INLEDNING

Denna laborationsserie är, liksom läroboken, avsedd som en introduktion till elektrotekniken och skall ge konkret bekantskap med viktiga komponenter och begrepp och ge övning i mätteknik. Den är uppdelad på fem laborationer, men inget hindrar att man gör en annan uppdelning eller kastar om avsnitten efter eget önskemål. Laborationerna innehåller troligtvis fler moment än vad man hinner med på normal laborationstid, så att ett eller annat, som kanske inte passar det aktuella upplägget, får väljas bort.

Förf. brukar utforma sina laborationer med förberedelseuppgifter som skall vara gjorda innan laborationstillfället, vilket underlättar laborerandet. För att man skall få tid till eftertanke görs en del bearbetning efteråt, vilket resulterar i laborationsrapporter med grafer, diskussion m.m., något som ändå inte hindrar att rapporterna kan göras rätt kortfattade. Utformandet nedan möjliggör naturligtvis även andra sätt.

Samtliga moment har förf. provat i olika laborationssammanhang, varvid en del efter hand har fått modifierats av erfarenheterna och då och då även efter kurs och tillgängligt material. Den upplaga som presenteras här har måst göras allmänt hållen med hänsyn till sådant. En del synpunkter hittar man i teoriavsnitten.

Synpunkter och tips är välkomna och tas tacksamt emot, t.ex. på adressen **arne.siko@ide.hh.se** .

Följande moment igår.

1.1 Energipris för batteri
1.2 Resistansmätning
1.3 En glödlampas resistans
1.4 En lägesgivare
1.5 Lysdiod
1.6 Temperatursensor
1.7 Övning på Kirchhoffs lagar

2.1 Instrumentresistans
2.2 Belastad strömkälla
2.3 En kondensators kapacitans
2.4 En likriktare
2.4 En audioförstärkare

3.1 Strömförstärkningsfaktor
3.2 En inverterare
3.3 Transistorförstärkare
3.4 Komparator
3.5 OP-förstärkare
3.6 Ett vågsystem

4.1 Induktans
4.2 Ett högtalarfilter
4.3 Serieresonans
4.4 Datapulser på kabel
Lab 4 delvis preliminär

5.1
etc. under utarbetande

LABORATION 1

1.1 Energipris för batteri

Syfte. Att uppskatta ett batteris kapacitet och dess energipris per kilowatt-timme.

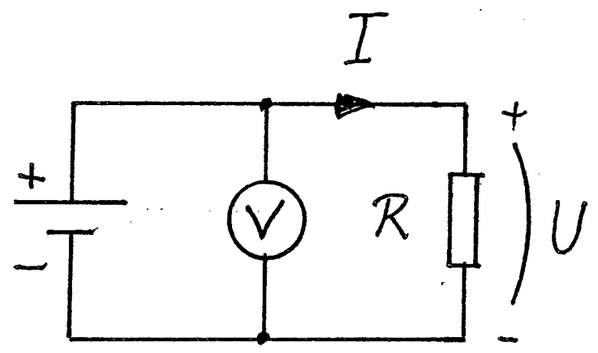
Förberedelseuppgift. En strömkälla med spänningen 2 V lämnar under tiden 4 timmar strömmen 1,5 A till en belastning. Beräkna

a) den avgivna laddningen i Ah
b) den avgivna energin i kWh.

Utförande. Som batteri kan man välja ett på 1,5 V och då kan ett 3 watts belastningsmotstånd på $R = 1{,}2\ \Omega$ passa. (Anteckna batteriets inköpspris.)

Anslut först voltmetern till batteriet och kontrollera att det har laddning. Ett färskt batteri bör ha en polspänning på lite mer än 1,6 V. Anslut sedan belastningsmotståndet och starta samtidigt ett tidtagarur eller notera tiden på armbandsuret.

Avläs spänningen U tills $U < 0{,}5$ V (då batteriet väl bör kunna betraktas som uttjänt) och motsvarande tider. Urladdningen kan ta lite mer än en timme, varför man lämpligen lägger undan kopplingen och håller ett öga på den medan nästa moment startas. Om krokodilklämmor används, se efter att se sitter kvar så att inte urladdningen avbryts av misstag!



Redovisning

- Diagram med U(t).
- Uppskattning av kapaciteten Q i Ah. För detta behövs strömmen I, som beräknas med Ohms lag. (R får anses temepraturoberoende.) Det principiellt korrekta sättet är att rita I(t) och ta fram arean under grafen, men eftersom det bara gäller en uppskattning här, kanske något enklare sätt räcker till.
- Beräkning av energipriset i kWh med hänsyn till batteriets inköpspris. Även denna beräkning skall vara en uppskattning.
- Diskutera t.ex. vilket priset skulle kunna bli med ett uppladdningsbart batteri och vad det är som gör att de framtagna värdena inte kan vara mer än en uppskattning.

1.2 Resistansmätning

Syfte. Att öva på färgkoden och serie- och parallellkoppling.

Teori. Färgkoden: se sida 54.

Förberedelseuppgift. Man seriekopplar två motstånd, märkta (orange, vit, röd) och (brun, röd, orange). Beräkna ersättningsresistansen i kΩ.

Utförande. Mät resistansen mellan anslutningsklämmorna hos det givna motståndsnätet, anteckna dess koppling och resistanser med hjälp av färgkoden.

Redovisning. Beräkna resistansen hos det motstånd, vars färg målats över. Motståndsnätets koppling bifogas.

1.3 En glödlampas resistans

Syfte. Att använda volt/amperemetoden för att mäta resistansen hos en glödlampa i drift.

Teori. Sida 109-110, särskilt figur 3.2a.

Utförande
Medan man kopplar upp skall nätaggregatet var frånslaget och den använda utgången ställas på minsta spänning (noll volt) om den är variabel.

Koppla upp för mätning av glödlampans resistans enligt figur 3.2a.
Kopplingen sker kanske enklast så att man först ansluter lampan i serie med amperemetern till nätaggregatet och därefter ansluter voltmetern till glödlampan. Se sedan till att de båda mätinstrumenten är rätt inställda: rätt strömart (DC) och mätområden med hänsyn till lampans märkdata.

Slå på nätaggregatet och öka sakta dess spänning medan instrumentens utslag kontrolleras. Gå upp till lampans märkspänning (kanske 12 V) och avläs ström och spänning. Kontrollera om det är möjligt att ändra mätområdet på något av instrumenten för att på så vis få ett noggrannare värde.

Tag till sist glödlampan ur kretsen och mät dess resistans R_0 direkt med ohmmeter.

Redovisning
- Beräkning av glödlampans driftsresistans R.
- Varför är $R \neq R_0$?

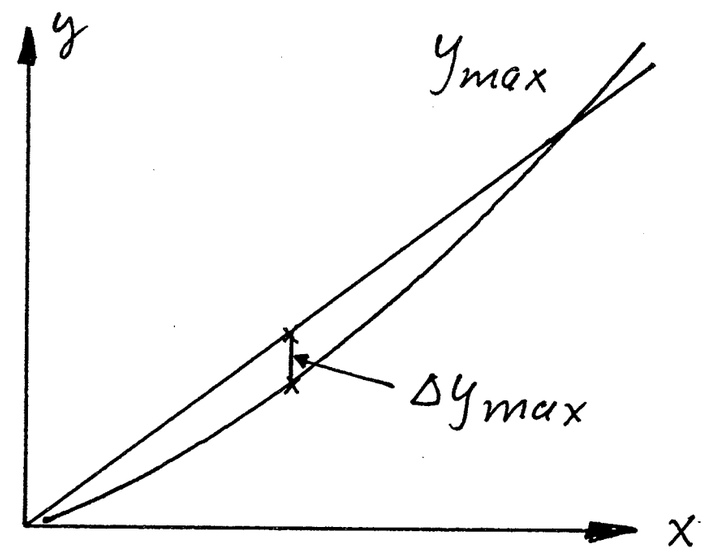
1.4 En lägesgivare

Syfte. Att studera en resistiv lägesgivare och ta fram dess linjäritet och givarkonstant.

Teori. Sida 86-88.
Professionella lägesgivare är dyra, men här kan en linjär potentiometer, skjutpotentiometer, användas. Välj en linjär modell med så stor slaglängd

som möjligt och montera den på ett underlag av millimeterpapper eller liknande, som medger någorlunda noggrann avläsning (på en halv mm när) av läget.

En givares olinjäritet definieras, som figuren visar, som $\Delta y / y_{max}$, där y_{max} är givarens maximala utsignal och Δy den största avvikelsen från den ideala, räta linjen. Den krökta linjen är givarens verkliga utsignal som funktion av in-signalen (här läget).



Förberedelseuppgift. Uppgift 2.18 i läroboken.

Utförande
Anslut lägesgivarens ändpunkter till nätaggregatet och en digital voltmeter för mätning av utspänningen U (se figur 2.14). Samma regel som tidigare: Aggregatet frånslaget och utspänningen i förväg inställd på minimum. Öka utspänningen sakta till exempelvis $E \approx 10$ V. Dra sedan upp givaren så att utspänningen U blir maximal och ställ in den noga på det valda värdet, här 10,0 V. (Nätaggregatets inbyggda voltmeter ger normalt inte denna nog-grannhet.)

Avläs U som funktion av läget x för ett tiotal lägen från noll till maximum.

Redovisning

- Diagram med U(x). Två grafer ritas i samma diagram. a) En som så noga som möjligt ansluter sig till mätvärdena. Kurvan skall vara jämn och kan med fördel ritas med kurvmall. b) Den andra kurvan är en rät linje som också den anpassas till mätpunkterna.
- Beräkning av givarkonstanten med hjälp av den räta linjen b.
- Om givaren är perfekt linjär bör kurvorna a och b sammanfalla rätt väl. Men för denna billiga givare är U(x) troligen inte rak. Beräkna dess o-linjäritet i procent!

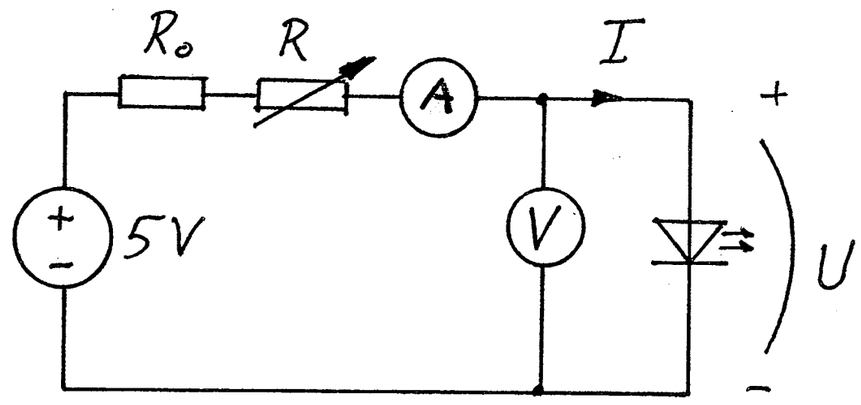
1.5 Lysdiód

Syfte. Att bekanta sig med lysdioden och ta fram dess karakteristik.

Teori. Sida 70-71.

Förberedelseuppgift. En röd lysdiod GL5HD43 (se figur 2.3) skall kopplas till en strömkälla med spänningen 5 V enligt figur 2.4. Beräkna seriemot-ståndet R så att strömmen genom dioden blir 20 mA. Välj sedan närmsta värde ur E12-serien.

Utförande



Koppla upp enlig figuren med exempelvis nätaggregatets fasta 5 voltsuttag som strömkälla. Det variabla motståndet R kan vara en dekadresistor, helst på minst 10 kΩ, och R_0 ett fast skyddsmotstånd med resistansen 100 Ω. Voltmetern måste vara digital.
Slå på spänningen. Ställ in R = 0 Ω och mät diodens ström I och framspänning U; om dioden inte lyser är den troligen felvänd.
Minska diodströmmen genom att öka R (som inte behöver avläsas) i lämpliga steg tills strömmen understiger ca 0,1 mA. Stegen behöver inte vara jämna, utan man avpassar dem efter hand så att ett tiotal mätpunkter kan ligga till grund för en kurva. Notera vid vilken ström dioden inte längre syns lysa.

Efter mätserien, öka strömmen genom att snabbare minska R och studera diodens lysande. Under den sista fasen av ökningen ses inte ljusstyrkan öka särskilt mycket, vilket gör att det inte lönar sig att ta ut maximal ström genom dioden. Hur stor ström vill du rekommendera?

Vänd därefter dioden och se efter hur stor strömmen blir.

Redovisning

- Rita diodens karakteristik, d.v.s. ett diagram med I(U) – observera, I längs den vertikala axeln. Spänningsintervall –5 V till det största positiva värdet enligt mätningen.
- Uppskatta diodens ledspänning, den spänning vid vilken strömmen vid ökande framspänning markant börjar stiga från noll. (Utan flera kriterier blir bedömningen med nödvändighet ganska subjektiv.)
- Vilken diodström anser du vara ekonomisk för denna diod?

1.6 En temperatursensor

Syfte. Att studera prestanda för en temperatursensor.

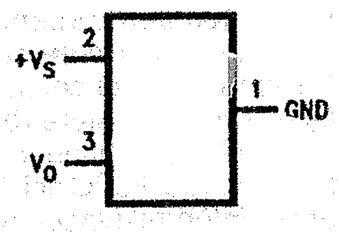
Teori. Sida 133, 65-66.

Data för sensorn LM45/50, som är lämplig att använda; pris ca 25 kronor. LM45/50 är byggd på halvledarteknik. Sådana sensorer kan vara mycket noggranna, men denna är avsedd enbart för enklare mätningar utan större krav. Den kräver å andra sidan ett minimum av kringkomponenter.

LM 45/50

Temperatursensor i SOT23
Fabr National Semiconductor
En liten och enkel temperatursensor vars utgångsspänning är linjärt proportionell mot Celsiusskalan. Sensorn har en onoggrannhet på ±3 °C (±4 °C för LM50C) över hela mätområdet helt utan kalibrering eller trimning. Lämplig vid övervakning av t ex batteriladdning, i nätdelar och datorer.

Matningsspänning:	+4 till +10 V
Strömförbrukning:	160 µA max
Mätområde	
LM 45:	-20 till +100 °C
LM 50:	-40 till +125 °C
Skalfaktor:	10 mV/°C
Olinjäritet:	±0,8 °C
Självuppvärmning:	<0,2 °C
Kapsel:	SOT 23



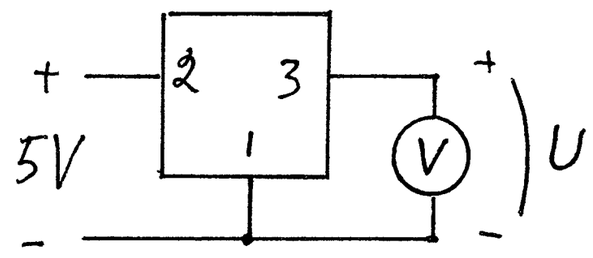
LM45/50 är avsedd för ytmontering och därför liten till formatet. Dess skalfaktor är 10 mV/°C, d.v.s. utspänningen ändras med 10 mV för varje grads temperaturändring. Uppgift om tidskonstant saknas.

I detta försök skall givaren kontrolleras mot en referenstermometer med skaplig noggrannhet som direkt visar temeperaturen. En noggrann sprit- eller kvicksilvertermometer av vanlig sort går bra, men en elektronisk med Pt100-givare är det bästa. Givarna doppas ned i vatten av varierande temperatur, varför LM45/50 med anslutningar på något sätt måste isoleras, vilket kan ske med krympslang och något lim eller tätningsmedel som klarar uppvärmningen.

Förberedelseuppgift. Uppgift 1.54 i läroboken.

Utförande

Anslut givaren enligt figuren. Strömkällan kan vara ett nätaggregats konstanta 5 voltsuttag. Utspänningen U överstiger inte 1 V.



Placera givaren och referenstermometern i en behållare med uppvärmt vatten, 50-60°C räcker. Rör om ordentligt och anteckna givarutspänningen U i mV och referenstemperaturen när utslagen stabiliserat sig. Låt sedan temperaturen sjunka och mät ånyo för ett tiotal temperaturer ned till den hos kallt kranvatten.

Anordningens tidskonstant beror både på givarens och inkapslingens värmemotstånd. Ta reda på tidskonstanten genom att hastigt föra givaren till ett kärl med högre temperatur. Begynnelsespänningen U_1 antecknas och, efter förflyttningen, den ökande utspänningen U_2, helst var femte sekund. (En skrivare underlättar, men det går att göra manuellt.)

Låt till sist givaren ligga och stabilisera sig i rumstemperatur och anteckna dess utslag U_a.

Redovisning

- Diagram med U(T), där T är referenstemperaturen i °C. Grafen skall vara en rät linje. Spänningen i mV.
- Tag fram skalfaktorn med hjälp av diagrammet och jämför med uppgivet värde.
- Använd diagrammet för att ta fram ett uttryck T(U), d.v.s. temperaturen som funktion av utsignalen i mV.
- Använd uttrycket för att beräkna den aktuella rumstemperaturen T_a på laborationsplatsen.
- Rita ett diagram med U_2 som funktion av tiden t efter den snabba temperaturökningen. Markera även U_1 och tag sedan fram tidskonstanten τ ur diagrammet. (Man kan naturligtvis gå över till temperaturer i stället, men det är onödigt.)

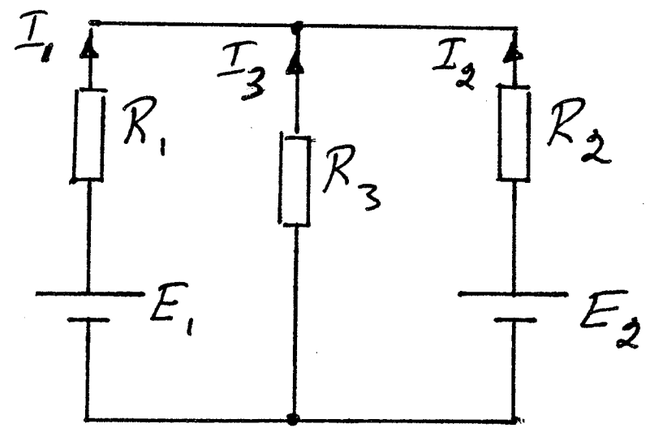
1.7 Övning på Kirchhoffs lagar

Syfte. Att bekanta sig med Kirchhoffs lagar och betydelsen av spänningars och strömmars referensriktningar.

Teori. Sida 95-97.

Utförande

Koppla upp enligt figuren. Den ena strömkällan kan vara ett fast 5 voltsuttag, men flera uttag på nätaggregatat kan inte användas, eftersom det visat sig att interna strömmar som förrycker mätningarna kan förekomma. Låt därför den andra strömkällan vara ett batteri. Strömkällorna kan vändas åt samma håll enligt schemat eller åt motsatta håll.



De tre motstånden skall vara olika, men bör ligga inom samma dekad, t.ex. mellan 1 och 10 kΩ. Mät resistanserna med ohmmeter för att få noggranna värden.

Mät de båda spänningarna E_1 och E_2 och var noga med polariteten.
Ta sedan fram strömmarna I_1-I_3. Det sker lättast genom att man mäter spänningen över respektive motstånd och sedan beräknar strömmen med hjälp av Ohms lag.
Kontrollera direkt att $I_1 + I_2 + I_3 = 0$.

Redovisning

- De uppmätta spänningarna E_1 och E_2 samt resistastanserna R_1-R_3 används för beräkning av strömmarna I_1-I_3 med hjälp av Kirchhoffs metod.
- Kontrollera att de beräknade strömmarna stämmer överens med dem som togs fram under laborationen!

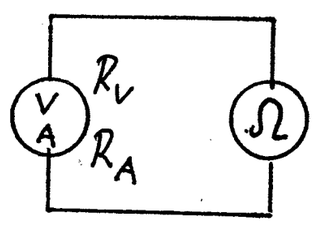
LABORATION 2

2.1 Instrumentresistans

Syfte. Att mäta instrumentresistansen hos en volt- och amperemeter.

Teori. Sida 109-111.
Två instrument behövs, ett för resistansmätningen och ett mätobjekt. Man kan mycket väl använda samma slags digitalmultimeter till båda, men det är lärorikt att även studera ett analogt instrument.

Utförande
Koppla samman de båda instrumenten och mät resistansen R_V för voltmetern och R_A för amperemetern.



Redovisning
De erhållna instrumentresistanserna jämförs med vad datablad för instrumenten anger.

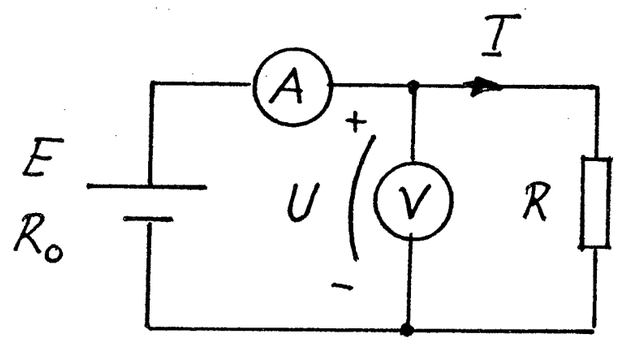
2.2 Belastad strömkälla

Syfte. Att ta fram källspänning, källresistans och polspänning hos ett batteri.

Teori. Sida 98-100.

Förberedelseuppgift. Ett batteri med källspänningen 1,56 V och källresistansen 1,2 Ω belastas av ett motstånd med resistansen 3,0 Ω. Beräkna batteriets polspänning.

Utförande
Koppla upp enligt figuren. Batteriet kan vara ett på 1,5 V, eventuellt uppladdningsbart. Lämna en av batteiets poler oansluten så att det inte urladdas i onödan. R kan vara en resistansdekad som i förväg ställts på resistansen 20 Ω. Man kan alternativt utnyttja två seriekopplade, fasta 10-ohmsmotstånd så att $R = 20\ \Omega$ till en början.



Avläs ström och spänning sedan batteriets båda poler anslutits. Minska sedan R, t.ex. genom att bara använda ett av 10-ohmsmotstånden. Minska ånyo, nu till 5 Ω. Som sista mätpunkt kan man välja $R = 2{,}5\ \Omega$, exempelvis genom att parallellkoppla fyra 10-ohmsmotstånd.

En sista mätning vid strömmen $I = 0$ A kan också vara bra.

Redovisning

- Diagram med polspänningen U som funktion av strömmen I. Åtminstone en del av grafen bör kunna ritas som en rät linje.
- Använd grafen för att ta fram batteriets källspäning och källresistans.
- Beräkna batteriets kortslutningsström.

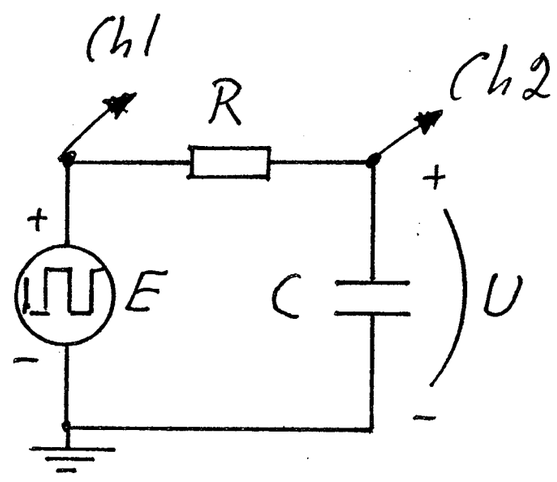
2.3 Att bestämma en kondensators kapacitans

Syfte. Att studera en kondensators urladdning och öva på oscilloskopet.

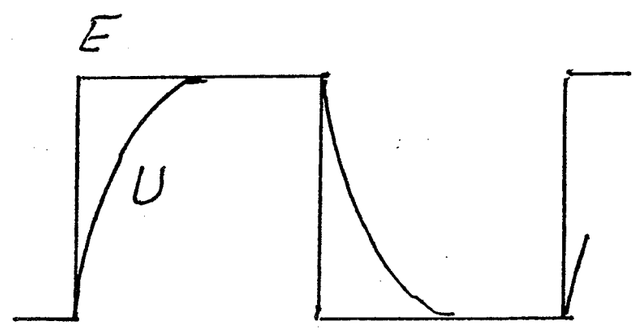
Teori. Sida 61-62. Oscilloskopet: sida 123-131.
Med den visade kopplingen laddas kondensatorn C upp när fyrkantspänningen från signalgeneratorn är hög. Uppladdningen sker genom 1 kΩ-motståndet i serie med signalgeneratorns källresistans, 50 Ω. När utsignalen är låg laddas den ur samma väg, principiellt således genom 1050 Ω.

Förberedelseuppgift. 1.49 i läroboken.

Utförande
Koppla enligt figuren. Spänningskällan är en signalgenerator som ställs på fyrkantvåg; ingen dämpning. C är den kondensator, vars kapacitans skall bestämmas. $0{,}01\ \mu F < C < 1\ \mu F$, $R = 1\ k\Omega$. Oscilloskopets kanal 1 (Ch1) ansluts till signalgeneratorn, vilket enklast sker genom att ett T-kors med två utgångar placeras som ett grenuttag på generatorns utgång. Kanal 2 ansluts till kondensatorn. Se till att oscilloskopkabelns jorduttag ansluts till kretsens jord.



Ställ till en början in signalgeneratorn på ca 500 Hz fyrkantvåg och oscilloskopets sveptid på 0,5 ms/DIV, samma känslighet på båda kanalerna. Justera eventuellt de vertikala positionerna så att de båda kurvorna sammanfaller i vertikalled. Ändra sedan signalgeneratorns frekvens – och följ med med sveptiden - tills upp- och urladdningsförloppen syns tydligt.



Använd oscilloskopets cursorfunktion för att lägga in tidsmarkeringar för mätning av tidskonstanten, både vid uppladdningen och urladdningen. Kanske får man bättre noggrannhet genom att öka sveptiden något? Använd medelvärdet av de båda mätningarna som ett mått på kretsens tidskonstant τ.

Redovisning
Beräkna kondensatorna kapacitans C. Standardvärden inom det angivna kapacitansområdet är 0,01, 0,015, 0,022, 0,033, 0,047, 0,068, 0,082, 0,1, 0,15, ..., 1 μF. Toleranser på ± 10 % är vanligt.

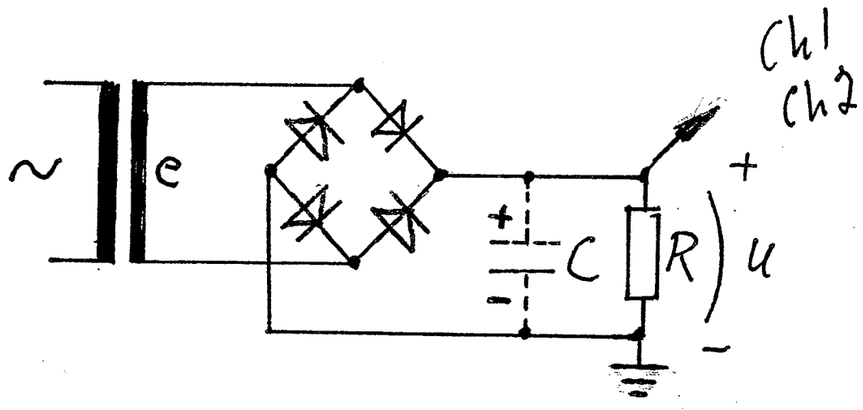
2.4 En likriktare

Syfte. Att studera en helvågslikriktare med och utan glättningskondensator. Likriktaren skall användas för matning av den integrerade audioförstärkaren i moment 2.5.

Teori. Sida 72-74. Studera exempel 3.8 (sida 129).
Glättningskondensatorn är av elektrolytmodell och måste därför kopplas in med rätt polaritet. Typiska standardvärden är ..., 33, 47, 68, 100, 150, 200, 330, 470, 1000, 2200,... μF
Glättningen fungerar så att kondensatorn regelbundet laddas till spänningens amplitud $\hat{e}$ med korta strömstötar, vid helvågslikriktning både vid vid dess positiva och negativa toppar, d.v.s. två gånger per period. Mellan strömstötarna urladdas kondensatorn genom belastningen R, vilket således pågår under växelspänningens halva period. Om denna urladdning är liten syns de små variationerna som ett "rippel" kring utspänningen $u \approx \hat{e}$.

Förberedelseuppgift. a) Beräkna perioden för 50 Hz växelspänning. b) En kondensator i en helvågslikriktare urladdas genom ett motstånd med resistansen 680 Ω. Beräkna kondensatorns kapacitans C så att ripplet blir 1,5 %, d.v.s. så att dess spänning sjunker med 1,5 % under urladdningen (således till 98,5 % av begynnelsevärdet). Välj ut det närmaste värdet i serien ovan.

Utförande
Koppla upp enligt figuren. Transformatorns sekundärspänning får vara högst 10 V; vänta med att ansluta den till elnätet. Lämpliga dioder kan vara 1N4001, men integrerade bryggor finns också att tillgå. R = 680 Ω. Kondensatorn utelämnas till en början.



Anslut oscilloskopets båda kanaler för mätning av den likriktade spänningen u. Lämplig sveptid kan vara 10 ms/DIV. Båda kanalerna i DC-mode och med samma känslighet, kanske 2 eller 5 V/DIV (beroende på vilken spänning transformatorn lämnar).
När transformatorn anslutits till nätet bör den helvågslikriktade spänningen synas på skärmen på båda kanalerna. Jämför med figur 2.5b (sida 72).
Koppla in elektrolytkondensatorn med det beräknade värdet. Utspänningen u från likriktaren är nu mycket jämnare, med bara lite rippel. Rippelspänningen skall nu mätas, men är troligen för liten för att kunna mätas med någorlunda noggrannhet. Öka därför känsligeheten på en av kanalerna och utnyttja dess DC/AC-omkopplare enligt teorin på sida 128-129. När ripplet syns tydligt, gör en utskrift av skärmen så att även båda kanalerna kommer med.

Redovisning
- Utskriften presenteras.
- Beräkna rippelspänningen i procent och jämför med det projekterade värdet.

2.5 En audioförstärkare

Syfte. Att studera några grundbegrepp i audiosammanhang med hjälp av en integrerad förstärkare.

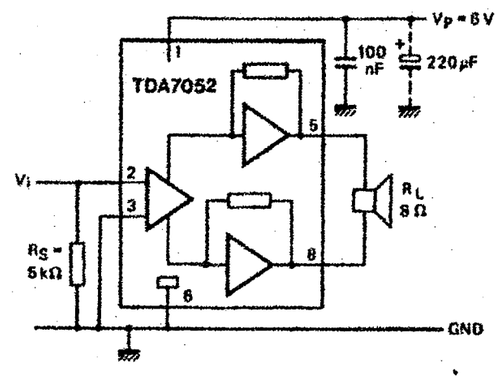
Teori. Sida 138-143. Vi utnyttjar dock en enklare förstärkare än den som visas där, 1-wattsförstärkaren TDA7052, avsedd för mindre apparater med måttliga krav på ljudåtergivningen.

Audio-/LF-kretsar

TDA 7052

1W audioförstärkare
Fabr Philips
Denna krets kräver inga yttre komponenter eller kylelement för att kunna lämna 1 W. TDA 7052 har en fast spänningsförstärkning på 40 dB.

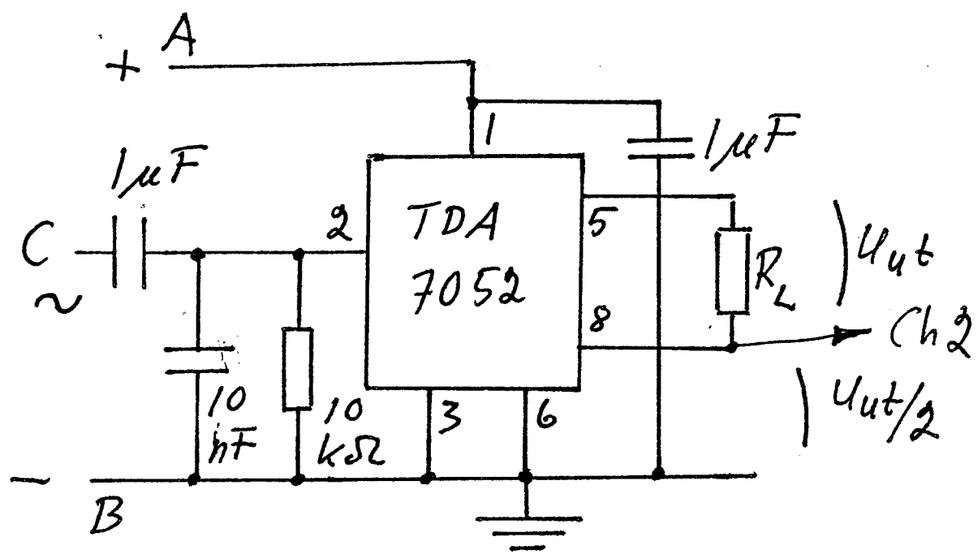
Matningsspänning:	+3 till +15 V
Strömförbrukning:	4 mA typ
Frekvensgång:	20 Hz till 20 kHz typ
THD (vid 0,1 W):	0,2 % typ



Förstärkaren har åtta ben, numrerade enligt figur 4.11a (sida 145). Som bilden (ur ELFA-katalogen) visar skall ben 6 anslutas till matningsspänningens negativa pol och ben 1 till den positiva. Den negativa polen betraktas som spänningens referensnivå, "jord", varför ben 6 sägs vara jordat. Insignalen läggs mellan ben 2 och jord och utsignalen till högtalare eller hörtelefon tas ut på ben 5 och 8.

TDH är "Total Harmonic Distorsion" och är ett mått på hur stor del av utsignalen som är distorsion som alstras i själva förstärkaren. Värdet gäller vid uttagen effekt 0,1 W och ökar med uteffekten. Detta gäller alla audioförstärkare, vilket är huvudanledningen till att man brukar skaffa hifi-förstärkare med betydligt större maximal uteffekt än vad som i och för sig skulle behövas om man drog upp ljudstyrkan till den maximala.

Utförande
Koppla enligt figuren. I stället för hörtelefon sätts ett belastningsmotstånd $R_L = 100\ \Omega$ in. Matningsspänningen från likriktaren ansluts mellan plus och minus (A och B).
Komponenterna kring IC:n ansluts med så korta ledningen som möjligt.



Signalgeneratorn med spänningen u_{in} ansluts mellan C och B med jord till B. Ställ in den på ca 1 kHz sinus och kraftig dämpning. Oscilloskopet kopplas in för mätning av u_{in} på kanal 1 och u_{ut} på kanal 2. Ingen av utgångarna på ben 5 och 8 får jordas, utan kanal 2 ansluts mellan ett av benen (här 8) och jord, där halva utspänningen finns.

1. Anslut nättransformatorn till elnätet och kontrollera att likriktarens utspänning finns mellan ben 1 och 6; mät direkt på benen.

2. Slå på signalgeneratorn. Efter lite justerande på oscilloskopet bör nu u_{in} och u_{ut} (exaktare $u_{ut}/2$) synas på skärmen. Kontrollera att kurvorna är sinusformade och stabila. Ändra signalgeneratorns amplitud och kontrollera att både u_{in} och u_{ut} följer med. Beräkna förstärkningen $A_V = u_{ut} / u_{in}$. (Använd exempelvis amplituderna eller topptilltoppvärdena.)

3. Förstärkarens frekvensgång. Ställ in u_{in} med signalgeneratorn så att utspänningen får ett jämnt värde på skärmen, t.ex. ± 4 rutor. Minska frekvensen (och följ med med sveptiden) och studera utsignalen, som i början bör vara konstant. Så småningom minskar den; anteckna några frekvenser och spänningar, särskilt den frekvens då spänningen gått ned med faktorn roten ur 2. Uteffekten är då halverad jämfört med den vid "medelhöga" frekvenser, varför denna frekvens är den undre gränsfrekvensen f_{gu}.
Gå sedan upp i frekvens och ta på motsvarande sätt fram den övre gränsfrekvensen $f_{gö}$.

4. Gå tillbaka till frekvensen 1 kHz (som är standard vid många mätningar på audioförstärkare). Ersätt R_L med en hörtelefon och lyssna på signalen, som bör vara en någorlunda ren ton. Öka u_{in} tills signalen börjar låta rå. Vilket samband finns med utsignalens utseende?

Redovisning

- Beräkna G_V, d.v.s. A_V i decibel och jämför med uppgivet data.
- Rita ett diagram med G_V som funktion av frekvensen från f_{gu} till $f_{gö}$. Frekvensskalan skall vara logaritmisk.
- Vad är det som gör att utspänningen låter illa?