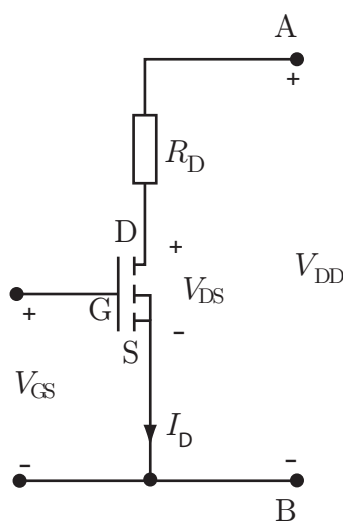
Ringoscillator

En ringoscillator består av ett udda antal inverterare som är seriekopplade i en ring, enligt figur 31. En ringoscillator ger en periodisk utsignal vars frekvens kan styras med matningsspänningen. Ringoscillatoren används därför i kretsar där det finns behov av en spänningsstyrd oscillator. Om signalen till den första inverteraren i ringen ändras kommer de andra inverterarna efter hand att slå om, liksom fallande dominobrickor. Efter ett varv når omslaget den första inverteraren som återigen slår om, varpå förloppet fortsätter tills man bryter matningsspänningen. Varje omslag tar en tid t_D och därmed blir periodtiden för en ringoscillator med N inverterare $2Nt_D$, eftersom varje inverterare slår om två gånger per period. Tidsfördröjningen är approximativt proportionell mot kapacitansen C mellan gaten och basen på transistoren och mot styrkan på den ström I_g som går till gaten. Strömmen I_g beror i sin tur på matningsspänningen V_{DD} . En höjning av matningsspänningen ger en starkare ström och därmed kortare omslagstid och det leder till en högre frekvens. Kapacitansen C är proportionell mot bredden på gaten. Mindre transistorer ger därmed snabbare omslag och högre frekvens.

I laborationen skall du bygga en ringoscillator genom att använda en kommersiell inverterarkrets 74HC04⁶. Kretsen finns i antistatiska plaströr på labben. Ringoscillatoren skall byggas av fem inverterare. Databladet visar in- och utgångarna för varje inverterare och dessutom kontakterna för jord och matningsspänning.

3 Förberedelseuppgifter

1. Koppla upp kretsen i figur 32 på ditt kopplingsdäck. Transistorn skall vara BS170. Om denna inte finns i ELFA-lådan kan du tillfälligt ersätta den med BC337. Resistansen $R_D = 1\text{ k}\Omega$. Koppla inte in någon spänningskälla mellan A och B, på labben kommer du att koppla in spänningsaggregatet där. Tag med kopplingen till labben.
2. På labben används spänningen $V_{DD} = 5\text{ V}$. Bestäm strömmen I_D som funktion av V_{DS} och rita upp motsvarande räta linje i det mittersta diagrammet i figur 33.
3. Studera databladet för transistorn BS170, som finns på hemsidan.



Figur 32: Grundkoppling med fälteffekttransistor

⁶Man kan givetvis bygga fem versioner av transistorkopplingen i labben, men kretsen 74HC04 innehåller sex färdigbyggda inverterare så endast matningsspänning behöver anslutas.

4 Uppgifter i labbet

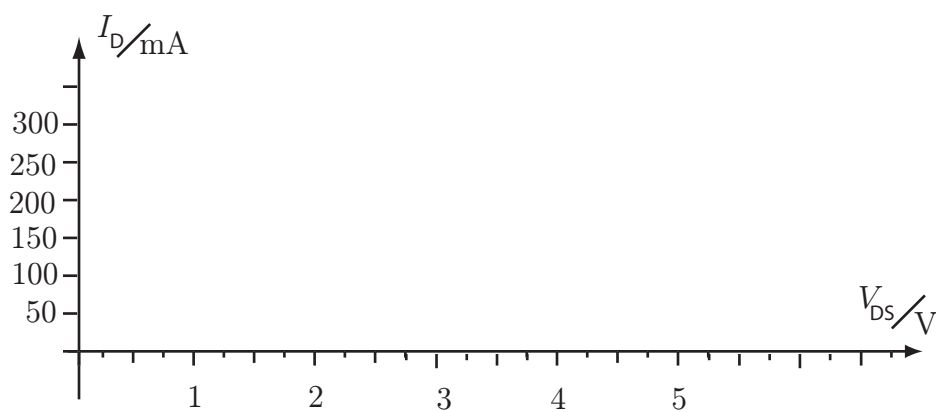
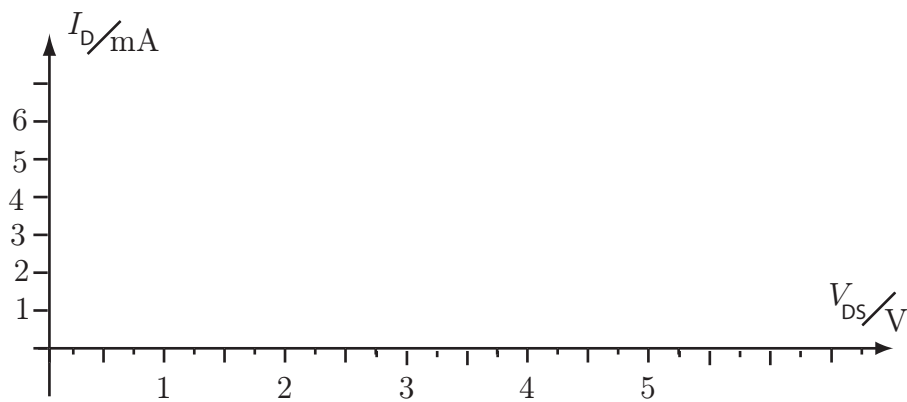
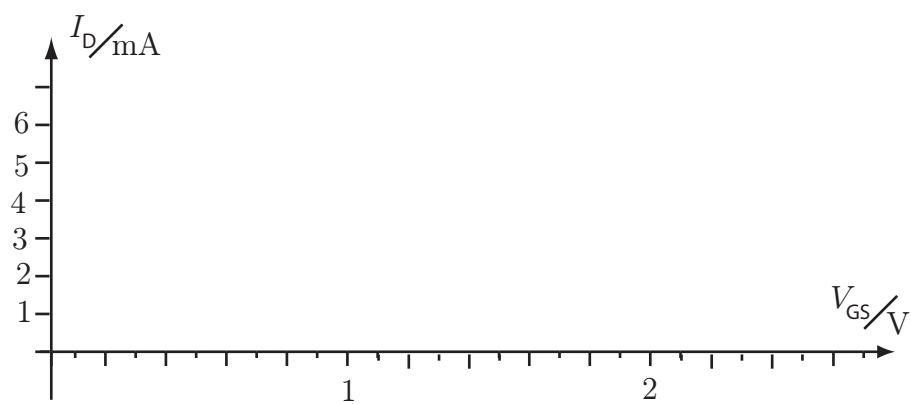
4.1 Transistorn

Om du kopplat in transistorn BC337 byter du den mot transistorn BS170, som tillhandahålls på labben. Koppla in spänningsgeneratoren och ställ in $V_{DD} = 5\text{ V}$.

1. Mät strömmen I_{DS} genom att mäta spänningen över motståndet R_D med multimetern. Försök bestämma värdet på gatespänningen V_{GS} där transistorn går från kortsluten till avbrott. Läget är inte distinkt så V_{GS} bör ändras i ett ganska stort intervall.
2. Ändra spänningen V_{GS} långsamt från noll till 2.5V och mät strömmen I_D . Rita in strömmen I_D som funktion av V_{GS} i det översta diagrammet i figur 33. Kontrollera att kurvan stämmer med det du fick i i förra uppgiften. Jämför din uppmätta tröskelspänning med den som är angiven i databladet.
3. Ställ in V_{GS} på 3 V. Mät upp I_D som funktion av V_{DS} i intervallet $0 < V_{DS} < 4\text{ V}$. Ersätt 1 k Ω motståndet med Amperemeter. OBS! Använd inte ELFA-lådans multimeter eftersom det är risk att dess säkring löser ut. Labbets multimeter har en kraftigare säkring. Rita upp grafen i det understa diagrammet i figur 33. Markera spänningen V_{DS} där transistorn går från triodområdet till det mättade området.
4. Gör samma sak med $V_{GS} = 4\text{ V}$

4.2 Ringoscillatorn

1. Koppla upp inverterarna och mät frekvensen. Uppskatta omslagstiden för varje inverterare, t_d och jämför med databladet. Vi kan anta att det tar lika lång tid att slå om från 0 till 1 som från 1 till 0. Observera att man behöver matningsspänningen 4.5V, se datablad. I databladet är tabellvärdet för omslagstiden angiven för en last med kapacitansen 50 pF. Där anges också att lastkapacitansen för inverterarsteget är 20 pF. För att få bra överensstämmelse bör man kompensera för skillnaden i lastkapacitans.
2. Mät upp frekvensen som funktion av matningsspänningen, V_{DD} i området $4 < V_{DD} < 6\text{ V}$. Rita en graf med periodtiden som funktion av matningsspänningen i detta intervall. OBS! låt inte V_{DD} bli större än 6 V eftersom det då finns risk att kretsen förstörs.
3. Oscilloskopet med prob har, enligt figur 15, en kapacitans på ingången. Den är av storleksordningen 10 pF. Testa om proben har någon inverkan genom att först mäta med en prob och därefter med två probar och jämför frekvenserna. Testa också och ställ om proben, och oscilloskopet, till $\times 1$ dämpning. Det innebär att kapacitansen för oscilloskopet med prob ökar med en faktor 10. Hur ändras den uppmätta frekvensen? Oscilloskopets stigtid är ca 5.8ns. Kan den påverka signalens frekvens eller kurvform?



Figur 33: Diagram

5 Redovisning och kontroll av mål

1. Vad bestämmer spänning, V_{DS} , och ström, I_D , på transistorens utgång?
2. I logikfamiljerna definieras låg och hög nivå så att det finns ett förbjudet område mellan den högsta låg-nivån och den lägsta hög-nivån. Varför är det så?
3. Varför använder man inte alla sex inverterarna i ringoscillator
4. Vilken tid tar det för en av inverterarna i ringoscillatören att slå om.