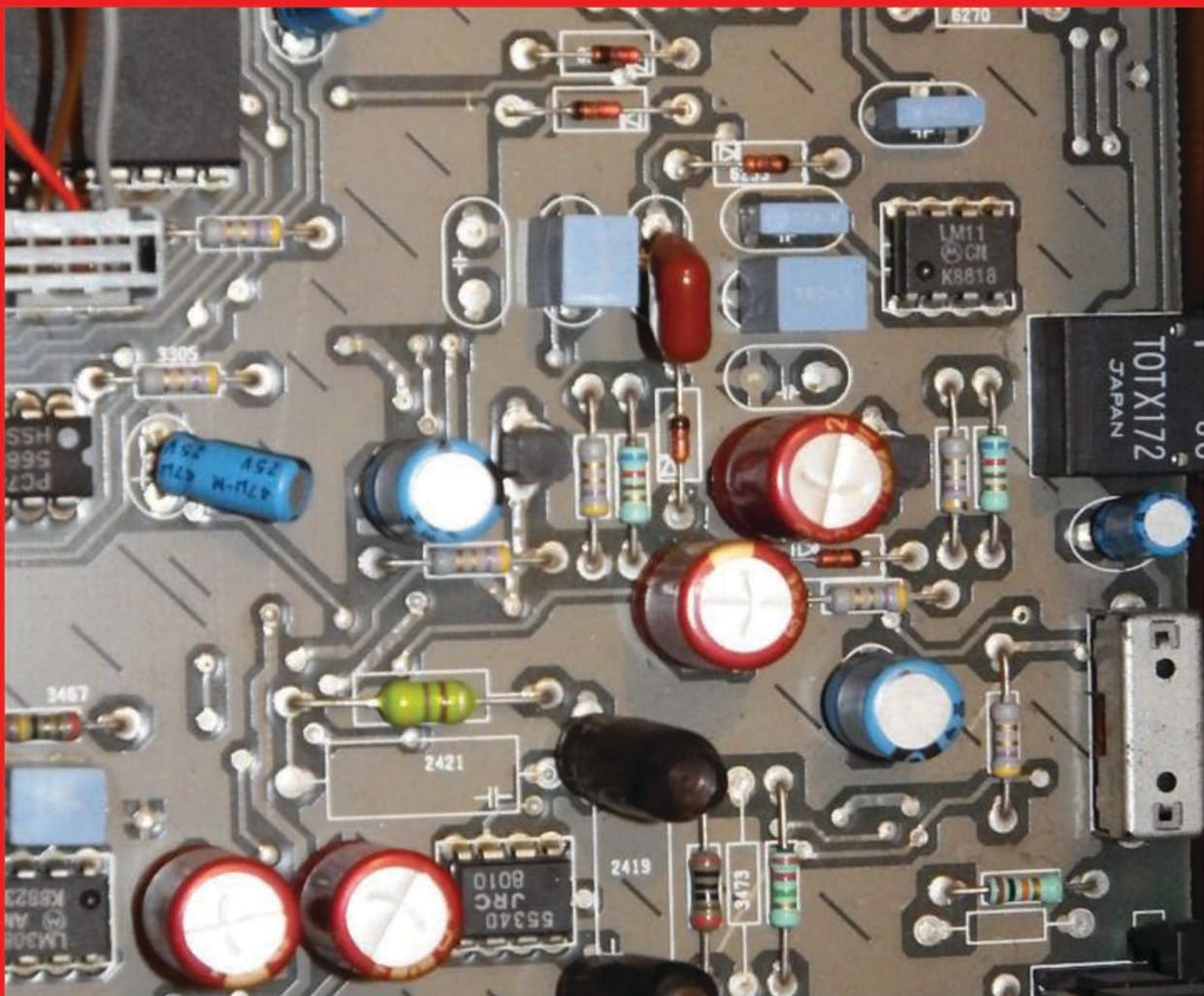


Elektronik

Sven-Bertil Kronkvist



Revma Utbildning

Innehåll

INLEDNINGSVIS.....	4
HUR MAN KOPPLAR & MÄTER.....	5
FELSÖKNING	8
STRÖMFÖRSÖRJNING, VAD ÄR DET?.....	10
NÄTANSLUTNING	11
SAMMANFATTNING LIK- OCH 1-FAS VÄXELSTRÖM.....	12
Den elektriska kretsen	
Referenspilar och storhetsbeteckningar	
Ohms lag	
Seriekretsar	
Kirchhoffs spännings och strömlag	
Parallellkretsar	
Energi och effekt	
Kapacitans	
Magnetism	
Växelspänning och växelström	
Polaritet och strömriktning	
Växelströmsbelastningar	
Faskompensering	
Effekt i växelströmskretsar	
Transformatorn	
NÄTDELEN	24
Nätkontakten	
Säkringen	
Strömställaren	
Nättransformatorn	
MÄTINSTRUMENT	26
Multimetern	
Voltmeter-, Amperemeter-, Ohmmeterfunktionen	
Växelströmsegenskaper	
Ingångskapacitans	
Oscilloskop	
Funktionsgeneratorn	
Nätanslutna instrument	
LIKRIKTARE.....	30
Dioder	
I / U-grafer	
Kiseldiodens I / U-graf	
Halvvågslikriktare	
Bryggkoppling	
FILTERKONDENSATORN.....	36
Kondensatorn	
Kapacitans	
Filterkondensators upp- och urladdning	
Rippelspänning	
Backspänning	
TILL / FRÅN-INDIKATOR MED LYSDIOD.....	41
Bestäm strömmen genom lysdioden	
Lysdioder i andra tillämpningar	

SPÄNNINGSSTABILISERING	43
<i>Trebensregulatorn</i>	
ZENERREGULATORN	45
<i>Zenerdiodens I_C / U_{CE}-graf</i>	
<i>Så här fungerar zenerregulatorn</i>	
SERIEREGULATORN.....	47
<i>Bipolartransistorn</i>	
<i>NPN - PNP - transistorer</i>	
<i>Transistor-kom-ihåg</i>	
<i>Transistorns I_C / U_{CE}-graf</i>	
<i>Uppmätning av transistorns I_C / U_{CE}-graf</i>	
<i>Att styra strömmen genom transistorn</i>	
<i>Effektutveckling i transistorer</i>	
<i>Serieregulatorns funktion</i>	
<i>Darlingtonkoppling</i>	
<i>Strömbegränsning</i>	
FÖRSTÄRKARE.....	54
<i>Förstärkarbegreppet</i>	
<i>Förstärkare som belastning</i>	
<i>Ekvivalent förstärkarmodell</i>	
<i>Transistorförstärkare</i>	
<i>Vilopunkts- och signalspänning i ett GE-steg</i>	
<i>In- och utsignalens fasläge</i>	
<i>Temperaturstabilisering av arbetspunkten</i>	
<i>Avkopplingskondensatorn CE</i>	
<i>Beräkning av komponentvärden</i>	
<i>Mätning av spänningsförstärkningen</i>	
<i>OP-förstärkare</i>	
SPÄNNINGSAGGREGAT FÖR (\pm)-SPÄNNING.....	63
SWITCHADE NÄTAGGREGAT	65
<i>Transistorn som switch</i>	
<i>Switchtransistorns effektutveckling</i>	
<i>Induktiv belastning</i>	
<i>In- och utspänningar i switchregulatorn</i>	
<i>Step-down-regulator i IC-utförande</i>	
<i>Step-up och inverterande regulatorer</i>	
LINJÄRA OCH OLINJÄRA KOMPONENTER.....	70
<i>Linjära och olinjära resistorer</i>	
<i>Skymningsrelä</i>	
<i>Temperaturvakt</i>	
FÄLTEFFEKTRANSISTORER.....	72
<i>Fälteffekttransistorn JFET</i>	
<i>Konstruktion</i>	
<i>Spänningar och strömmar</i>	
<i>Beteckningarna JFET, uni- och bipolar</i>	
<i>Funktionen hos N-kanals JFET</i>	
<i>I_{DS} / U_{DS}-graf för N-kanal JFET, Tolka I_{DS} / U_{DS}-graf</i>	
<i>I_{DS} / U_{GS}-graf</i>	
<i>Brantheten gm, mätning av I_{DS} / U_{DS}-graf, beräkning av brantheten gm</i>	
<i>Beräkning av ett GS-förstärkarsteg med JFET</i>	
<i>PN-övergången som diod och zenerdiod</i>	
<i>Spänningstyrd - resistans, - switch, - strömgenerator</i>	

IGFET / MOSFET	80
Symboler	
I_{DS} / U_{DS} -grafer	
N-kanal Enhanced MOSFET, P-kanal Enhanced MOSFET	
N-kanal Depletion MOSFET, P-kanal Depletion MOSFET	
Switchar med N-kanal enhancement MOSFET	
Effektutveckling i MOSFET-switchar	
Enkel motorstyrning	
IGBT, INSULATED GATE BIPOLAR TRANSISTORS.....	85
Varför IGBT	
TYRISTORN.....	86
Konstruktion och hur tyristorn blir ledande	
Tyristorns I / U-graf	
Hur tyristorn stängs av	
TRIAC.....	88
Diac	
Applikationer med triac och diac	
Funktionsbeskrivning	
Motorstyrning	
MÄTUPPGIFTER, SCHEMAN OCH EXPERIMENTKOPPLINGAR	91
MÄTUPPGIFT 1, KOMPONENTLISTAN, KOMPONENTMÄTNING.....	94
MÄTUPPGIFT 2, TRANSFORMATORN.....	95
MÄTUPPGIFT 3, HALVVÅGSLIKRIKTAREN.....	96
MÄTUPPGIFT 4, HELVÅGSLIKRIKTNING	97
MÄTUPPGIFT 5, FILTERKONDENSATORN.....	98
MÄTUPPGIFT 6, TILL/FRÅN-INDIKATORN.....	99
MÄTUPPGIFT 7, TREBENSREGULATORN.....	100
MÄTUPPGIFT 8, ZENERDIODEN.....	102
MÄTUPPGIFT 9, TRANSISTORN.....	104
MÄTUPPGIFT 10, SERIEREGULATORN.....	106
MÄTUPPGIFT 11, DARLINGTONKOPPLING,	108
MÄTUPPGIFT 12, STRÖMBEGRÄNSNING,	110
MÄTUPPGIFT 13, EN GE-FÖRSTÄRKARE.....	112
MÄTUPPGIFT 14, (\pm)-SPÄNNINGSAGGREGAT.....	113
MÄTUPPGIFT 15, OP-FÖRSTÄRKAREN,	114
ELEKTRONIKBYGGE, SERIEREGULATOR	115
ELEKTRONIKBYGGE, STEP-DOWN-REGULATOR.....	116
FACIT TILL TESTA-DIG-SJÄLV	117
Facit till mätuppgifterna	119

Inledningsvis

Gemensamt för all elektronisk utrustning är att den måste försörjas med likspänning och likström. Detta görs på olika sätt beroende på vad det är för sorts elektronikutrustning.

Ett bra sätt att börja elektronikstudier är därför att lära sig hur detta går till och om nya komponenter allteftersom de ingår i strömförsörjningskretsarna.

När detta är klart följer en introduktion i förstärkarteknik, samt mät- och automatiseringselektronik. Dessa avsnitt är tänkta att locka till vidare studier i ämnet.

Ellära tillsammans med mätteknik är grunden för elektronik. Därför börjar den här boken med en uppdatering av kunskaper i dessa ämnen. Det gör det enklare att förstå funktionen hos de komponenter som introduceras under kursens gång. Behärskar du ellära och mätteknik kan du efter en översiktsläsning hoppa över dessa avsnitt.

Det fungerar att enbart läsa teoriavsnitten, men det är både roligt och givande ur inlärningssynpunkt att koppla upp och mäta på de kretsar som presenteras. För detta används ett kopplingsdäck för lödfria förbindelser.

Prova gärna att bygga (löda) serieregulatorn eller step-down regulatorn som presenteras i boken. Det finns förslag i slutet av boken. Där visas hur detta kan göras på standardexperimentkort som är lämpliga för såväl enkla som avancerade elektronikbyggen.

Lycka till med studierna, elektronik är en rolig del av eltekniken!

Hjärnarp 2018

Författare: Sven-Bertil Kronkvist

Redaktör: Agneta Kronkvist

Kopieringsförbud

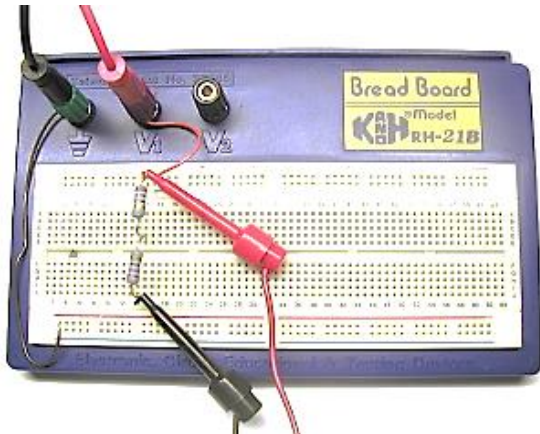
Detta verk är skyddat av upphovsrättslagen.

Den som bryter mot lagen om upphovsrätt kan åtalas av allmän åklagare och dömas till böter eller fängelse i upp till två år samt bli skyldig att erlägga ersättning till upphovsman/rättsinnehavare.

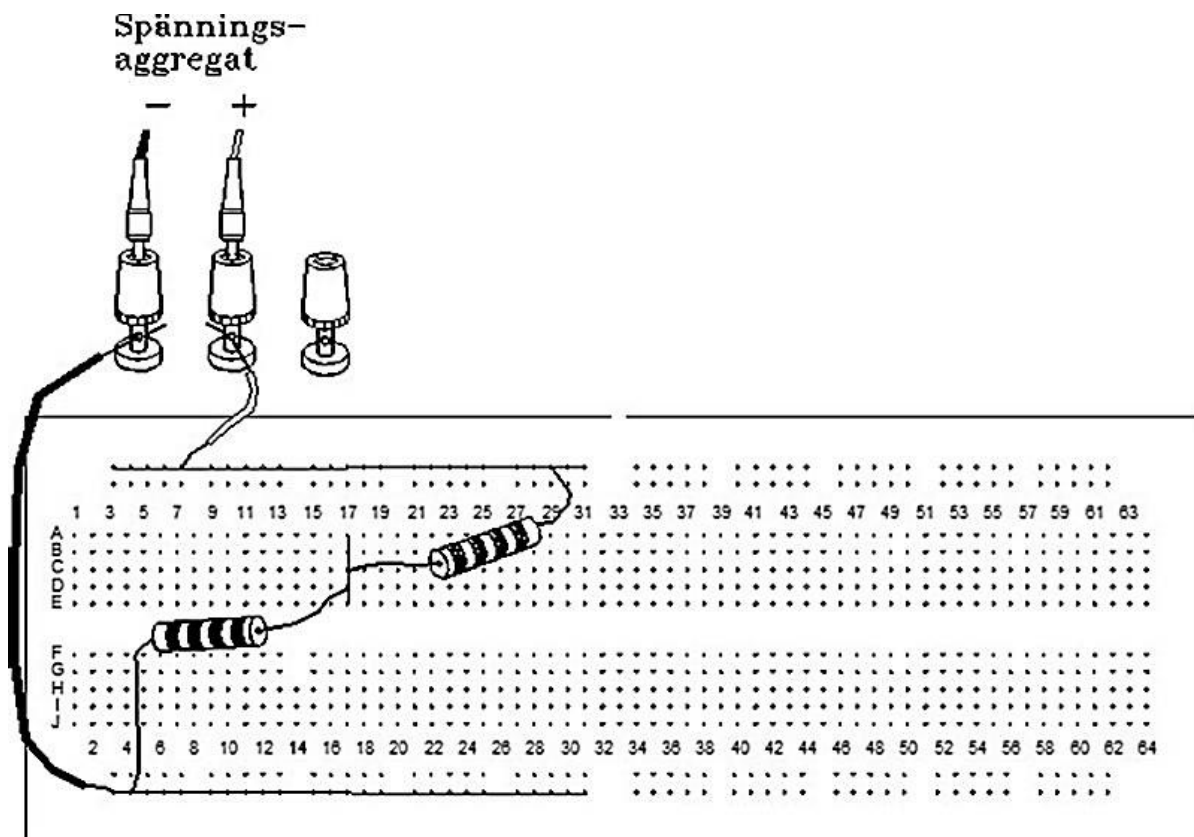
Sven-Bertil Kronkvist och Revma utbildning, Hjärnarp

Hur man kopplar & mäter

Experimentkretsarna i mätuppgifterna kopplas med lösa komponenter på en kopplingsplatta med lödfria anslutningar.



Anslutning av spänningsmatning görs med labsladdar med 4 mm:s banankontakter till kortets hylsor, som i sin tur ansluts med *enkeltråd* (EKUX 0,28mm²) till kortets kopplingspunkter.

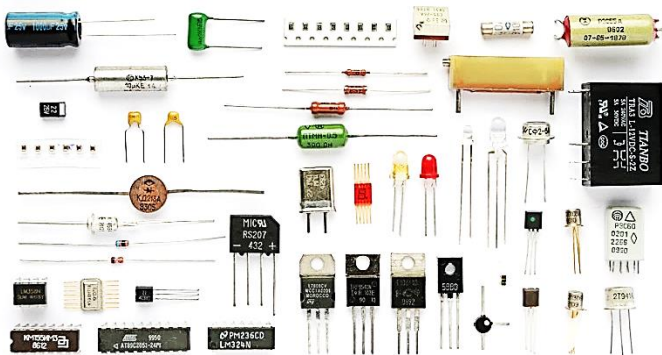


De komponenter som ska kopplas samman i en experimentkrets ansluts till varandra genom att de sticks ner i hålen.

Felsökning

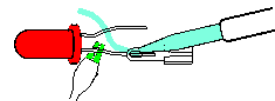
Att mäta och experimentera innebär att omsätta teoretiska kunskaper till praktiskt fungerande kretsar. Det är tyvärr inte alltid det fungerar vid första försöket och då måste man felsöka.

Felsökning, som är både vetenskap och konst, går ut på att finna orsaken till varför kretsar eller system inte fungerar som det förväntas. Komponenter kortslutningar eller avbrott av flera olika orsaker, t ex genom att gränsvärdena för maximal effektutveckling, ström eller spänning överskrids.



Ibland smälter det inre i en komponent samman till en kortslutning. Vid andra tillfällen brinner det inre av komponenten upp och efterlämnar ett avbrott.

Lödning är en annan intressant orsak till oönskade kortslutningar och avbrott. Till synes perfekta lödningar kan ibland vara felaktiga och då mycket svåra att upptäcka.



Ändrade komponentvärden är svårare att felsöka än avbrott och kortslutningar. Utsätts t ex en resistor för mer värme än den tål kan den få bestående värdeändringar på flera procent. Är resistorvärdet kritiskt kan den aktuella kretsen helt eller delvis sluta att fungera



Ibland, men långt ifrån alltid, kan man upptäcka felaktiga komponenter vid en inledande noggrann granskning.

Går det inte att se felet måste man mäta fram det och beroende på erhållna mätresultat ställa sig frågor som: "Vad händer om någon av komponenterna blir kortslutna, får ett avbrott eller ändrar värde?"

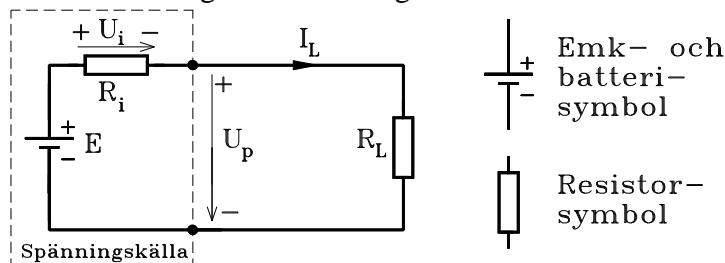


Felsökning kräver ofta att man tänker sig in i kretsfunktioner i relation till framför allt Ohms och Kirchhoffs lagar, men också till övriga delar av elläran och förekommande komponenters egenskaper.

Sammanfattning Lik- och 1-fas växelström

Den elektriska kretsen

Den enklaste elektriska kretsen består av en spänningskälla ansluten till en belastningsresistans enligt schemat.



Referenspilar och storhetsbeteckningar

För att visa hur strömmen flyter och hur spänningen fördelas i kretsen används referenspilar och storhetsbeteckningar som U_p för polspänningen, R_i för den inre resistansen, R_L för den resistiva lasten osv.

Spänningsfallspilen pekar i den riktning som spänningen faller. Plus-sidan har högre spänning än minussidan.

Strömpilen pekar i den riktning som strömmen flyter.

Referenspilar och beteckningar är tankestöd som bör användas flitigt och noggrant både vid beräkning och analys av kretsfunktioner.

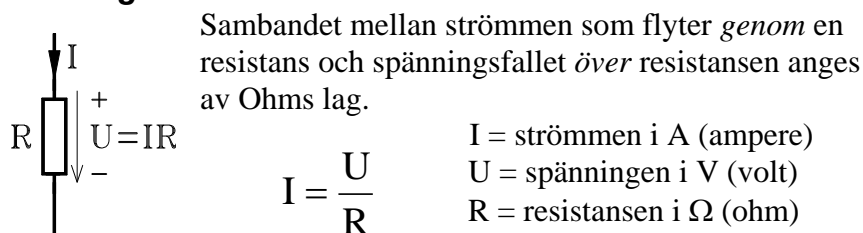
Kom ihåg

Det är viktigt att kunna rita kretsschema och att sätta ut referenser för att kunna tänka *el*.

Några regler

- Ström kan endast flyta om kretsen är sluten.
- Strömmen flyter alltid från spänningskällans pluspol till dess minuspol.
- Strömmen börjar och slutar flyta i hela kretsen samtidigt.
- Det flyter alltid lika mycket ström till spänningskällans minuspol som det flyter ut från dess pluspol.
- En spänningskälla kan alltid betraktas som en konstant emk E i serie med en inre resistans R_i .
- Polspänningen U_p är beroende av det inre spänningsfallet enligt:
 $U_p = E - U_i$ där $U_i = I_L \cdot R_i$

Ohms lag



Testa-dig-själv 2

Rita ett kretsschema över en krets som innehåller en spänningskälla med emk E , inre resistans R_i , och polspänningen U_p kopplad till en belastning R_L . Strömmen genom belastningen i kretsen är I_L .

Mätinstrument

Allmänt

Kännedom om instrument och deras egenskaper i olika mätsituationer är en grundförutsättning vid felsökning och all annan mätning. Mätinstrument har både likströmsegenskaper och speciella växelspannings- och växelströmsegenskaper.



Multimetern

Multimetrar har mätfunktioner för resistans-, spännings- och strömmätning. På en del modeller finns även mätfunktioner för t ex kapacitans- och frekvensmätning.

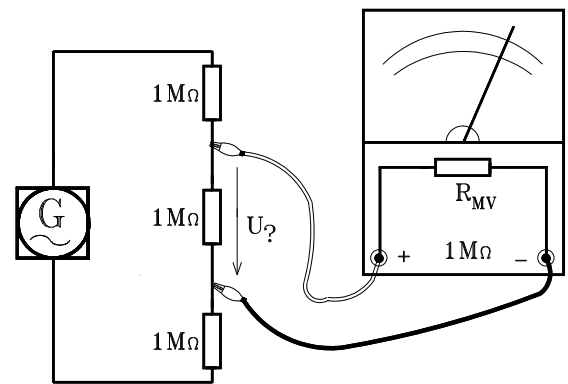
Spännings- och strömmättningsfunktionen är indelad i lik- och växelspanning samt lik- och växelström.

Voltmeterfunktionen

Sett från mätanslutningarna har moderna multimetrar i voltmeterläge en inre resistans som vi kan kalla R_{MV} (Mätning Volt) i storleksordningen 1- 10M Ω .

Vid spänningsmätning kopplas multimetern *parallellt med mätobjektet*. Därmed flyter det en ström från mätkretsen genom R_{MV} och orsakar ett mätfel.

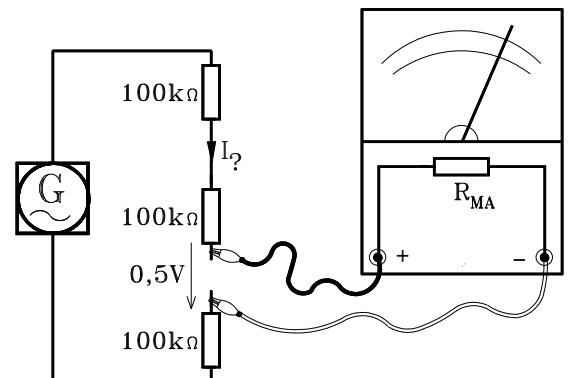
För att mätfelet ska bli litet måste R_{MV} vara stort (höghohmigt) i förhållande till mätobjektets resistans.



Amperemeterfunktionen

Strömmätning görs *i serie i mätobjektet*. Vid omkoppling till amperemeterläge blir multimeterns inre resistans R_{MA} (Mätning Ampere) mycket liten, men eftersom den ström som ska mätas *flyter genom* R_{MA} , orsakar detta ändå ett spänningsfall i storleksordningen 0,5V.

För att mätfelet ska bli litet ska R_{MA} ha låg resistans.

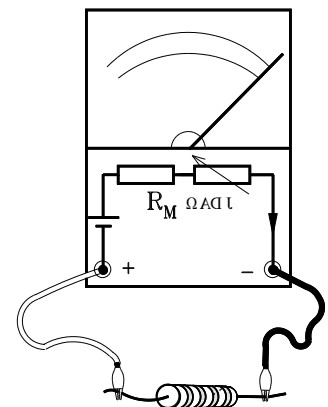


Ohmmeterfunktionen

Vi bör även tänka på att resistansmätning med multimeter egentligen är strömmätning. Ohmmätning görs genom att ett batteri i Ω -metern driver ström genom instrumentresistansen och mätobjektet.

Strömmen är proportionell mot mätobjektets resistans och visas som ett ohmvärde i displayen.

Man måste vara helt klar över att mätströmmen endast passerar det avsedda mätobjektet om man ska kunna lita på mätresultatet. Kom också ihåg att aldrig Ω -mäta i en spänningssatt krets, det ger ett felaktigt mätresultat och kan dessutom skada instrumentet.

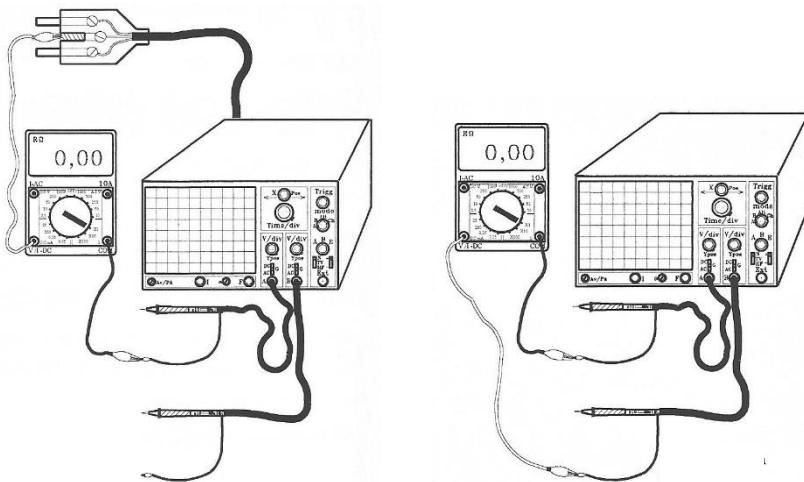


Nätanslutna instrument

När du i de kommande mätuppgifterna använder nätanslutna instrument som oscilloskop och funktionsgeneratorer ska du vara uppmärksam på att mätprobarnas nollledningar vanligen står i förbindelse med varandra och med nätkontaktens gulgröna ledare.

Detta är utmärkt ur säkerhetssynpunkt, men det ställer samtidigt till en del mättekniska problem, eftersom alla nollledningar därigenom är anslutna till varandra via jordskenan i säkringscentralen. Det gäller att tänka sig för så att man inte orsakar en kortslutning med nollledningarna!

Det finns nätanslutna instrument med så kallad flytande jord, vars nollledning inte har förbindelse med den gulgröna skyddsledaren, men ta aldrig detta för givet. Gör istället en enkel kontrollmätning.

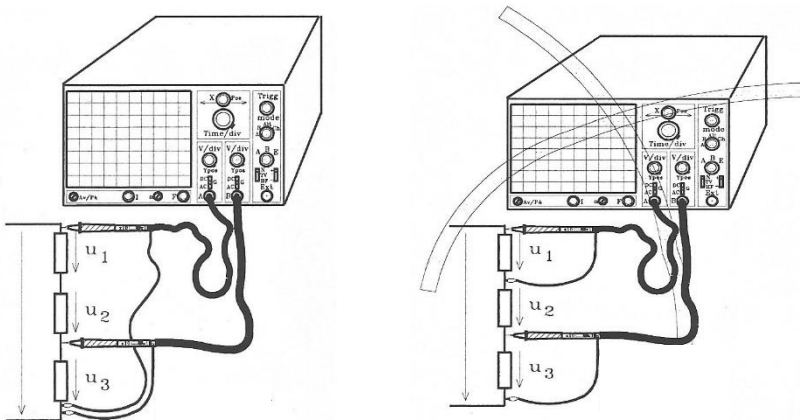


Observera!

Mätprobarnas nollledningar har vanligen förbindelse med varandra och med nätkontaktens gulgröna ledare

Använder man båda kanalerna vid oscilloskopmätning ska man ansluta nollledningarna i *samma elektriska punkt* eller endast använda en av probarnas nollledningar som bilden nedan till vänster visar.

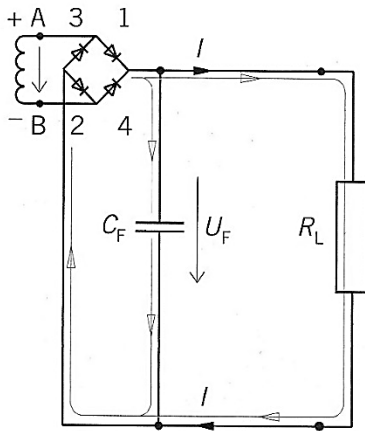
Kopplar man däremot som visas i bilden till höger kortsluter man mellan nollledningarnas inkopplingspunkter. Effekten blir detsamma som om man ansluter en kopplingstråd mellan nollledningarnas inkopplingspunkter.



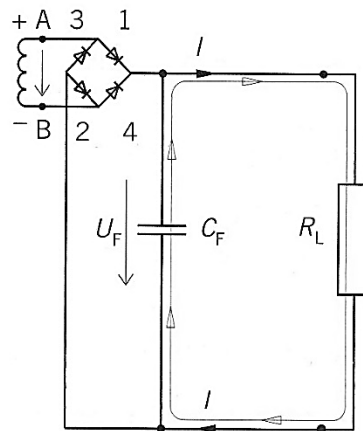
Mätuppgift 2

Filterkondensatorns upp- och urladdning

Låt oss återvända till brygglikriktarens sekundärkrets. Antag att vi ansluter nätspänningen precis när en ny positiv halvperiod börjar.

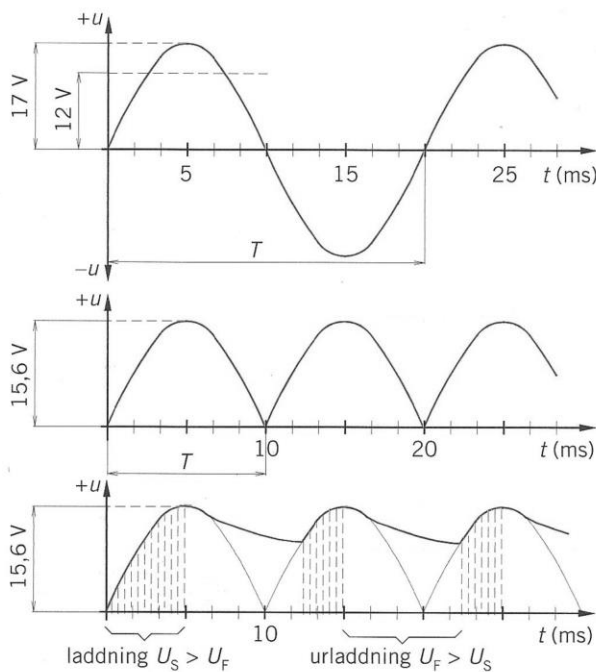


Strömmens väg vid uppladdning då $U_{AB} > U_F$



Strömmens väg vid urladdning då $U_F > U_{AB}$

Så snart sekundärspänningen U_S mellan A och B överstiger diodernas framspänningsfall på 1,4 V börjar det flyta ström genom belastningen samtidigt som det flyter en uppladdningström till filterkondensatorn.



Transformatorns Sekundärspänning U_{AB} (eller U_S) med frekvensen 50Hz och effektivvärdet 12 V.

Den pulserande likspänningen över belastningsresistansen utan filterkondensator har frekvensen 100 Hz.

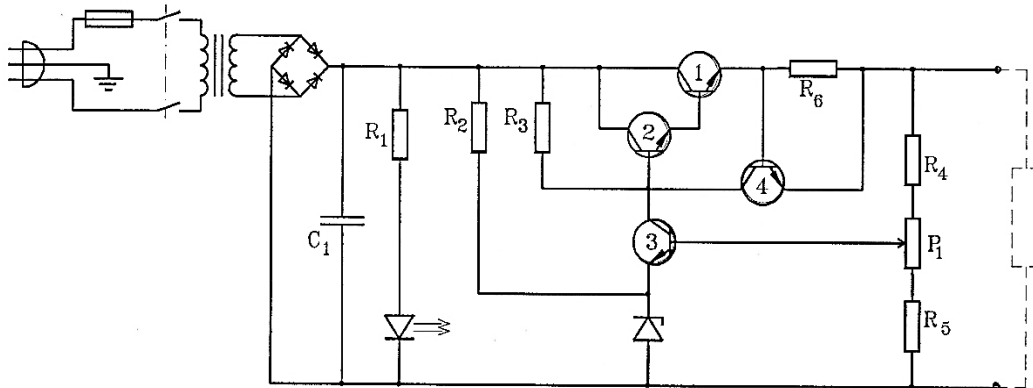
Spänningen U_F över filterkondensatorn och belastningsresistansen med filterkondensatorn inkopplad.

Uppladdningen pågår tills den pulserande likspänningen når sitt toppvärde och kondensatorn blir uppladdad till 15,6V.

När den pulserande likspänningen passerat sitt toppvärde börjar kondensatorn att ladda ur sig över belastningen varvid kondensatorspänningen U_F sjunker

Strömbegränsning

Det sista vi lägger till i serieregulatorm är en strömbegränsare. Dess uppgift är att "bevaka" att belastningsströmmens värde inte blir otillåtet högt. I bilden består strömbegränsaren av R_6 och T_4 .



Så här fungerar strömbegränsaren

När belastningsströmmen I_L flyter genom R_6 orsakar den ett spänningsfall över R_6 .

$$U_{R_6} = I_L \cdot R_6$$

Eftersom U_{R_6} också är basemitterspänning för T_4 , kommer denna att börja leda kollektorström då

$$U_{R_6} = U_{BE_{T_4}} \approx 0,7V$$

Då T_4 leder, flyter dess kollektorström genom R_3 . Därigenom minskar spänningen U_{C_3} med följd att basströmmen till T_2 minskar, vilket i sin tur medför att belastningsströmmen I_L minskar.

Det kan anges av likheten: $U_{C_3} = U_{BE_2} + U_{BE_1} + U_{R_6} + U_L$

Tolka likheten så här:

- Minskar vänster led i måste även höger led göra det.
- Detta får till följd att U_L minskar om U_{C_3} minskar.

Ändringarna i U_{BE_2} , U_{BE_1} och U_{R_6} är små och kan försummas i förhållande till U_L .

- Den ström som begränsningen börjar beror av värdet på R_6 .
- Med $R_6 = 1,2\Omega$ når man strypgränsen $0,7V$ för T_4 vid en belastningsström på $0,5-0,6A$.
- $U_{BE_{T_4}} = U_{R_6} = 1,2\Omega \cdot 0,6A = 0,72V$

Testa-dig-själv 29

Vilket värde ska R_6 ha för att strömbegränsningen ska börja vid $0,35A$?

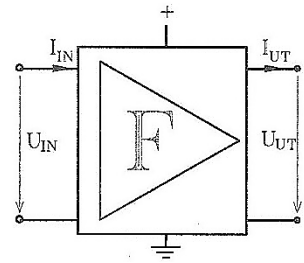
Mätuppgift 12

Förstärkarbegreppet

Låt oss börja med att betrakta förstärkare som block med anslutningar för driveffekt samt in- och ut signaler, utan att fundera över hur en förstärkare är uppbyggd.

Förstärkning innebär att insignalen multipliceras i förstärkaren så att utsignalen blir F gånger större än insignalen.

$$U_{UT} = F \cdot U_{IN}$$



Förstärkare som ett block

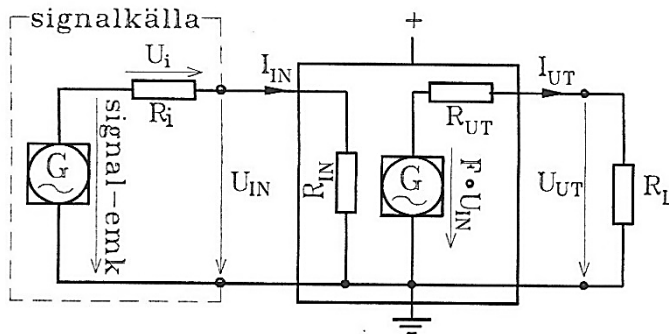
Förstärkning är därför ett mått på hur många gånger större utsignalen är än insignalen. Så här beräknas *spänningsförstärkning* F_U , *ström-förstärkning* F_I och *effektförstärkning* F_P .

$$F_U = \frac{U_{UT}}{U_{IN}} \quad F_I = \frac{I_{UT}}{I_{IN}} \quad F_P = \frac{P_{UT}}{P_{IN}}$$

$$F_P = \frac{U_{UT}}{U_{IN}} \cdot \frac{I_{UT}}{I_{IN}} \quad \text{eftersom} \quad F_P = F_U \cdot F_I$$

Ekvivalent förstärkarmodell

Beroende på vad förstärkaren används till kommer insignalen från olika källor. En audioförstärkare kan t ex få insignal från en mikrofon och vi kan anta att utsignalen används att driva en högtalare.



Oftast kan vi betrakta signalkällan som en spänningskälla med emk och inre resistans (eller impedans) ansluten till ingångskretsar som beter sig som en resistans (eller impedans) i förstärkaren.

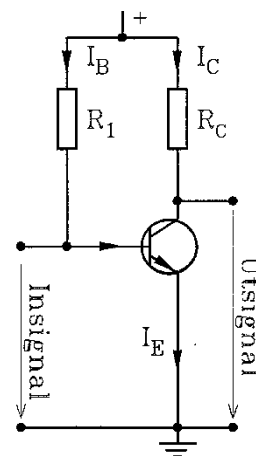
Belastning som ansluts till förstärkarens utgång kan på motsvarande sätt betraktas som en resistans (eller impedans) som är ansluten till något som beter sig som en spänningskälla i förstärkaren.

Lägg märke till att både in- och utgångssidan i förstärkarmodellen reducerats till enkla seriekretsar och att vi därigenom kan resonera om förstärkarens egenskaper på ett enklare sätt med välkända regler från ellära.

Transistorförstärkare

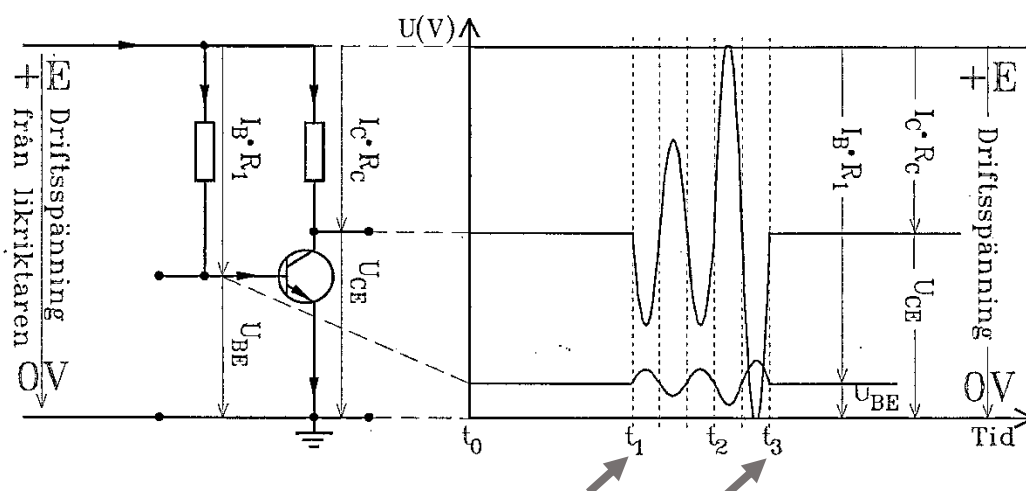
Förstärkare består av ett eller flera förstärkarsteg med transistorer, operationsförstärkare eller andra typer av aktiva komponenter. Vi ska i tur och ordning studera en *transistorförstärkare* (ett transistorsteg) och därefter två vanliga kopplingar med *operationsförstärkare* eller *OP-förstärkare*.

GE, som står för *Gemensam Emmitter*, syftar på att in- och utsignalen har emittern som gemensam referenspunkt, dvs att insignalen ansluts mellan basen och emittern och utsignalen återfinns mellan kollektorn och emittern.



Vilopunkts- och signalspänningar i ett GE-steg

Utan någon insignal, då förstärkaren väntar på en signal, säger man att förstärkaren är i *viloläge*. De likspänningar och likströmmar som då finns i förstärkaren kallas gemensamt för *viloläge* eller *arbetspunkt*.



Grafen i diagrammet visar vilopunktsspänningarna i GE-steget under tidsintervallet t_0 – t_1 och efter t_3 .

Lägg märke till hur drivspänningen E faller från $+E$ till $0V$ (jord) och kan delas upp i spänningsfallen

$$E = I_C \cdot R_C + U_{CE} \quad \text{och} \quad E = I_B \cdot R_1 + U_{BE}$$

Observera!

$$U_{RC} = I_C \cdot R_C$$

$$U_{R1} = I_B \cdot R_1$$

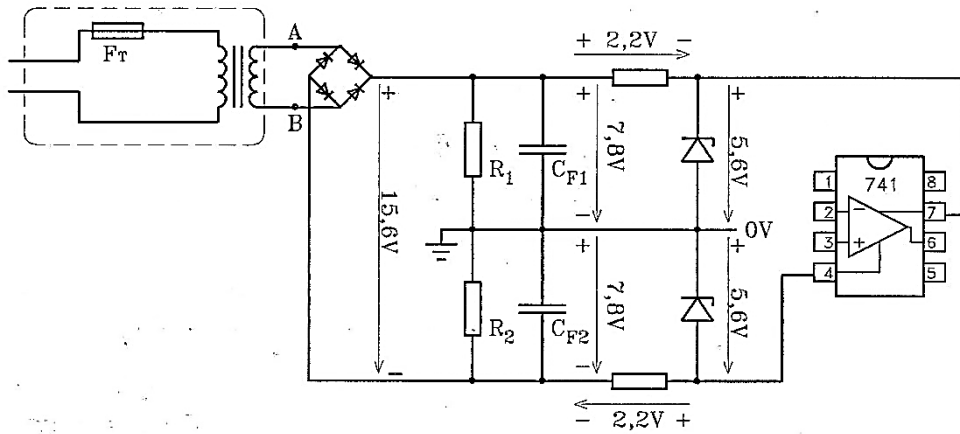
In- och utsignalens fasläge

In- och utsignalens fasläge kan vi studera mellan tidpunkterna t_1 och t_3 . Vid t_1 tänker vi oss att en signalspänning ansluts till ingången och att U_{BE} då ökar och minskar i takt med signalspänningen.

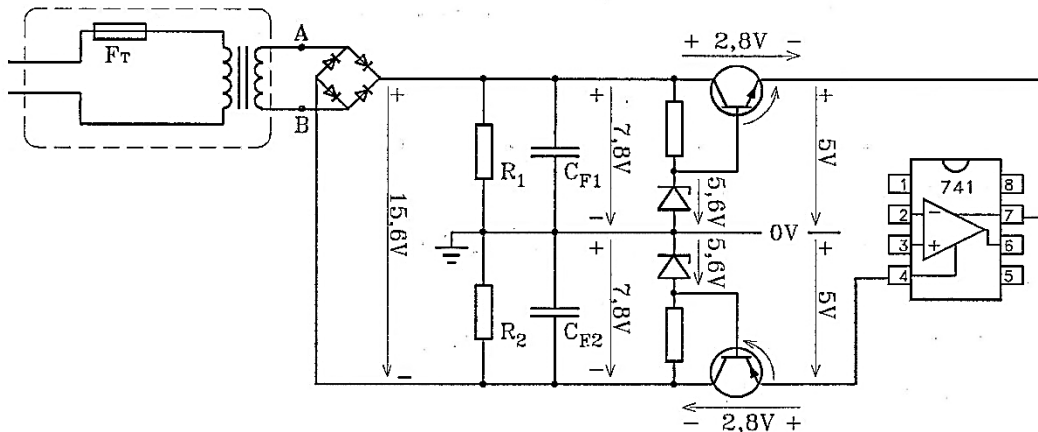
Då U_{BE} ökar blir I_C större varvid även spänningsfallet $I_C \cdot R_C$ ökar. När $I_C \cdot R_C$ ökar medför det i sin tur att U_{CE} minskar eftersom de tillsammans alltid är lika med driftspänningen E .

Då U_{BE} minskar blir förloppet omvänt, $I_C \cdot R_C$ minskar och U_{CE} ökar. Eftersom U_{CE} är detsamma som GE-stegets utsignal kan vi se att utsignalen fasvrids 180° i förhållande till insignalen.

Räknas mittpunkten vid jordtecknet som 0V, finns det en spänning på +7,8V över R_1-C_{F1} och en spänning på -7,8V över R_2-C_{F2} . Kompletteras kopplingen med serieresistorer och zenerdioder på 5,6V får vi ett spänningsaggregat som lämnar två stabila spänningar på $\pm 5,6V$ som passar bra för strömförsörjning av en OP-förstärkare.



Lägger man till två transistorer minskar visserligen utspänningarna med $U_{BE} \approx 0,60V$, men i gengäld kan aggregatet lämna en större belastningsström samtidigt som stabiliseringen förbättras.



Testa-dig-själv 37

Hur stor blir utspänningen från (\pm)-aggregatet om de två zenerdioderna på 5,6V ersätts med två på 4,7V?

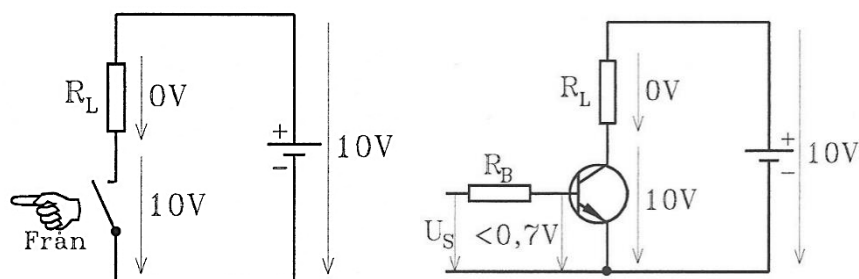
Mätuppgift 14

Switchade nättaggregat

Transistorn har i många sammanhang ersatt mekaniska och elektromekaniska strömställare för att koppla en belastning till och från en spänningskälla. När transistorn används på detta sätt kallas den för *transistorswitch*. En tillämpning finner vi i *switchade nättaggregat* som vi återkommer till så snart transistorswitchen förklarats.

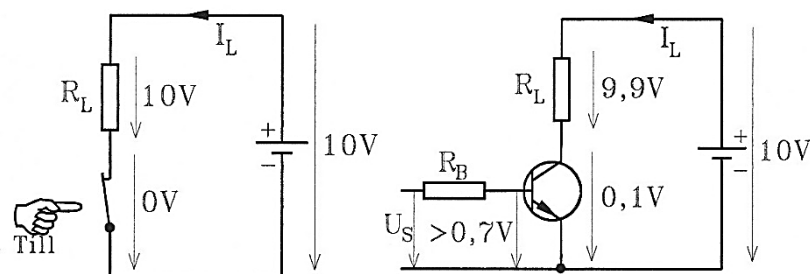
Transistorn som switch

Transistorswitchen, som manövreras med en styrspänning U_S , kan jämföras med en handmanövrerad strömställare.



När strömställaren är i *frånläge* flyter det ingen ström. Spänningsfallet över R_L blir då 0V enligt Ohms lag och hela matningsspänningen på 10V faller över strömställaren.

Transistorswitchens *från-* eller *strykläge*, som det också kallas, fungerar på samma sätt. Det flyter ingen ström genom R_L och transistorn. Spänningen blir 0V över R_L och 10V över den strypta transistorn. Förutsättningen för att hålla transistorn i strykläge är att styrspänningen U_S inte lyfter basemitterspänningen U_{BE} över strypgränsen på 0,6-0,7V.



Med strömställaren i *till-läge* flyter det så mycket ström i kretsen som R_L tillåter. Hela matningsspänningen på 10V faller över R_L och det blir 0V över strömställaren.

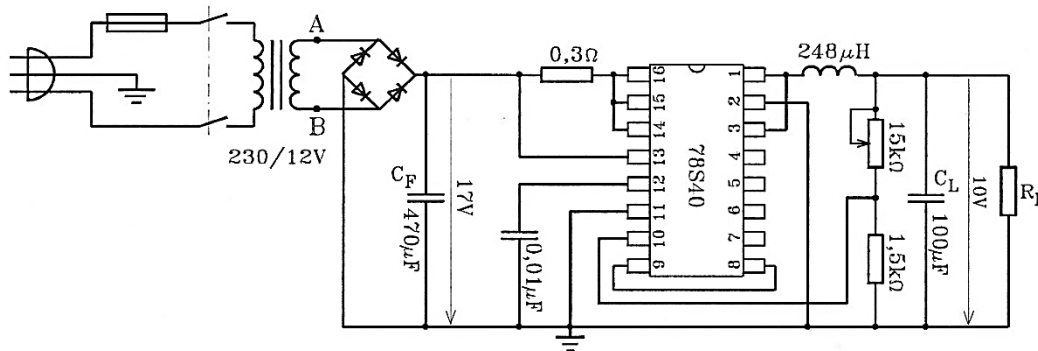
Är R_L 100 Ω beräknas I_L med Ohms lag:
$$I_L = \frac{U_L}{R_L} = \frac{10\text{V}}{100\Omega} = 0,1\text{A}$$

Testa-dig-självt 38

Hur stor blir basströmmen i en transistorswitch med inspänningen 10V och en basresistor på 6,2k Ω ?

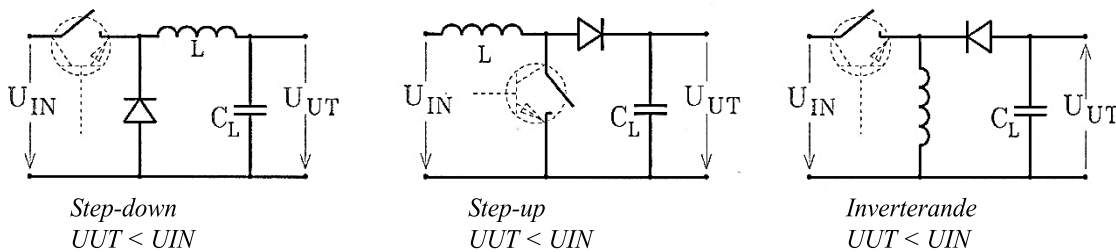
Step-down-regulatorn i IC-utförande

Switchregulatorer för låg- och medeleffekt finns tillgängliga som integrerade kretsar ("Integrated Circuits", IC-kretsar) som i en enda kapsel innehåller såväl switchtransistorn som alla de andra kretsar som ingår i reglerkretsen. Ett bra exempel på en sådan regulatorkrets är $\mu A78S40$. Tillsammans med en likriktare, en induktor, tre kondensatorer, två resistorer och en potentiometer utgör den ett switchreglerat nätaggregat som motsvarar vad som beskrivits ovan.

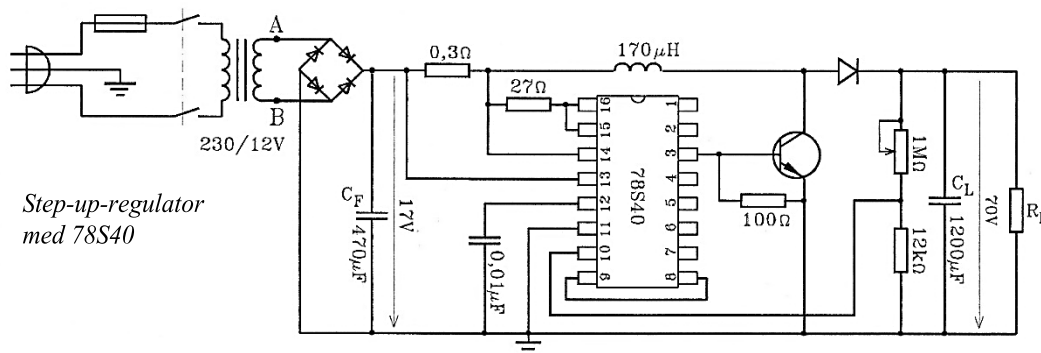


Step-up- och inverterande regulatorer

Step-up- och inverterande switchregulatorer åstadkoms genom att induktorn L och kondensatorn C_L kopplas annorlunda jämfört med step-down-regulatorn.



I step-up-regulatorn nedan erhålls utspänningen 70V från 17V inspanning. Den integrerade spänningsregulatorn 78S40 är här kompletterad med bland annat en yttre switchtransistor.



Fälteffekttransistorer

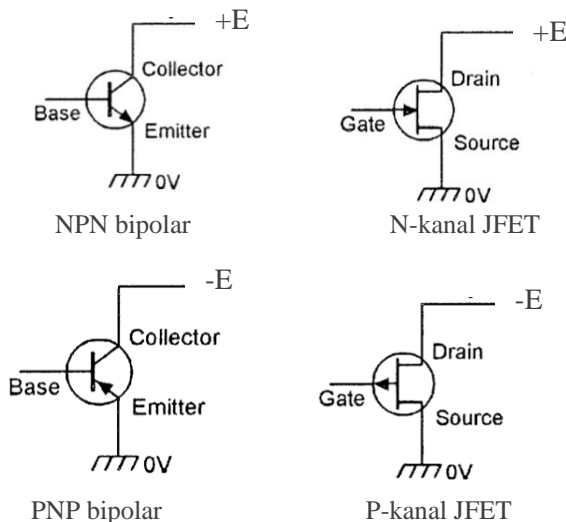
Idén om fälteffekttransistorn, FET, kom troligen från funktionen hos elektronrör som föregick transistor. Förslag på konstruktion och funktionssätt patenterades av Julius Lilienfeld så tidigt som 1925. Senare, 1940, bildades en halvledargrupp hos Bell Laboratorier som undersökte olika möjligheter att leda och styra ström genom halvledarmaterial, bland annat genom att styra med ett elektriskt fält. Det lyckades inte så bra. Istället uppfanns bipolartransistorn och det gick en tid innan en fungerande fälteffekttransistor såg dagens ljus. Efterhand har det utvecklats flera varianter av fälteffekttransistorer. I den här boken redogörs för funktionen hos JFET, MOSFET och en hybrid IGBT.



Julius Lilienfeld patenterade fälteffekttransistorns princip redan 1925

Fälteffekttransistorn JFET

JFET är en aktiv komponent med tre anslutningar, Source, Gate och Drain, vilket motsvarar Emmitter, Bas och Kollektor hos bipolartransistorer.

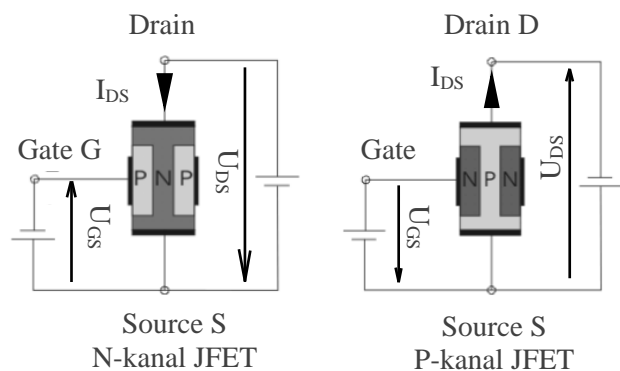


Lägg märke till:
Pilen i symbolerna pekar mot Gate i N-kanals och från Gate hos P-kanals JFET

Det finns N- och P-kanals JFET, precis som det finns två varianter av bipolartransistorer, NPN och PNP.

Konstruktion

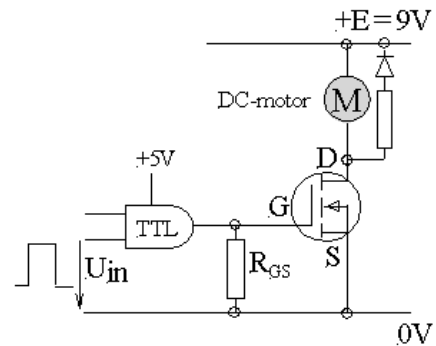
I den förenklade bilden bredvid kan man se att N-kanals och P-kanals JFET är varandras motsats på så sätt att materialet i Drain-Source-kanalen och Gate-området bytt plats. Vidare så har både N- och P-kanals JFET en PN-övergång (eng. junction) mellan Gate-området och D-S-kanalen, fast i omvänd riktning. PN-övergången fungerar som en diod.



Enkel motorstyrning

Power-MOSFET kombinerat med PWM (puls-with-modulation) är ett bra alternativ för varvtalsreglering av DC-motorer, men kom ihåg att med induktiva laster behövs en skyddsdiode som dämpar inducerade spänningar vid fränkopplingen.

Gateresistorn R_{GS} är där för att avleda eventuell uppladdning hos skikten i gaten.

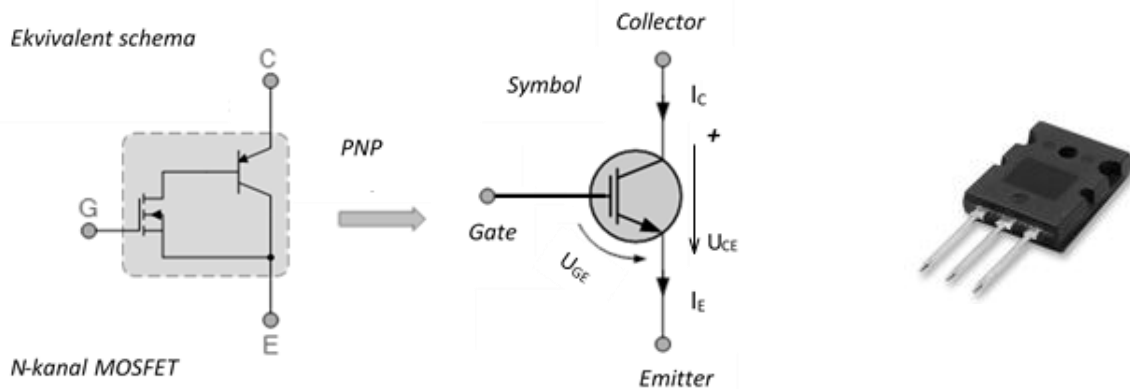


IGBT, Insulated Gate Bipolar Transistors

IGBT-transistorn är en Darlingtonkopplad hybrid med en MOSFET på ingångssidan och en bipolartransistor på utgångssidan.

Kombinationen har fördelen av en spänningsstyrd ingång med hög ingångsimpedans och en utgång som kan lämna hög ström vid låg botteningsspänning.

Ekvivalent schema



Ingångssidan benämns G (gate) som är brukligt för MOSFET, medan utgångssidan benämns C och E (colector och emitter) med referens till bipolartransistorns kollektor – emittersträcka.

Den kritiska läsaren kan tycka att C och E hamnat på fel ställe hos PNP-transistorn i det ekvivalenta schemat, men i den sammansatta komponenten är placeringen av C och E rätt, så som symbolen visar.

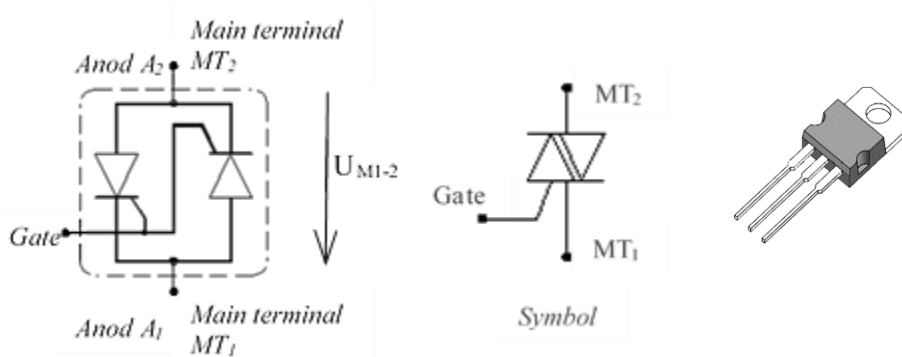
Varför IGBT

En av de största fördelen med IGBT-transistorer är att den är enkel att styra. Den är strypt vid 0V gate-spänning och blir fullt ledande vid en liten positiv gate-spänning (1 – 2V). Till detta kommer att den låga botteningsspänningen vid ledning medför låg värmeutveckling.

IGBT används huvudsakligen i effektkretsar då det finns krav på goda switchegenskaper vid hög ström och hög spänning. Var för sig har varken MOSFET eller Bipolartransistorn mött dessa krav.

Triac

En triac kan ses som två motriktade tyristorer i samma kapsling som kan koppla till och från strömmen i båda halvperioderna.



Den har tre anslutningar precis som tyristorn, men eftersom den leder i båda riktningarna används inte begreppet anod och katod.

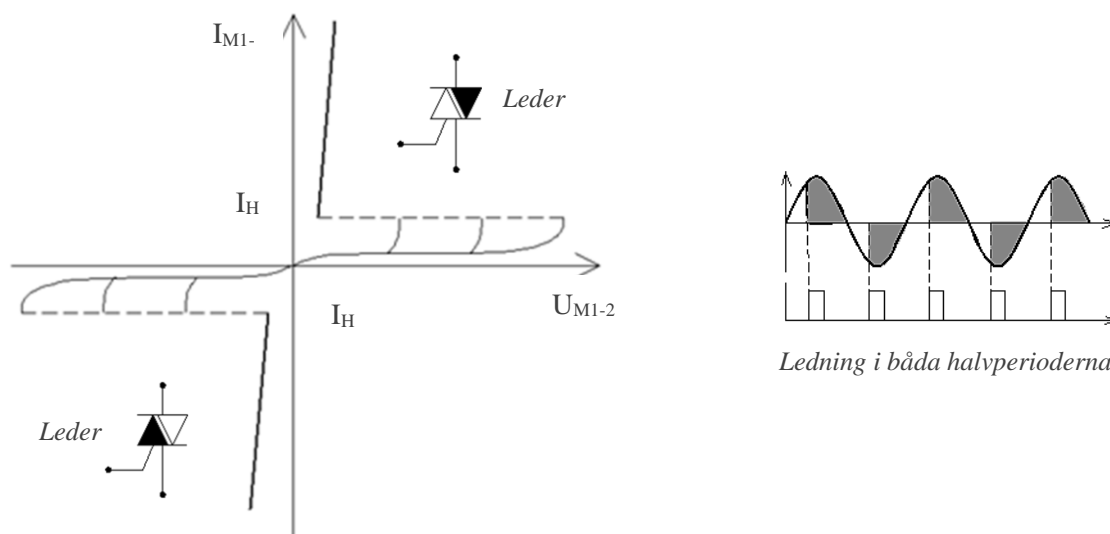
Två av anslutningarna benämns visserligen ibland som *anod* A_1 och *anod* A_2 , men mer ofta som *Main terminal* MT_1 respektive MT_2 . Katoderna nämns inte.

Vidare så är Gaten gemensam för båda tyristorerna och ur triggsynpunkt relaterad till MT_1 på samma sätt som gaten är till katoden hos tyristorn.

Medan strömmen genom en tyristor endast kan triggas av en positiv gatespänning relativt katoden så kan en triac triggas både med en positiv och en negativ gatespänning i förhållande till MT_1 (A_1).

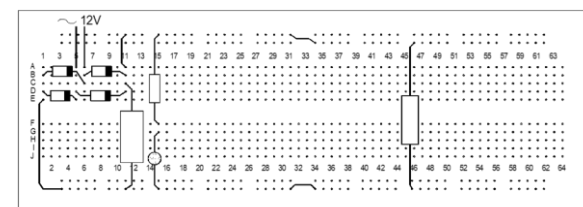
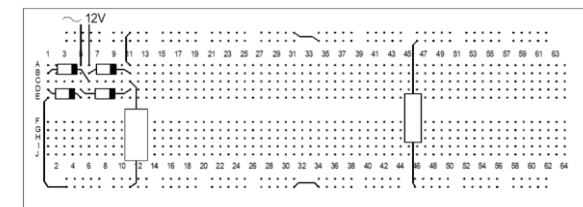
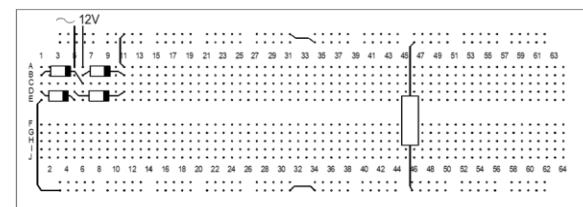
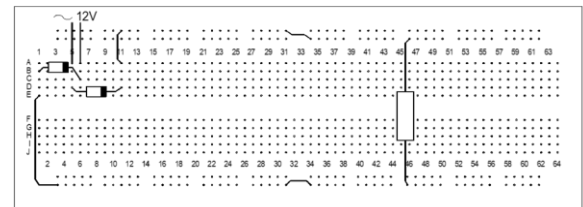
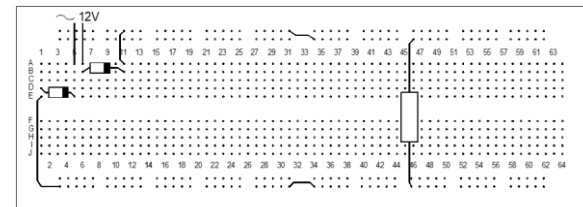
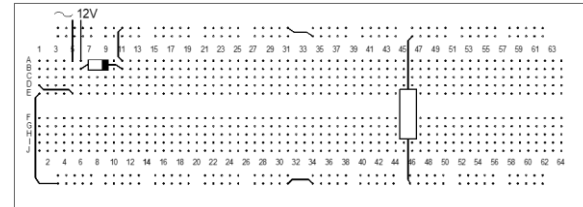
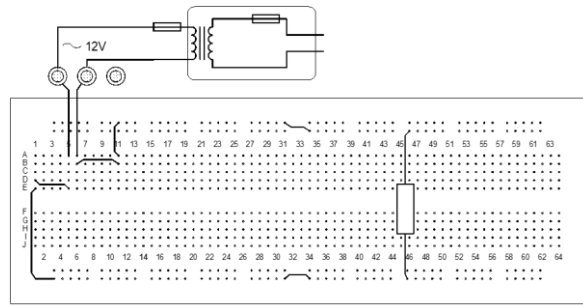
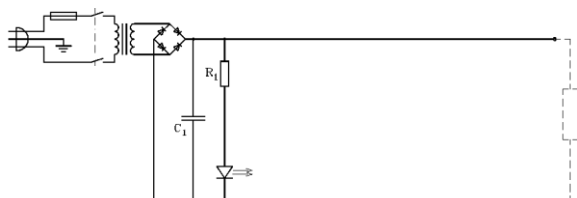
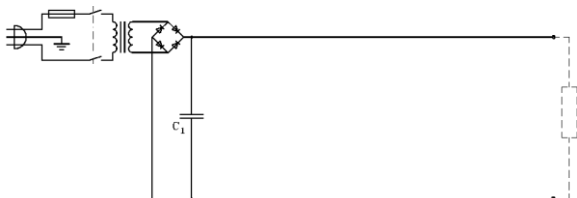
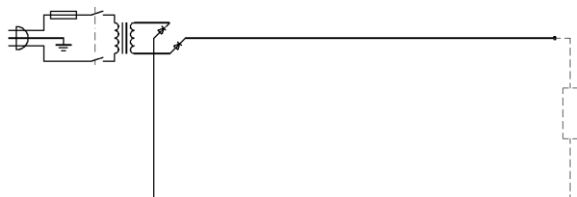
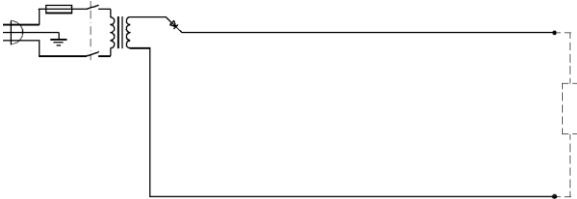
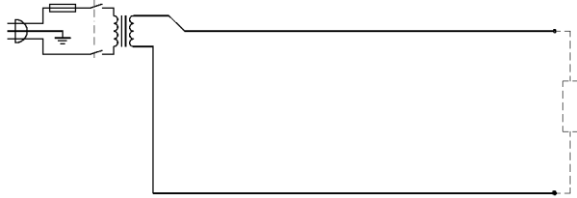
Triacens I / U – graf

I / U grafen första och tredje kvadrant representerar vardera en av de två motriktade tyristorerna.



Symbolerna illustrerar hur de motriktade tyristorerna leder växelvis under de båda halvperioderna.

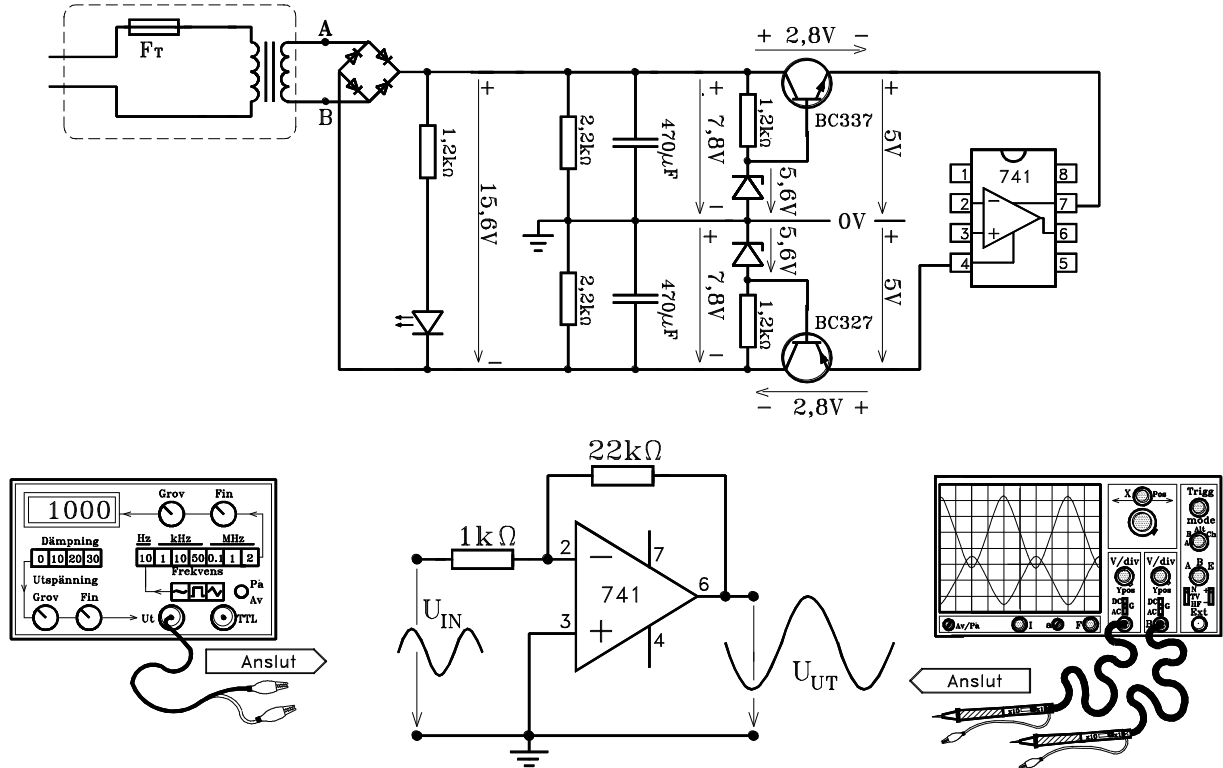
Experimentkopplingar



OP-förstärkaren, mätuppgift 15

Här ansluter vi en OP-förstärkare till spänningsregulatorn för att förse förstärkaren med driftspänning och driftström, dvs. driveffekt. Vi ska också mäta förstärkningen hos OP-förstärkaren i en given koppling.

1. Koppla experimentkretsen ovan.



Spänningsregulatorns +5V kopplas till ben 7 på OP741 och -5V till ben 4.

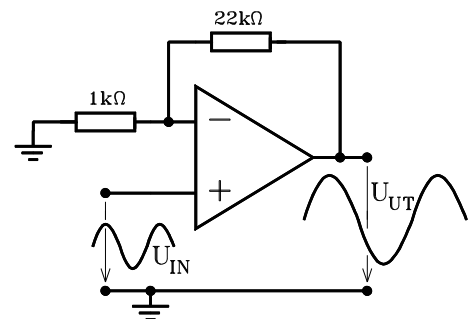
2. Anslut funktionsgeneratoren och en av oscilloskopets kanaler till OP-förstärkarens ingång. Justera därefter insignalen U_{IN} till 100mV topp-till-topp vid 1000Hz. Kom ihåg att båda instrumentens jordanslutningar måste anslutas till den markerade jordpunkten (0V).

$$F_U = \frac{U_{UT}}{U_{IN}}$$

3. Anslut oscilloskopets andra kanal till OP-förstärkarens utgång. Var noga med att jordanslutningen kopplas till samma jordpunkt. Mät U_{UT} och anteckna.

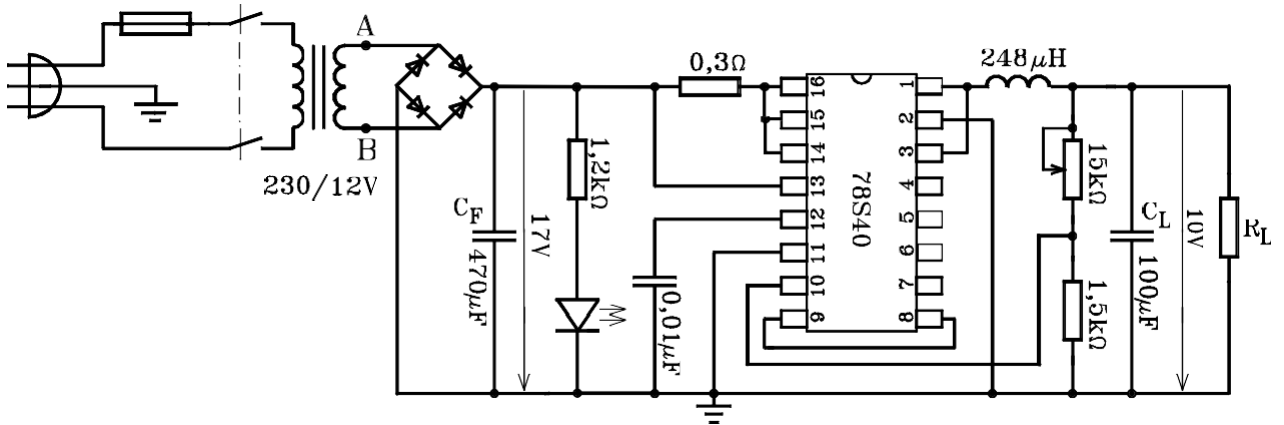
4. Beräkna spänningsförstärkningen.

5. Koppla om den inverterande OP-förstärkaren till en icke inverterande förstärkare och upprepa i övrigt mätningen ovan.

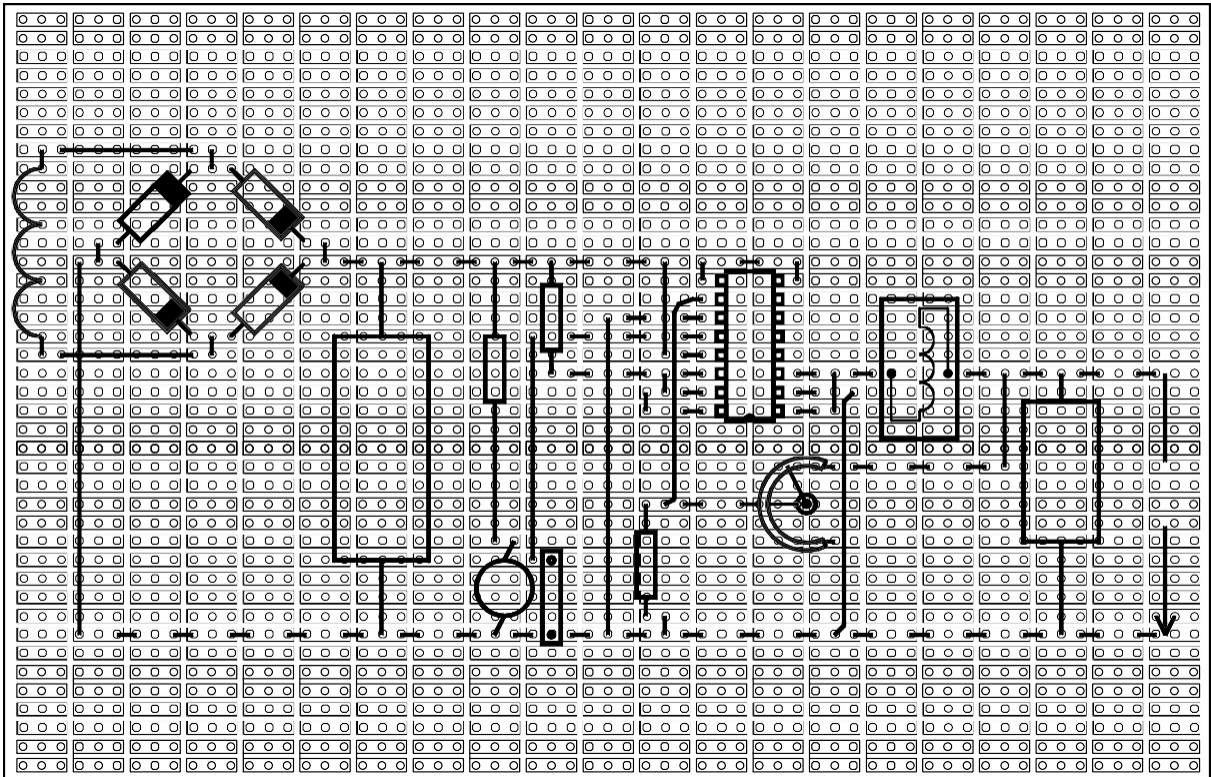


Step-down-regulator

Experimentkort 100 x 160mm med kopparlänkar har här använts för att bygga lärobokens step-down regulatorn med IC-kretsen 78S40. Observera att transformatorsymbolen endast visar var tran-ransformatorn ska anslutas och att 78S40 ses från ovasidan på experimentkortet men från undersidan (lödsidan) i kopplingschemat. Komponenterna är glest monterade för att visa kopplingen tydligare.



Likriktar- brygga	Filter- kond. 470μF	1,2kΩ LED	0,3Ω 0,01μF	15kΩ 78S40	Poten- tiometer 15kΩ	248μH	100μF
----------------------	---------------------------	--------------	----------------	---------------	----------------------------	-------	-------



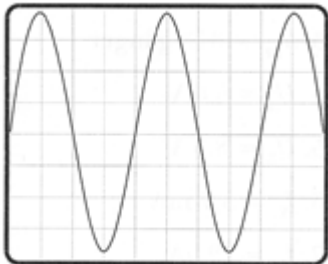
Facit till mätuppgifterna

Observera att värdena i mätfacit är beroende av nätspänningen, mätinstrument och komponenter. Facits värden kan därför avvika från uppmätta värden och i svar på beräkningar där mätvärden ingått.

2 Transformatorn

2. $U_L = 13,6\text{V}$ vid lågt eller obelastad transformator.

4.



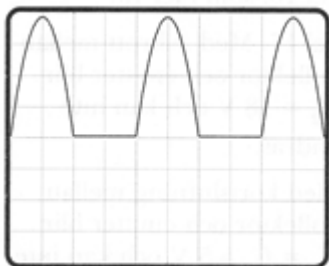
5. $u_{t-t} = 2 \cdot 13,6 \cdot \sqrt{2}\text{V}$, $u_{t-t} = 38,4\text{V}$

6. $U_L = 13,6\text{V}$

7. $\hat{i} = \frac{13,6 \cdot \sqrt{2}\text{V}}{220\Omega} = 87,4\text{mA}$

3 Halvvågslikriktaren

3.

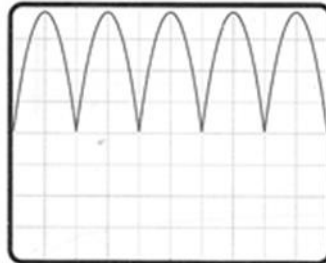


Fel 1: $U_S = 0\text{V}$, $U_L = 0\text{V}$

Fel 2: $U_S \approx 13,6\text{V}$, $U_L = 0\text{V}$

4 Helvågslikriktning

4.



Fel 3: Endast en halvperiod likriktas.
 $\hat{u} = 19\text{V}$.

Fel 4: $U_L = 0\text{V}$. Likriktaren slutar att fungera.

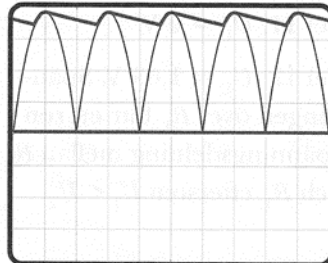
5 Filterkondensatorn

2. U_S mätt till $13,3\text{V}$. U_C beräknad till $17,4\text{V}$.

3. $U_F = U_L = 16,9\text{V}$ mätt med multimeter.

$U_F = U_L = 17\text{V}$ mätt med oscilloskop.

4.



Fel 5: U_L sjönk till $14,5\text{V}$ mätt med multimeter, rippelspänningen ökade till 8V_{t-t} mätt med oscilloskop.