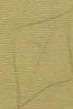




**System Elektronik**  
**Basis Elektronik**

Gyldendal

**Ryan Holm**



7. oplag

# **System Elektronik** **Basis Elektronik**

**Gyldendal**

**Ryan Holm**



*System elektronik: Basis Elektronik*

© 1975 by Gyldendalske Boghandel,

Nordisk Forlag A.S. Copenhagen.

Illustrationer af P. W. H. Dam

Fotografier fra Philips og af forfatteren

Kopiering fra denne bog er kun tilladt

i overensstemmelse med overenskomst

mellem Undervisningsministeriet og Copy-Dan.

Lay-out og omslag: art/Grafik

Bogen er sat med Akzidenz-Grotesk (Diatronic),

og trykt hos Laursen · Tønder

7. oplag er et uændret optryk.

Printed in Denmark 1988

ISBN 87-01-23521-4

# System elektronik

## Indhold

Forord til læreren .....	3	Transistoren som switch .....	52
Til eleven .....	5	Transistoren som signalforstærker .....	54
At læse diagram .....	7	Typebetegnelser for transistorer .....	56
Spændingsforskel og spændingskilder .....	7	Oversigt over symboler .....	57
Strømstyrke .....	8	Stikordsregister .....	64
Modstand – resistans .....	10		
Måling af resistans .....	11		
Effekt .....	11		
Modstande .....	12		
Farvekode for modstande .....	12		
Modstandstyper: Faste modstande .....	13		
Modstandstyper: Variable modstande .....	15		
Specielle modstandstyper .....	17		
Modstande i serie- og parallelforbindelse .....	19		
Kondensatorer .....	20		
Kondensatortyper .....	21		
Farvekode for kondensatorer .....	23		
Op- og afladning af kondensator .....	24		
Kondensator i serie- og parallelforbindelse .....	25		
Oscilloskopbilleder .....	27		
Jævnspænding – jævnstrøm .....	27		
Vekselspænding – vekselstrøm .....	27		
Kondensatorer ved vekselspænding .....	28		
Kondensatorer ved forskellige frekvenser .....	28		
RC-led .....	29		
Spoler .....	31		
Transformator .....	31		
Selvinduktion .....	33		
LC-led .....	33		
Svingningskredse .....	33		
Relæ .....	35		
Dioden .....	35		
Ensretning af vekselstrøm .....	37		
Diodens karakteristik .....	39		
SCR – thyristor .....	41		
Germaniumdioder- siliciumdioder .....	42		
Mærkning af dioder .....	42		
Zenerdioden .....	42		
Lysdiode – LED .....	43		
Kapacitetsdiode .....	44		
Halvledere .....	44		
PN-krystallet .....	47		
Transistoren .....	48		
Transistorens virkemåde .....	50		



Start elektronik  
Lærervejledning

Basis elektronik

Praktisk elektronik

Laboratorie  
og teoriopg.

AV  
flippedtrænbog

AV  
diasserie

Vejledning  
til Lab.-og  
teoriopg.

Styring med  
elektronik

Forstærkning  
med elektronik

Måling med  
elektronik

Digital  
elektronik

Kommunikation  
med elektronik

# Forord

## Til læreren

Denne bog indgår i serien *System elektronik*, der nøje følger intentionerne i „Undervisningsvejledning for folkeskolen nr. 27“, „Elektronik“, der er udsendt af undervisningsministeriet i 1976.

„System elektronik“ vil komme til at bestå af syv bøger med tilhørende elevøvelsess hæfter. De syv bøger er:

### Basis elektronik

### Praktisk elektronik

### Digital elektronik

### Forstærkning med elektronik

### Styring med elektronik

### Måling med elektronik

### Kommunikation med elektronik

De seks førstnævnte bøger er udkommet, medens den sidste er under udarbejdelse.

**Basis elektronik** er en selvstændig lærebog i den grundlæggende elektronik. De komponenter, der indgår i elektronikken, beskrives, og deres funktion i elektroniske kredsløb undersøges. Med gennemarbejdelsen af denne bog har man et grundlag at arbejde på. Parallelt med arbejdet med *Basis elektronik* vil det være rimeligt at arbejde med *Praktisk elektronik* samt én eller flere af de øvrige bøger.

**Praktisk elektronik** gennemgår opbygningen af konstruktioner og giver praktiske anvisninger på fremstilling af „trykte kredsløb“, loddeteknik osv. Herudover er der en række konstruktioner, der dækker emner, der er blevet behandlet i de andre bøger i serien. Arbejdes der f.eks. med *Digital elektronik*, kan man i *Praktisk elektronik* finde alle typer multivibratorer i færdige konstruktioner med diagram, printtegning og komponentplaceringstegning.

### Forstærkning med elektronik

I *Basis elektronik* arbejdes med transistorens funktion som forstærker af elektroniske signaler. I denne bog udvides begreberne.

LF forstærkerens opbygning gennemgås, og på en simpel forstærker gennemføres målinger af de vigtigste af de specifikationer, fabrikanterne giver om deres forstærkere. Det er oplysninger, man får hos sin radioforhandler, når man skal købe nyt stereoanlæg. Det kan være begreber som signal/støj forhold, frekvensgang, ind- og udgangsimpedans, dynamik, følsomhed, etc. Oplysninger som disse efterprøves ved målinger på en forstærker.

Desuden ses der på højttalere - på delefiltre og højttalersystemer.

### Kommunikation med elektronik

I denne bog behandles principperne for kommunikation ved hjælp af elektronikken. De grundlæggende funktioner af lavfrekvens- og højfrekvensoscillatorer belyses, og principperne i radiomodtagere og -sendere gennemgås.

### Digital elektronik

Digital elektronik er den del af elektronikken, der er i den største udvikling. Den er grundlaget for elektroniske regnemaskiner fra den største datamat til den mindste lommeregner. Alle former for styring af og med elektronik er baseret på digital elektronik.

I *Digital elektronik* arbejdes der med alle former for multivibratorer, digital og decimal udlæsning, logiske kredse og deres anvendelse, og der vises eksempler på anvendelsen af integrerede kredse.

### Styring med elektronik

Kredsløb kan styres af lys, lyd, varme m.v. Dette område af elektronikken er meget omfattende, og flere og flere maskiner i hjemmet, på fabrikken eller værkstedet kontrolleres og styres af elektronik.

Spændingsforsyningers opbygning er behandlet. Der vises elektronisk regulering af spænding og strøm, og hvordan en spændingsforsyning kan kortslutningssikres.

I elektronisk styring anvendes forskellige specielle halvledere. Det er unijunctionstransistoren (UJT), tyristoren, TRIAC og DIAC. Disse halvlederes funktion gennemgås i teori og med praktiske eksempler.



## Måling med elektronik

I denne bog ses på et vigtigt område af elektroniken, nemlig måling. For at kunne arbejde rigtigt med elektronik må man også kunne bruge elektroteknikkens værktøj, måleinstrumenterne. Derfor er der i denne bog anvisninger på, hvordan måleinstrumenterne er opbygget, og hvordan man anvender dem. De to vigtigste måleinstrumenter er universalmåleinstrumentet og oscilloskopet, og derfor er der gjort meget ud af disse to instrumenter. Med universalmåleinstrumentet kan der måles spænding, strøm og resistans, men man kan også med det undersøge, om en transistor er i orden.

Oscilloskopet, der for få år siden var et ukendt instrument for mange fysiklærere, er i dag standard i de fleste fysiksamlinger, og det er et instrument, der er uhyre mange anvendelsesmuligheder for.

## Vejledning til System elektronik

### Start elektronik - Et begynderforløb med System elektronik

Denne bog er en vejledning i, hvordan man kan starte med elektronik. Bogen vil kunne anvendes af:

- a) den, der selvstændigt vil i gang med at arbejde med elektronik,
- b) den lærer, der skal i gang med en begynderundervisning i 8. klasse i folkeskolen,
- c) den lærer, der skal undervise i ungdomsskolen, på ungdoms- og efterskoler,
- d) den lærer, der skal undervise på elektronikkursus for voksne i aftenskolen.

Herudover vil bogen kunne være til støtte for enhver underviser, der skal i gang med et begynderforløb i elektronik.

## AV-materialer til System elektronik

### Flipatranbogen: Elektronik

En flipatranbog er en bog med transparenter til overheadprojektoren.

Bogen starter med opbygning af et diagram. På den første transparent vises en glødelampe tilsluttet et batteri. Ved at lægge flere blade oven på det første følges opbygningen af et diagram. På samme måde er de øvrige emner i bogen opbygget.

Bogen indeholder følgende:

Diagramopbygning 4 blade

Diagramsymboler 2 blade

Farvekode for modstande 2 blade

Modstandsrekken 2 blade

Farvekode for kondensatorer 1 blad

Kondensatorer og modstande

i serie- og parallelforbindelse 3 blade

RC-led og LC-led 2 blade

Ensretning af vekselstrøm 3 blade

Dobbeltensretning 2 blade

Multivibrator 2 blade

Forstærkning 3 blade

Transistorens karakteristikker 6 blade

### Diasserien: Sådan fremstiller du et trykt kredsløb

Denne diasserie er udarbejdet som en hjælp for alle, der ønsker at gå i gang med elektronik, og den fortæller om det meget væsentlige elektronikarbejde - at fremstille et trykt kredsløb. Den fortæller også om, hvordan en korrekt lodning udføres.



## **Til eleven**

Denne bog er en del af *System elektronik*, der består af syv bøger og nogle hæfter med opgaver.

De syv bøger er:

**Basis elektronik**

**Praktisk elektronik**

**Digital elektronik**

**Forstærkning med elektronik**

**Styring med elektronik**

**Kommunikation med elektronik**

**Måling med elektronik**

For at arbejde med elektronik er det nødvendigt at have en vis viden om grundbegreberne i faget, og denne viden kan man tilegne sig gennem bogen *Basis elektronik*. Man kan godt uden at vide ret meget om elektronik bygge alle konstruktionerne i *Praktisk elektronik*, og konstruktionerne vil sikkert virke første gang, der tilsluttes spænding. Mange arbejder med elektronik på denne måde og får lavet store konstruktioner. Først når noget ikke virker, får man brug for en viden for at finde frem til fejlen. Gør man ikke det, er pengene spildt. Derfor bør man først tilegne sig en grundlæggende viden om emnet.

Har man gennemarbejdet *System elektronik*, har man fået en hel del viden om elektronik, og dette vil være værdifuldt, uanset hvilket erhverv man har eller vil uddanne sig i. Elektronikken får større og større indflydelse på vor hverdag, og den, der kan „tænke elektronisk“, er godt rustet.

Elektronik er ikke kun nyttigt erhvervsmæssigt, men det er en god hobby at have. Denne hobby dækker et stort område. Man bygger måske selv sit Hi-Fi stereoanlæg og interesserer sig for denne side, eller man bliver radioamatør og skaffer sig venner over hele verden via mikrofonen.

Har man en helt anden hobby: fisk, kaniner eller duer, vil man også inden for denne hobby finde områder, hvor man med fordel kan udnytte sin elektronikviden.

Der er mange muligheder, og det kan også være et mål, at man når frem til at gøre sin hobby til sit erhverv.

*Ryan Holm*



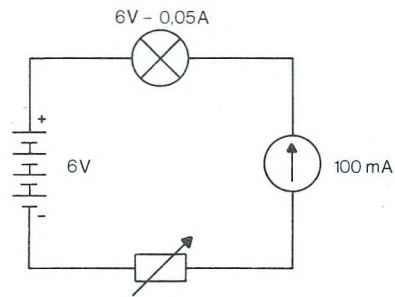
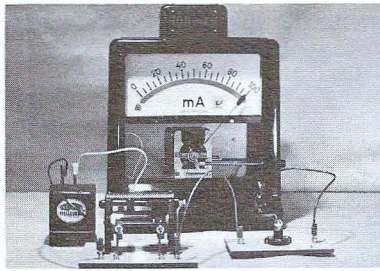


Fig. 1. Diagram over enkel opstilling

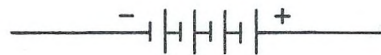


Fig. 2. Batteri



Fig. 3. Glødelampe

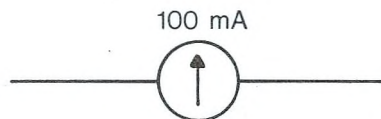
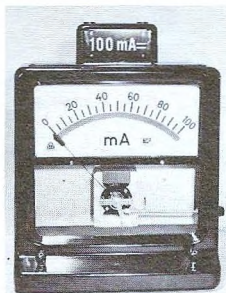


Fig. 4. Milliamperemeter

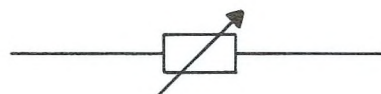
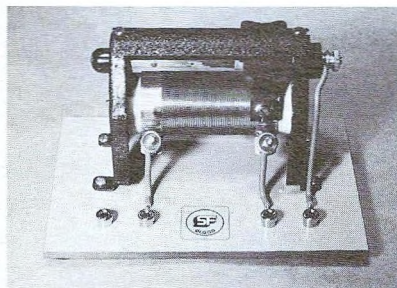


Fig. 5. Variabel modstand



## At læse diagram

Når man skal i gang med at arbejde med elektronik, må man først lære at tale på „elektroniksprog“. Det skal forstås således, at man må lære at læse et diagram og lære de komponenter at kende, der indgår i elektronikken.

Et diagram er en tegning over et elektronisk kredsløb. Der er brugt symboler for de elektroniske enheder, der indgår i kredsløbet.

Diagrammet viser et kredsløb, hvori der indgår tre komponenter og en spændingskilde (fig. 1).

Hvis vi ikke havde brugt symboler, ville vi ikke på en overskuelig måde have kunnet illustrere det kredsløb, vi vil lave. Måske nok i den enkle opstilling, men ikke, hvis vi skulle have beskrevet, hvordan en transistorradio er sammensat med spoler, kondensatorer, modstande, dioder og transistorer. Det er nogle af de *komponenter*, der arbejdes med i elektronikken.

I kapitlet „Symboler“ bag i denne bog gives en oversigt over de mest anvendte symboler for komponenter i elektronikken.

## Spændingsforskel og spændingskilder

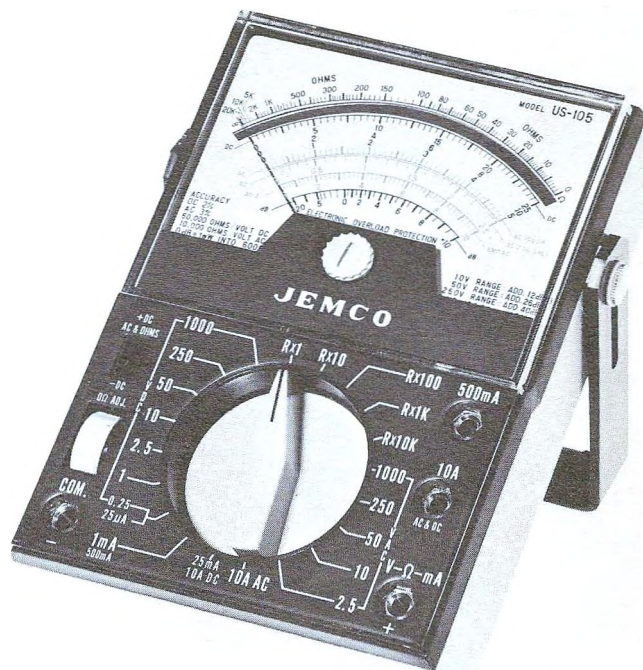
En spændingsforskel er nødvendig for at drive en strøm gennem et elektrisk kredsløb.

Spændingsforskel måles i enheden *volt* med et voltmeter og betegnes med bogstavet *U*.

Tørelementet er den vigtigste spændingskilde til elektroniske forsøg. Det leverer en fuldstændig udglattet og brumfri elektrisk strøm. Spændingsforskellen mellem polerne på et almindeligt tørelement er 1,5 V. Hvis der ønskes en højere spænding, kan flere elementer sammensættes til et batteri. To elementer kan forbindes i serieforbindelse og har så en spændingsforskel på 3 V. Et 4,5 V batteri er sammensat af tre elementer i serieforbindelse.

Tørelementet er en nem løsning på problemet spændingsforsyning til elektroniske forsøg. Det er også på længere sigt en dyr løsning. En transistorradio forbruger hurtigt et sæt elementer. Det vil være en god økonomisk investering med en spændingsforsyning til lysnetdrift. Den er hurtigt tjent ind. Til elektronikforsøg er en elektronisk reguleret spændingsforsyning at foretrække.

I bilen findes en blyakkumulator. Den er sammensat af tre eller seks celler, der hver har en spændingsforskel på 2 V. Det bliver så til batterier med henholdsvis 6 V eller



Universalinstrument

12 V. Akkumulatoren bruges kun ved start af bilen og til lys på bilen, når motoren ikke er i gang. Når motoren er i gang, trækker den en dynamo, der leverer den nødvendige strøm. En cykel kan også være forsynet med en dynamo, der leverer strøm til for- og baglygte på cyklen.

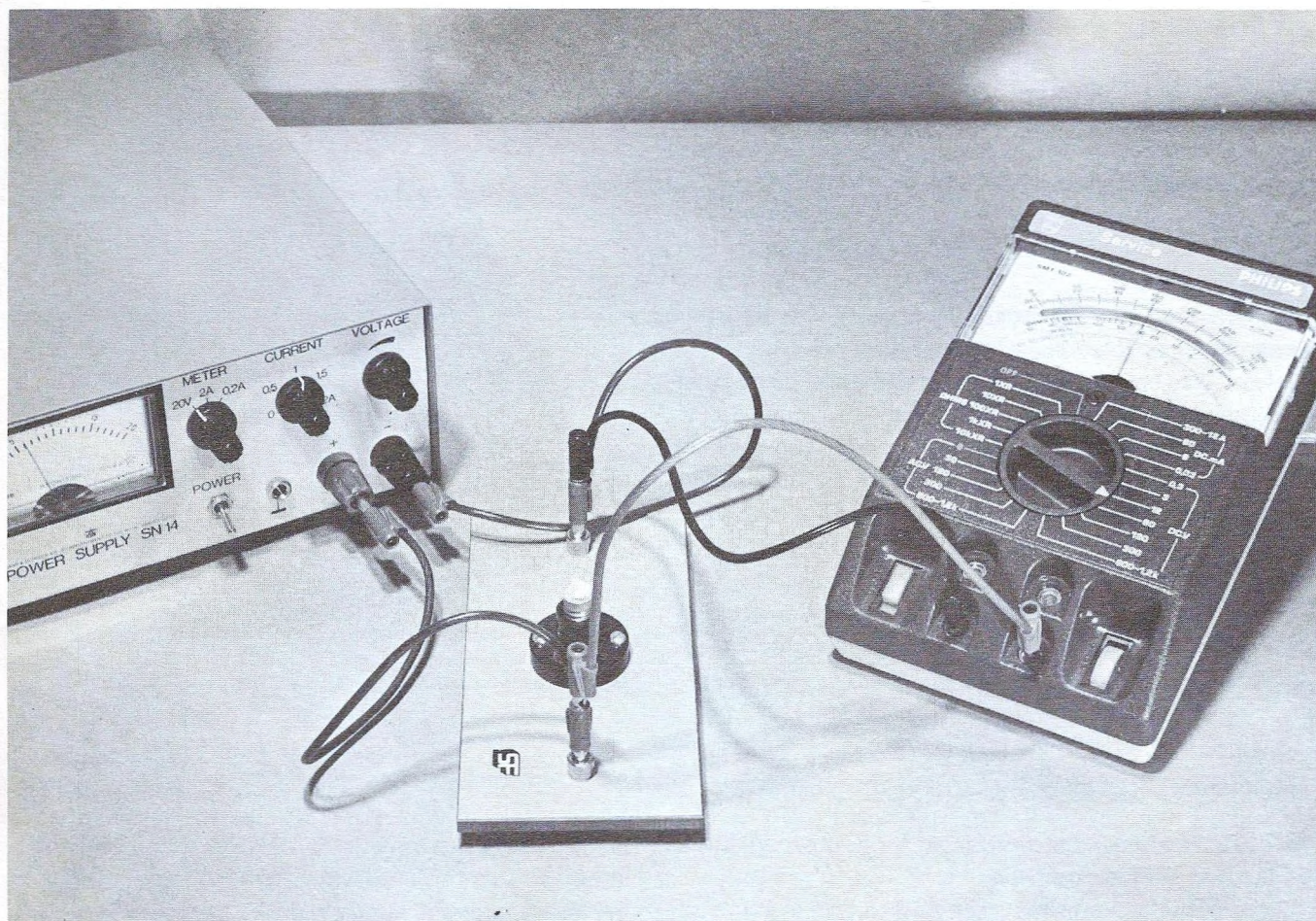
I hjemmet er den vigtigste strømkilde stikkontakten, der gennem ledningsnettet er forbundet med en dynamo på elektricitetsværket. Her er spændingsforskellen 220 V vekselstrøm.

### Måling af spændingsforskel

Spændingsforskellen eller spændingsfaldet over et elektrisk kredsløb måles med et voltmeter.

Et voltmeter har stor indre modstand (flere tusinde ohm) og må derfor ikke indskydes i kredsløbet. Hvis man gør det, vil modstanden i voltmeteret bremse strømmen i kredsløbet. Voltmeteret skal derfor med ydre ledninger tilsluttes over den strækning, hvor man ønsker at måle spændingsfaldet. Et batteris spændingsforskel måles således ved at sætte ledningerne fra voltmeteret direkte på batteriets poler. Man må blot huske at tilslutte plus fra voltmeteret til plus på batteriet. Ellers kan voltmeteret tage skade.





Måling af spænding med universalinstrument

## Strømstyrke

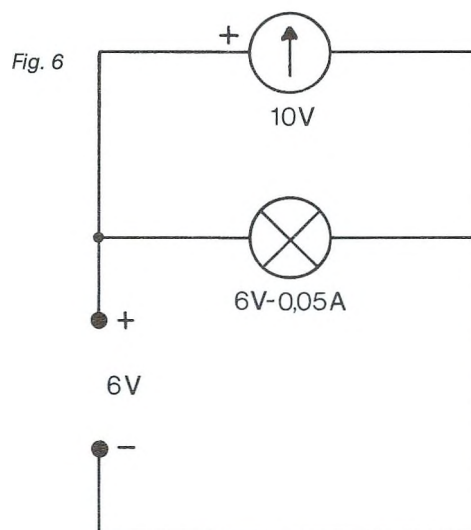
Et tørrelement har to poler: plus (+) og minus (÷).

Hvis elementet ikke gennem ydre ledninger er tilsluttet et elektrisk kredsløb, afgiver elementet ingen elektrisk strøm.

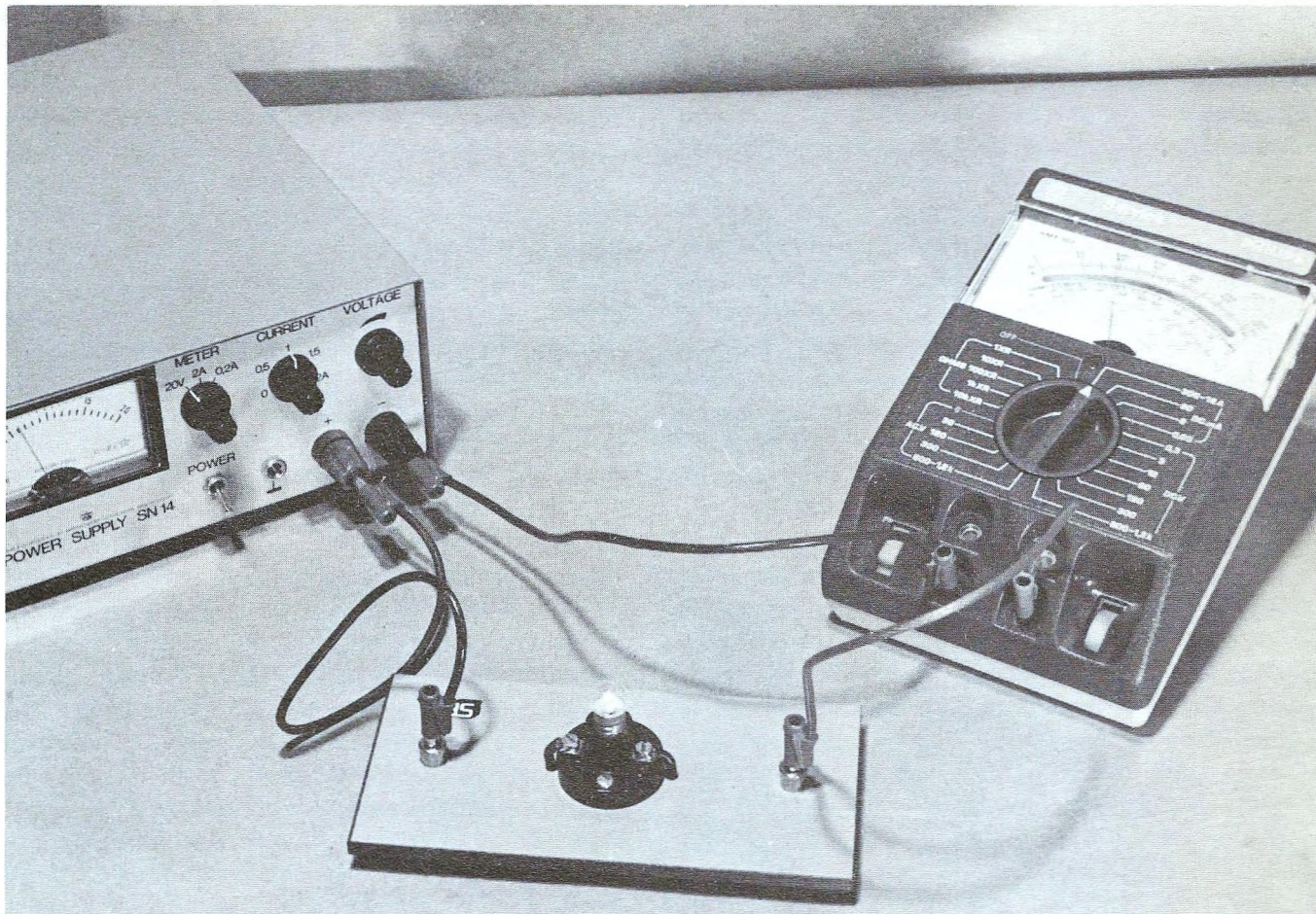
Hvis en elektrisk pære forbindes til tørrelementet, vil der gennem pæren gå en elektrisk strøm. Strømmen består af elektroner, der fra tørrelementet pumpes gennem det elektriske kredsløb. Elektronerne pumpes ud ved minus, går gennem ledningerne og pæren og opsuges ved plus.

Der går således en elektronstrøm fra minus til plus. Ved minus er der overskud af elektroner, ved plus underskud.

Man har oprindelig vedtaget, at den elektriske strøm gik fra plus til minus. Mange læresætninger bygger herpå, så det er praktisk at holde fast ved dette.







Måling af strømstyrke med universalinstrument

Vi siger derfor stadig, at strømmen går fra plus til minus, men at elektronstrømmen går fra minus til plus.

### Måling af strømstyrke

Strømmen i et elektrisk kredsløb måles med et amperemeter. Instrumentet indskydes i ledningen, og den strøm, der går gennem kredsløbet, går også gennem instrumentet. Da amperemetrets indre modstand er meget lille, har det ingen indflydelse på kredsløbet.

Diagrammet (fig. 7) viser et elektrisk kredsløb, hvor en elektrisk pære er tilsluttet 6 V. Strømmen i kredsløbet måles med et amperemeter, der giver fuldt udslag for en strøm på 100 mA.

Vi vil se, at instrumentet giver halvt udslag – strømmen i kredsløbet er  $50 \text{ mA} = 0,05 \text{ A}$ . Det vil sige, at den pære, vi benyttede, kunne betegnes med  $6 \text{ V} - 0,05 \text{ A}$ . Det betyder, at ved en spænding på 6 V over pæren vil der gennem den gå en strøm på 0,05 A.

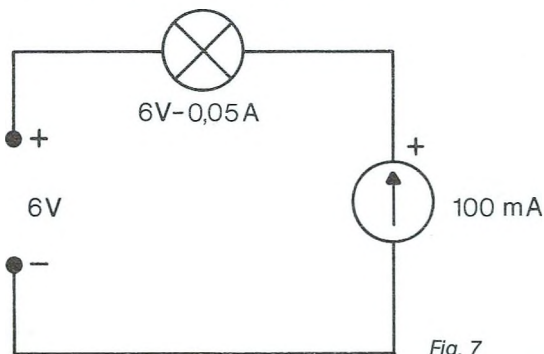


Fig. 7



## Modstand – resistans

Alle metaller kan lede den elektriske strøm, men de leder ikke alle den elektriske strøm lige godt. Nogle yder større modstand end andre. Det skyldes, at elektronerne på deres vandring gennem metaltråden støder mod metallets atomer. Den bedste leder er sølv. Kobber er næsten lige så god. Kul kan også lede den elektriske strøm, men yder stor modstand. Det kan man udnytte, idet man inden for elektronikken ofte finder anvendelse for modstande af forskellig størrelse. Der er også mange stoffer, der ikke kan lede den elektriske strøm. De kaldes ikke-ledere eller isolatorer, og i denne gruppe findes bl.a. plastic, ebonit, gummi, glas, porcelæn, pertinax o.m.a.

Isolatorerne udnyttes i høj grad. Vi behøver blot at tænke på elektriske ledninger. De er omgivet af en beskyttende isolator: plastic.

Den modstand, et stof yder over for den elektriske strøm, kaldes dens modstand eller dens resistans. Det har været almindeligt at bruge den første betegnelse, men for ikke at forveksle begrebet med komponenten en modstand, er mange gået over til at bruge udtrykket resistans. Vi vil benytte ordet resistans.



Resistans måles i enheden ohm ( $\Omega$ ) og betegnes med R. ( $\Omega$  er det græske bogstav omega). 1  $\Omega$  har vi f.eks. i en konstantantråd, der er 10 cm lang og  $\frac{1}{4}$  mm i diameter. Vi har tidligere hørt, at resistansen i en tråd er afhængig af, hvilket stof tråden er af.

Resistansen er også afhængig af længden. Jo længere en tråd er, jo større resistans. Med tykkelsen er det omvendt.

Jo tykkere en tråd er, jo mindre resistans. I et elektrisk kredsløb er der sammenhæng mellem spændingsforskel (U), strømstyrke (I) og resistans (R).

Spændingsforskellen defineres således:

1 volt er spændingsfaldet over en modstand på 1  $\Omega$  ved en strøm på 1 A.

Hvis spændingsforskellen ikke ændres, og resistansen gøres mindre, vil strømmen blive større.

Omvendt vil strømmen blive mindre ved større resistans.

Strømmen er altså afhængig af forholdet mellem spændingen og resistansen. Det kan skrives således:

$$\text{strøm} = \frac{\text{spænding}}{\text{resistans}}$$

Dette udtryk kaldes Ohms lov.

Det kan med bogstaver skrives således:

$$I = \frac{U}{R}$$

I er strømmen målt i ampere, U er spændingsforskellen målt i volt, og R er resistansen målt i ohm.

Hvis vi i et kredsløb kender spænding og resistans, kan vi ved hjælp af Ohms lov finde, hvor stor strømmen er.

Eks.: U = 6 V, R = 3  $\Omega$ . Beregn I.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{6}{3} = 2 \text{ A}$$

Strømstyrken er 2 ampere.

Hvis vi kender to af størrelserne, kan vi altid finde den tredje, idet Ohms lov kan omskrives.

Hvis strømmen (I) og resistansen (R) kendes, kan spændingen (U) beregnes.

$$U = R \cdot I$$

Eks.: I = 3 A, R = 5  $\Omega$ . Beregn U.

$$U = R \cdot I = 5 \cdot 3 = 15 \text{ V}$$

Spændingsforskellen er 15 V.



Resistansen (R) kan beregnes på lignende måde, hvis spændingen (U) og strømmen (I) kendes.

$$R = \frac{U}{I}$$

Eks.: U = 10 V, I = 2 A. Beregn R.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{10}{2} = 5 \Omega$$

Resistansen er 5  $\Omega$ .

### Måling af resistans

Til måling af resistans bruges et ohmmeter. Med det kan man finde resistansen af en ukendt modstand.

Ohmmetret ser ud som fig. 8. Når der intet er tilsluttet over instrumentets måleklemmer, står viseren på  $\infty$  (uendelig stor modstand).

Hvis instrumentets måleklemmer forbindes med en kort ledning, vil instrumentet vise 0. (0 ohms modstand).

Hvis instrumentet ikke står nøjagtigt på nul, kan det nuljusteres med en knap, 0 ADJ. Instrumentet er så klar til måling.

Når man skal anvende ohmmetret, starter man med at nuljustere det i det område, man ønsker at måle i. Det kan være  $R \times 1000$ . Prøveledningerne forbindes til hinanden, og 0 ADJ drejes, indtil instrumentet viser 0. Så forbindes den ukendte modstand til prøveledningerne, og udslaget

på instrumentet aflæses. Det viser måske 10. Modstandens værdi er så  $10 \times 1000 \text{ ohm} = 10000 \text{ ohm}$ . Den er på 10 k $\Omega$ .

Vi ser, at jo større resistans jo længere slår viseren mod venstre. Det er modsat amperemetret og voltmetret.

### Effekt

Elektrisk strøm i en leder er ensbetydende med varmeudvikling.

Når der går en strøm gennem en elektromotor, omsættes den største del af den elektriske energi til mekanisk energi, men en lille del bliver til varme.

Når der går strøm gennem en glødelampe, frembringes lys, men også varme.

I begge tilfælde omsættes elektrisk energi til en anden energiform.

Energiforbruget pr. sekund kaldes *effekt* og måles i enheden *watt* (W).

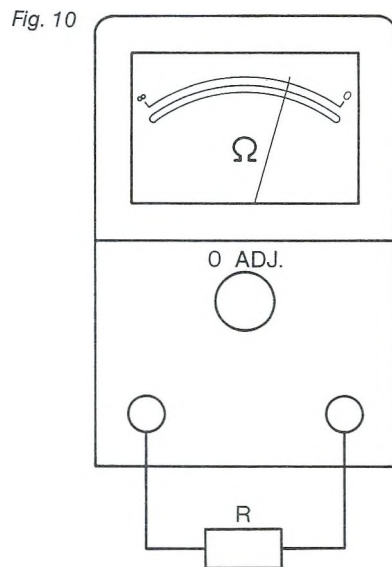
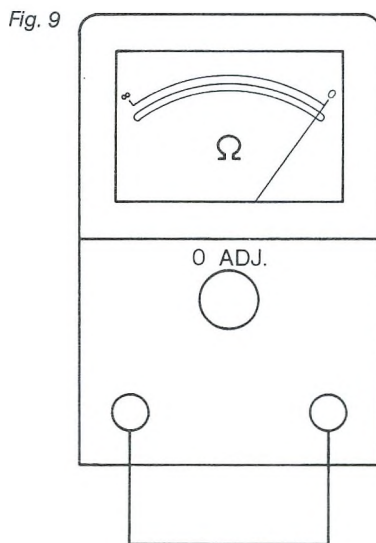
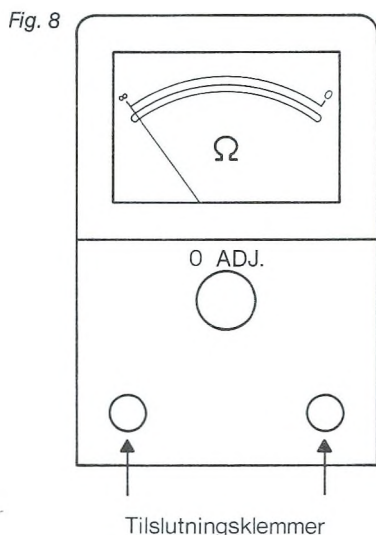
Den elektriske effekt (P), der afsættes i modstanden, strøm. Hvis spændingen over en modstand bliver forøget, vil der gå en større strøm, og der vil udvikles mere varme.

Den elektriske effekt (P), der afsættes i modstanden, findes ved at gange spændingen over modstanden (U) med strømmen gennem den (I).

$$\text{watt} = \text{volt} \cdot \text{ampere}$$

eller

$$P = U \cdot I$$





Eks.: Hvis en modstand på 1K påtrykkes en spænding på 10 V, vil der ifølge Ohms lov gå en strøm på 10 mA gennem den.

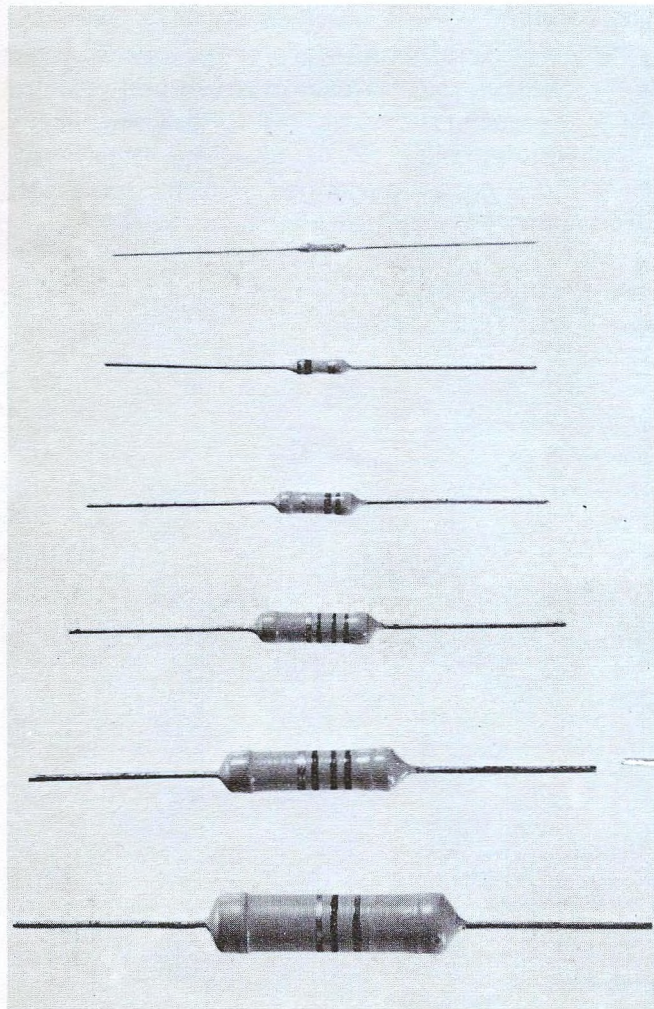
$$I = \frac{U}{R} = \frac{10}{1000} = 0,01 \text{ A}$$

Effekten, der afsættes i modstanden, er da:

$$P = U \cdot I = 10 \cdot 0,01 \text{ W} = 0,1 \text{ W}$$

Modstanden skal således kunne tåle  $\frac{1}{10}$  watts belastning.

## Modstande



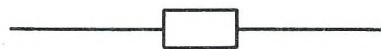
En af de mest anvendte komponenter i elektronikken er modstanden. Den fås i mange forskellige former og udførelser. På fotografiet ses seks typer af kulmodstande. Deres ydre størrelse er forskellig, men det betyder ikke noget for resistansen i en sådan komponent. Den ydre størrelse betyder kun noget for den belastning, modstanden tåler, den effekt, der kan afsættes i modstanden.

Der er mange standardstørrelser med hensyn til belastning; f.eks.  $\frac{1}{16}$  W,  $\frac{1}{8}$  W,  $\frac{1}{4}$  W,  $\frac{1}{2}$  W, 1 W og 2 W. Det er de seks typer, der ses på billedet.

Modstande fås i en række standardværdier fra under 1  $\Omega$  til over 10 M $\Omega$ . Denne resistans er angivet på modstanden i en farvekode. De 12 standardværdier fra 1  $\Omega$  og opefter er:

1R	3R3
1R2	3R9
1R5	4R7
1R8	5R6
2R2	6R8
2R7	8R2

Fig. 11  
Symbolet for en modstand



De øvrige standardværdier får man ved at sige 10X grundværdien, 100X, 1000X, 10000X, 100000X og 1000000X grundværdien.

Der er således 85 standardværdier fra 1  $\Omega$  til 10 M $\Omega$ . F. eks. 2R2. De øvrige i den række bliver: 22R, 220R, 2K2, 22K, 220K og 2M2.

### Farvekode for modstande

Farvekoden er angivet med tre eller fire farvede ringe om modstanden. F.eks. har en modstand på 1000 ohm (1K) en brun, en sort og en rød ring. Der kan være en fjerde ring. Hvis den er sølvfarvet, betyder det, at resistansen kan afvige  $\pm 10\%$  fra 1000 ohm. Det vil sige, dens værdi ligger mellem 900 ohm og 1100 ohm. Tolerancen siges at være 10%.

Hvis den fjerde ring er guld, er tolerancen 5%, og hvis den er brun eller rød, betyder det en tolerance på 1% eller 2%. Hvis der kun er tre ringe, er tolerancen 20%.



Fig. 12



Farvekoden er opbygget således:

1. ring = 1. ciffer
2. ring = 2. ciffer
3. ring = det antal nuller, der skal sættes efter de to første cifre.

sort	0	grøn	5
brun	1	blå	6
rød	2	violet	7
orange	3	grå	8
gul	4	hvid	9

En modstand med resistansen 10000 ohm (eller 10K) og en tolerance på 10% vil således være mærket: brun – sort – orange – sølv.

En modstand med ringene gul – violet – rød – guld har resistansen 4K7 – 5%. Gul = 4, violet = 7, rød = 2 nuller. 4700 ohm. Guld = 5%.

Eks.: 5K6 eller 5600  $\Omega$ , 20%, er mærket grøn, blå, rød.  
820 K, 5%, er mærket grå, rød, gul, guld.  
4M7, 10%, er mærket gul, violet, grøn, sølv.

Modstande betegnes efter et internationalt mærknings-system bestående af to eller tre tal og et bogstav. Der anvendes bogstaverne R, K og M for henholdsvis ohm, kilohm (tusinde ohm) og megohm (million ohm).

Bogstavet placeres på kommaets plads, som det fremgår af nedenstående eksempler:

0,22 ohm	skrives	R22
2,2 ohm	–	2R2
22 ohm	–	22R
220 ohm	–	220R
2200 ohm	–	2K2
22000 ohm	–	22K
220 000 ohm	–	220K
2 200 000 ohm	–	2M2
22 000 000 ohm	–	22M

## Opgave

Hvor stor er resistansen af følgende modstande?

- brun – grøn – sort
- orange – orange – rød – guld
- grøn – blå – orange – sølv
- gul – violet – rød
- brun – rød – brun

## Opgave

Hvordan er følgende modstande mærkede (der ses bort fra tolerancen)?

47R, 680R, 12K, 18K, 47K, 33K, 680K, 2M2

## Vitrohmeter

En god hjælp, når man skal finde resistansen af en modstand, er det såkaldte „Vitrohmeter“. Her drejes farverne ind på den afbildede modstand, og værdien kommer til syne nederst på Vitrohmetret.

## Modstandstyper: faste modstande

### Kulfilmmodstande

Den mest brugte modstandstype er kulfilmmodstanden. Den bruges alle steder, hvor der ikke stilles særlige krav til modstanden med hensyn til stabilitet. Den bruges alle steder lige fra høreapparater til datamaskiner. Det er da også den type, vi får brug for.

De består af en keramisk stav eller et rør, hvorpå der er udfældet en kulfilm. En kontakthætte af en speciel legering er presset ind over enderne på modstanden, og til denne hætte er modstandens tilledninger svejset.

I kulmodstanden skæres en spiralførmig rille. Jo finere rille der skæres, og jo tyndere kulfilmen er, jo højere er resistansen.

Til sidst er modstanden overtrukket med flere lag speciallak, der skal isolere elektrisk og beskytte mod ydre påvirkninger.

Kulfilmmodstande fremstilles i alle værdier fra 1R til 22M og i 6 typer:  $\frac{1}{16}$  W,  $\frac{1}{8}$  W,  $\frac{1}{4}$  W,  $\frac{1}{2}$  W, 1 W og 2 W, efter den belastning, modstanden skal kunne tåle. Hvor høj effekt, der kan afsættes i en modstand, afhænger af mange ting, bl.a. temperaturen. Ved 70°C kan en  $\frac{1}{4}$  W modstand klare  $\frac{1}{2}$  W.

Skal en modstand kunne klare helt store effekter, må en anden type anvendes: den trådviklede modstand.



## Metalfilmmodstande

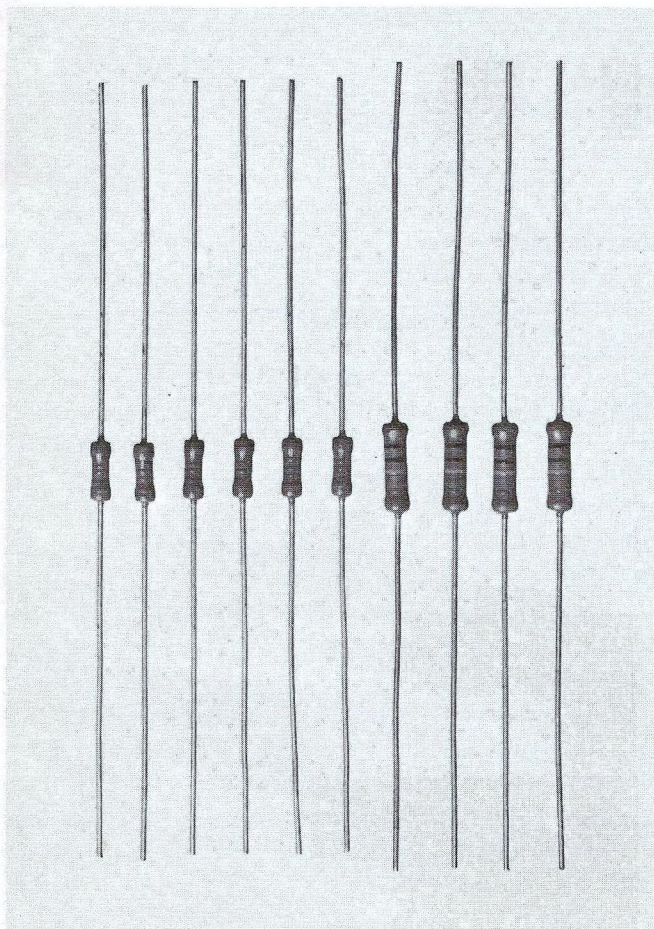
Til specielle formål, hvor der kræves større præcision, anvendes metalfilmmodstande. Det kan være i måleinstrumenter, i vigtige dele i datamaskiner o.l. Tolerancen for disse modstande er 2% eller 1%.

Fremstillingsmetoden er den samme som ved kulfilmmodstanden. Blot anvendes i stedet for kulfilm en nikkelkrom film.

## Trådviklede modstande

En trådviklet modstand består af et keramisk rør, hvorom der er viklet en modstandstråd af konstantan eller nikkelkrom. Det hele er så indstøbt i et isolationsstof.

Fordelene ved de trådviklede modstande er, at de kan tåle stor belastning. Der fremstilles typer op til 500 W. Desuden kan de fremstilles med meget stor nøjagtighed.



Metalfilmmodstande

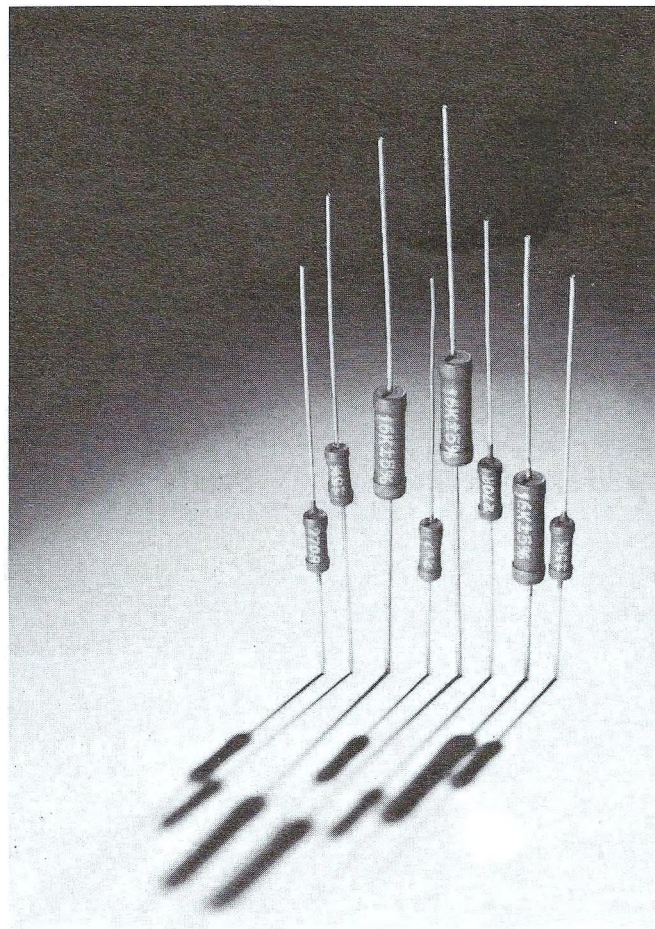
En ulempe er, at de ikke kan anvendes i HF kredsløb. (HF = højfrekvens). Der virker de som spoler og kan bremse for HF eller skabe ustabilitet. Det vil sige, at man i radio-modtagere og -sendere skal være forsigtig med anvendelsen af trådviklede modstande.

På trådviklede modstande anvendes farvekoden ikke. Resistansen trykkes på med tal.

## Specielle typer

Ud over de nævnte typer findes der mange andre. Nogle tåler meget høje spændinger, andre bruges, hvor vægt og størrelse har betydning.

I radiosondesendere, der bruges under vejrballer, i høreapparater, satellitter og lignende steder bruges en PIN-HEAD kulmodstand. Pin-head betyder knappenålshoved, og det er da også meget små modstande. Den består



Effekt metalfilmmodstande



af en kulperle, der udgør resistansen, og to tilledninger. Det hele er dyppet i en beskyttende lak.

Pin-head modstanden kan maksimalt tåle en effekt på 0,05 W.

## Modstandstyper: variable modstande

### Potentiometret

Variable modstande udføres som skydemodstande og drejemodstande og kaldes under ét for *potentiometre*.

Der findes, som ved faste modstande, to typer, kullags- og trådviklede potentiometre.

Kullagspotentiometre består af en keramikring, hvorpå der er udfældet et lag modstandsmateriale. Når der drejes på potentiometerakslen, slæber en kontaktfjeder hen over modstandsmaterialet.

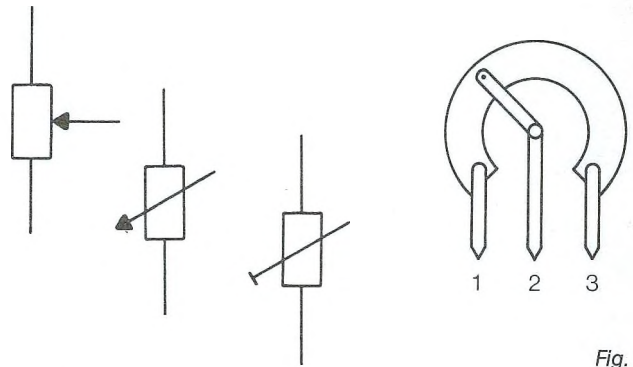
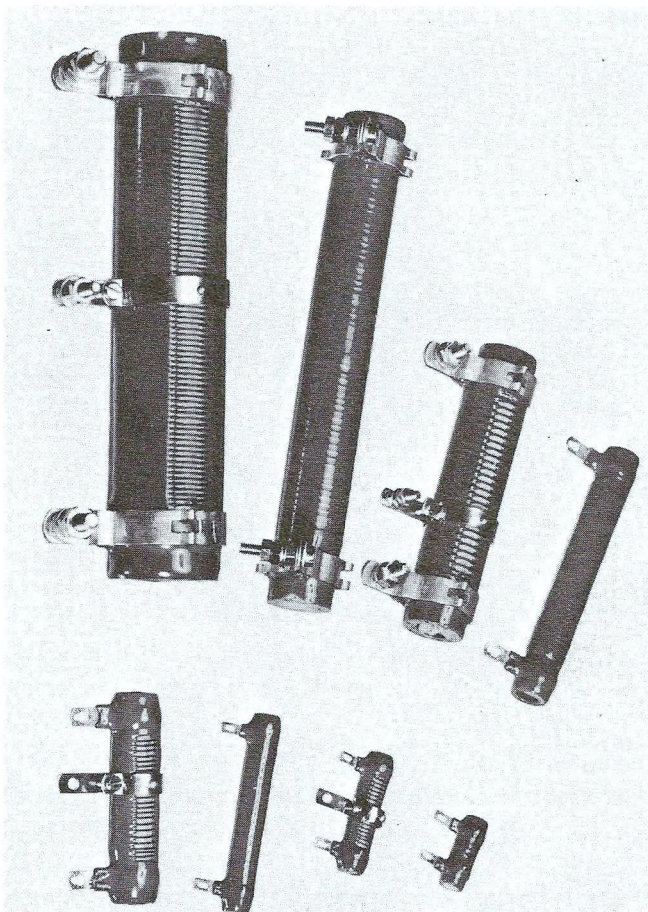


Fig. 14

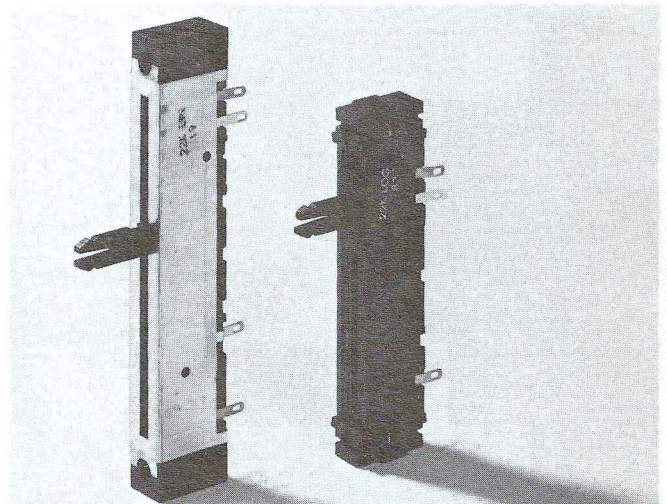
Fig. 13

Symboler for variable modstande

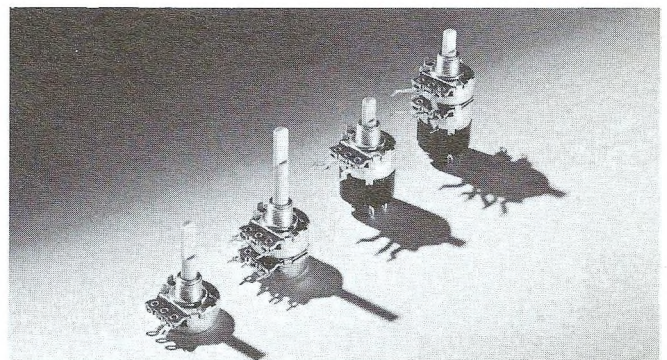
Resistansen mellem 1 og 3 (fig. 14) er konstant og står påtrykt potentiometret. Resistansen mellem 1 og 2 varierer fra nul ohm til den påtrykte værdi, når der drejes på potentiometerakslen.



Trådviklede modstande

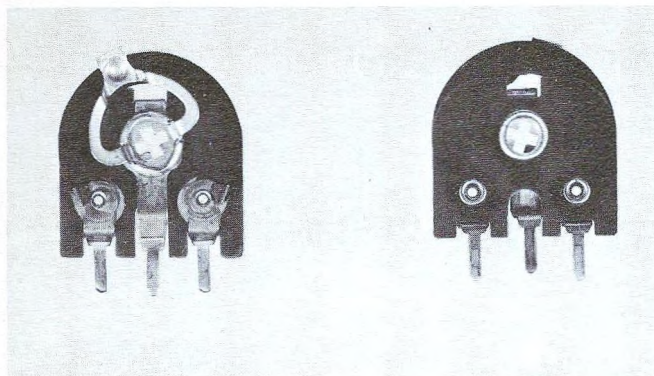


Skydepotentiometre

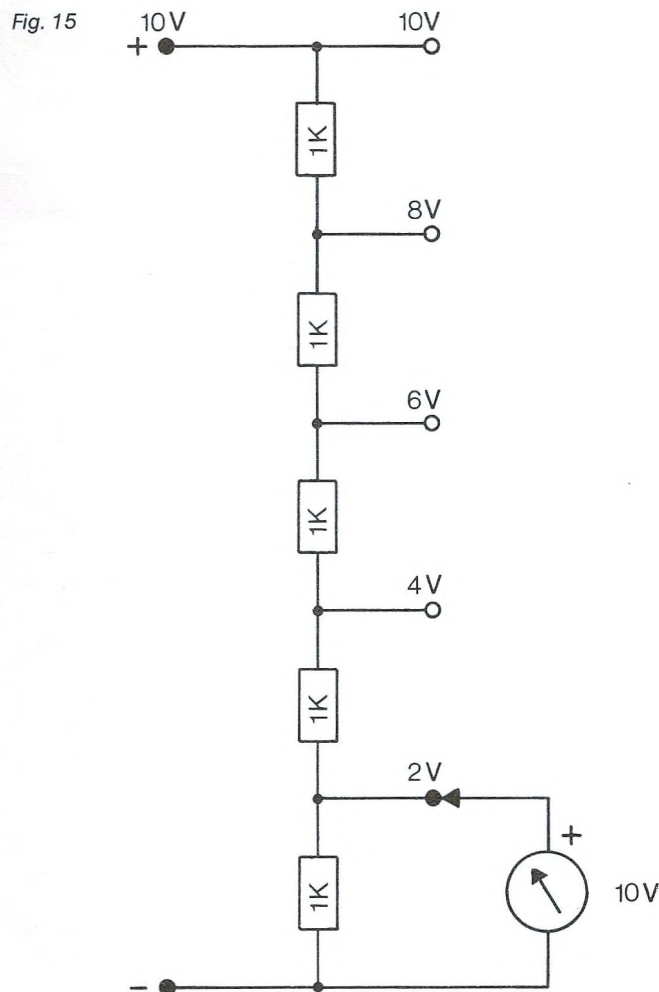


Drejepotentiometre





Trimmepotentiometre



I stedet for at være forsynet med en aksel til at dreje på, kan potentiometret være udformet således, at der skal en skruetrækker frem, før der kan ændres på resistansen. Denne type kaldes et *trimmepotentiometer*. Det finder stor anvendelse, hvor man én gang for alle skal justere til en bestemt resistans.

Trådviklede potentiometre anvendes, når der er tale om store effekter eller der kræves en nøjagtig resistans.

Meget anvendt i dag er skydepotentiometret, hvor man i stedet for at dreje på en aksel, „skyder“ en kontaktfjeder i lige linie hen over et modstandsmateriale.

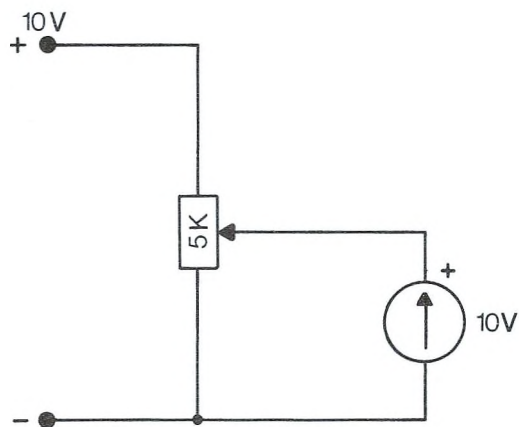


Fig. 16

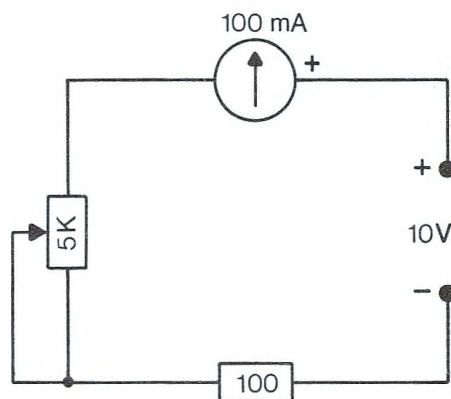


Fig. 17

### Potentiometer som spændingsdeler

Hvis fem 1K modstande i serieforbindelse tilsluttes en spænding på 10 V, vil der kunne udtages spændinger på 8 V, 6 V, 4 V og 2 V (fig. 15).

Det kaldes en spændingsdeler.

Et potentiometer anvendes ofte som spændingsdeler.



På fig. 16 ses en opstilling med et 5K potentiometer tilsluttet en spændingskilde. Fra det variable udtag kan fås spændinger mellem 0 V og 10 V.

Hvis potentiometeret forbindes som på fig. 17, gennemløber det alle resistanser mellem 5000  $\Omega$  og 0  $\Omega$ . For at beskytte måleinstrument og potentiometer er der i kredsløbet indsat en fast modstand på 100  $\Omega$ . Den begrænser den maksimale strøm i kredsløbet til 100 mA.

Den mindste strøm får vi med potentiometeret indskudt.

Minimum strøm bliver ca. 2 mA.

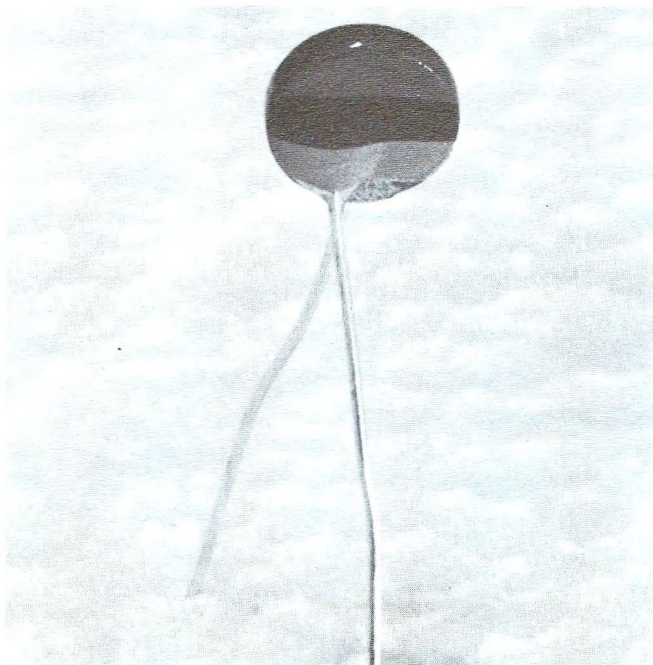
Hvis et 5K potentiometer er halvt inddrejet, er resistansen 2500  $\Omega$ . Hvis der er inddrejet  $\frac{1}{10}$ , er resistansen 500  $\Omega$ . Det er et lineært potentiometer.

Potentiometre fås også med logaritmisk resistans, hvor resistansen vokser (eller formindskes) efter en logaritmisk skala.

## Specielle modstandstyper

### NTC og PTC modstande

En NTC modstand (NTC130) tilsluttes et ohmmeter. Resistansen måles til at være 130 ohm. Med et par fingre varmes modstanden op, og ohmmetret registrerer straks,



NTC modstand

at resistansen i NTC modstanden er blevet mindre. Man kan også prøve forsigtigt at varme op med en tændstik. Når NTC modstanden er afkølet til stuetemperatur igen, vil resistansen igen være 130 ohm.

NTC betyder Negativ Temperatur Coefficient – med andre ord: Ved højere temperatur bliver resistansen mindre.

Tilsvarende findes en PTC modstand (Positiv Temperatur Coefficient), hvor resistansen bliver større ved højere temperatur.

Eksempler på anvendelse:

Fig. 18

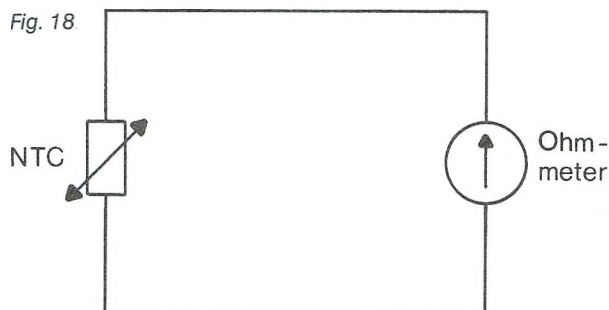
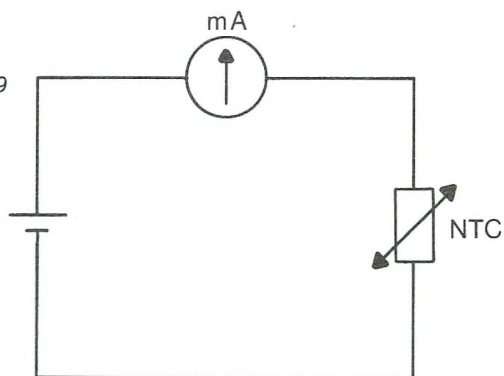


Fig. 19



Et milliamperemeter i serieforbindelse med en NTC modstand tilsluttes et batteri. Ved højere temperatur bliver resistansen i kredsløbet mindre, og der går større strøm. Måleinstrumentet viser mere. Det er et elektrisk termometer.

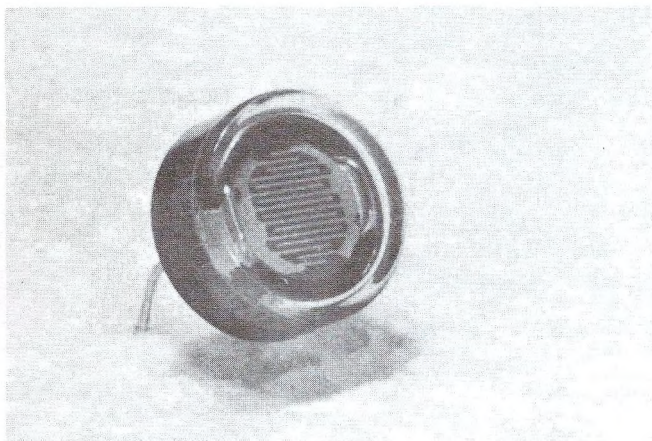
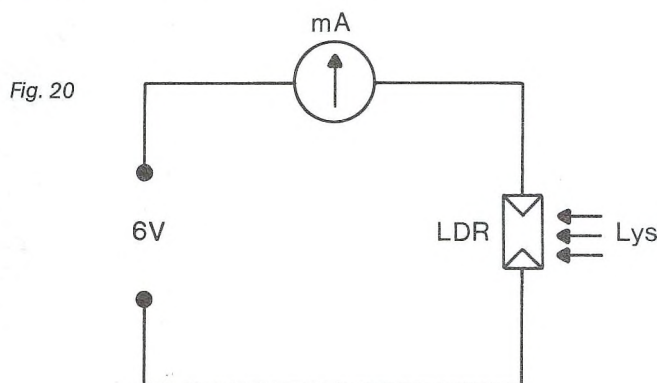
NTC modstande bruges til temperaturkontrol og til stabilisering af udgangstrin i forstærkere.

### LDR modstande

LDR modstande (Light Dependent Resistors) er fremstillet af cadmium sulphid, et materiale, der indeholder få eller



ingen frie elektroner, når det er i total mørke. Det kan derfor ikke lede den elektriske strøm. Resistansen i det er meget stor, mange  $M\Omega$ .



LDR modstand

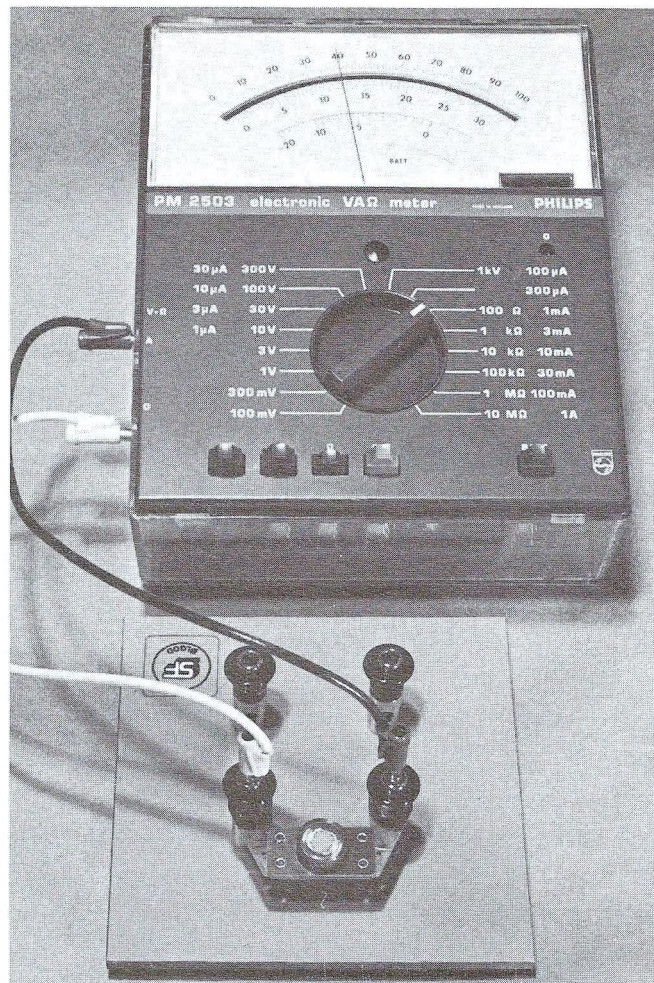
Når det belyses, bliver elektronerne frie, og materialet leder den elektriske strøm. Elektronerne er kun frie i et begrænset tidsrum, og når lyset slukkes, indfanges de igen, og stoffet bliver en isolator.

Der er flere typer LDR modstande, og her er især to anvendelige i elektronikundervisningen.

Den første type er den, der går under betegnelsen „LDR-modstand“. Den findes i flere indpakninger, og den mest robuste har bestillingsnummeret 2322 600 95001 (Mini-watt).

For dem alle gælder det, at resistansen i mørke er større end  $1M\Omega$ , og ved en belysning på 1000 lux falder resistansen til  $110\Omega - 150\Omega$ .

RPY58 er også en LDR modstand eller rettere to LDR modstande i serieforbindelse. Den kaldes en fotocelle ikke at forveksle med en solcelle.



Ved den kraftige belysning ved fotograferingen var resistansen i LDR modstanden nede på 40 ohm

Fotocellen ændrer resistansen ved belysning og kan derved regulere elektrisk strøm.

Solcellen afgiver ved belysning elektrisk strøm.

RPY58 måler kun  $5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$  og er 2 mm tyk. Den reagerer for lys af bølglængde fra 500 nm til ca. 700 nm, dvs. synligt lys.

I mørke kan resistansen overstige  $1M\Omega$ , og ved belysning med 1000 lux falder den til under  $100\Omega$ .

En LDR modstand forbindes i serie med et milliampere-meter (fuldt viserudslag for 30 mA eller mere) og sluttes til 6 V. Ved en belysning på 1000 lux er strømmen i kredsløbet ca. 20 mA.

Det er et LUX-METER eller en belysningsmåler.

Man kan også slutte LDR modstanden direkte til et ohm-meter.

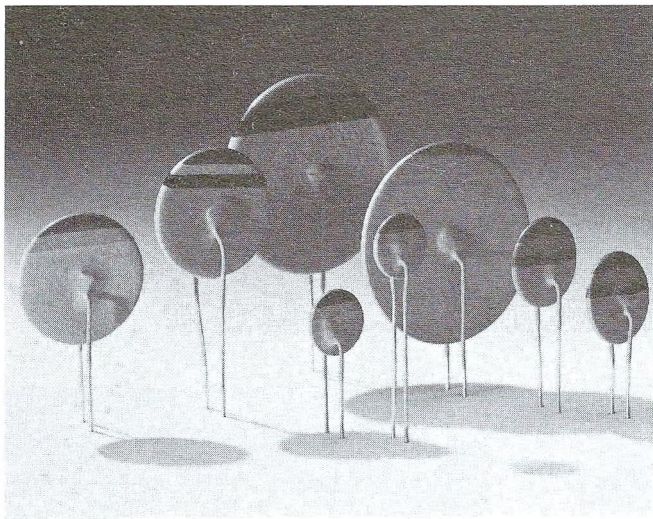
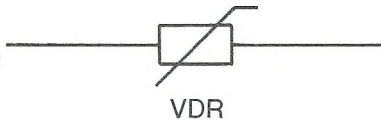


## VDR modstande

VDR modstande er modstande, hvis resistans er bestemt af spændingen over den. Ved en spændingsforøgelse over modstanden, vokser strømmen gennem den uforholdsmæssigt meget. Resistansen bliver altså mindre ved højere spænding.

VDR betyder Voltage Dependent Resistor = spændingsafhængig modstand.

Fig. 21  
Symbol for VDR modstand



VDR modstande

## Modstande i serie- og parallelforbindelse

### Serieforbindelse

Når to modstande forbindes som vist på fig. 22 er de serieforbundne.

Vi har her serieforbundet 2 modstande, hver på 1K, og i serieforbindelse med et milliamperemeter tilsluttes de en spændingskilde på 10 V.

Den resulterende resistans af de to serieforbundne modstande ( $R_{RES}$ ) kan nu beregnes efter Ohms lov.

$U$  = spændingsforskellen = 10 V

$I$  = strømmen i kredsløbet = 5 mA = 0,005 A

$R_{RES}$  = den samlede resistans

$$R_{RES} = \frac{U}{I} = \frac{10}{0,005} = 2000 \Omega$$

Af resultatet ses, at serieforbindes to modstande, bliver den samlede resistans summen af de to resistanser.

Dette gælder også for tre og flere modstande i serieforbindelse.

$$R_{RES} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

Fig. 22

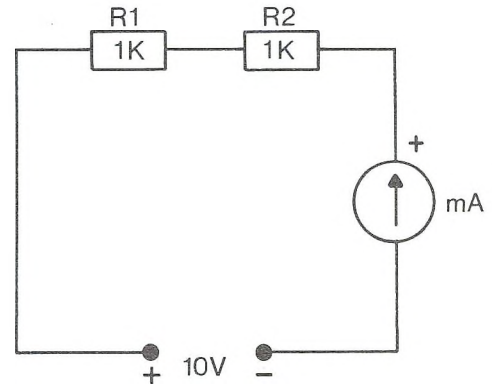
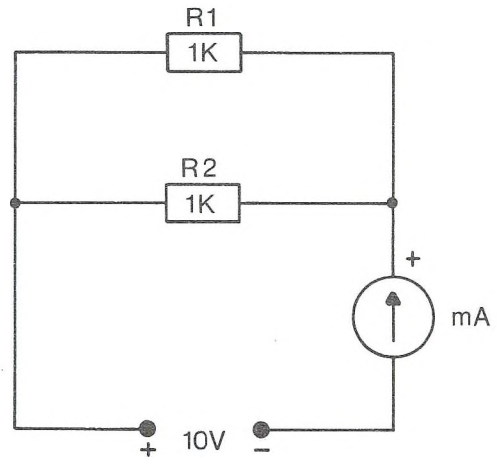


Fig. 23



### Parallelforbindelse

På fig. 23 ses to modstande i parallelforbindelse.

Strømmen i kredsløbet måles til 20 mA.

Ved hjælp af Ohms lov kan man igen beregne den resulterende resistans.

$$R_{RES} = \frac{10}{0,020} = 500 \Omega$$

Af resultatet ses, at parallelforbindes to ens modstande, bliver den resulterende resistans halv så stor.



For to modstande i parallelforbindelse gælder formlen:

$$\frac{1}{R_{RES}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

der kan omskrives til:

$$R_{RES} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Ved hjælp af formlen kan vi udregne  $R_{RES}$  for 120  $\Omega$  i parallelforbindelse med 1000  $\Omega$ :

$$R_{RES} = \frac{120 \cdot 1000}{120 + 1000} = \frac{120000}{1120} = 107 \Omega$$

Vi ser, at hvis to modstande med forskellig resistans parallelforbindes, bliver  $R_{RES}$  mindre end den mindste resistans.

For flere modstande i parallelforbindelse gælder formlen:

$$\frac{1}{R_{RES}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots$$

## Kondensatorer

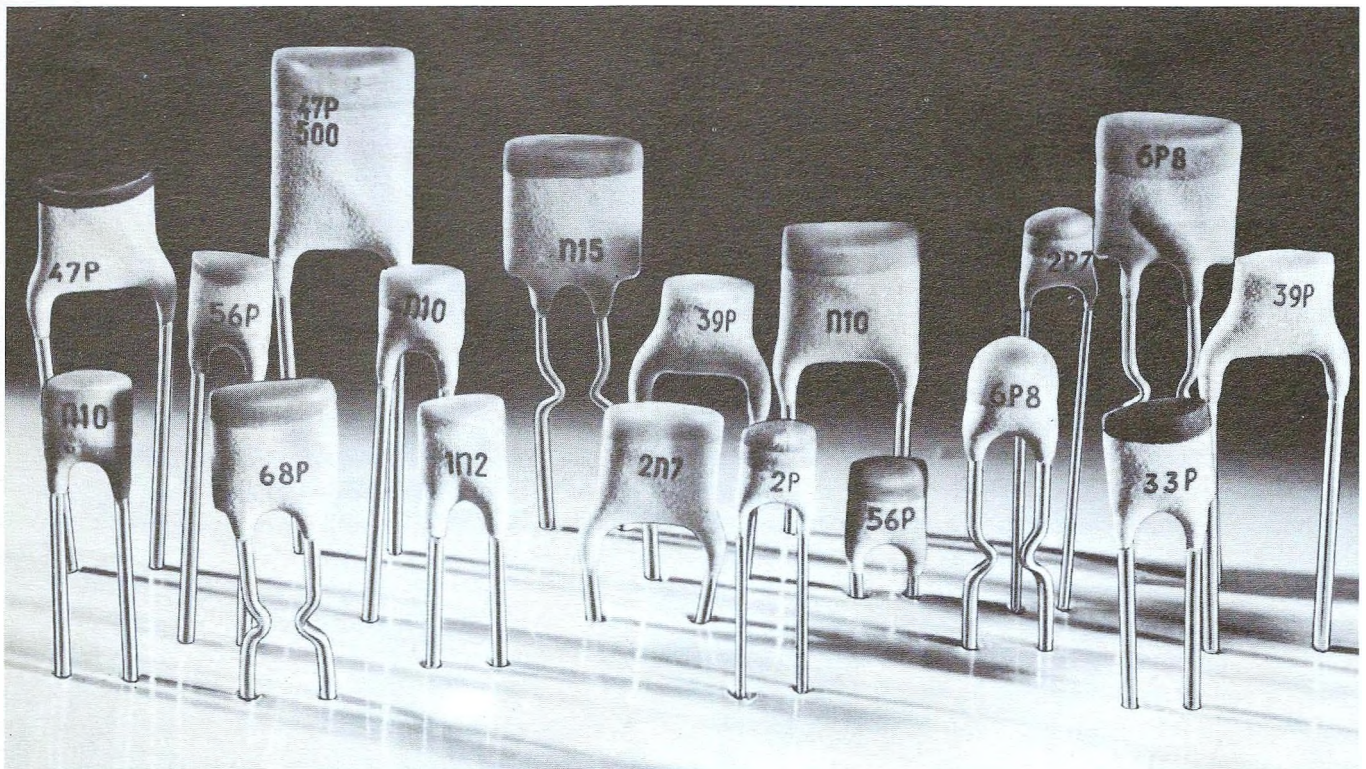
Kondensatoren er en meget anvendt komponent i elektronikken. Den består af to metalplader, elektrisk isoleret fra hinanden.

Hvis man sætter to metalplader op 5 cm fra hinanden, har vi lavet en kondensator. Den kan lades op elektrisk.

Pladerne forbindes med en båndgenerator. Der frembringes elektricitet, når det brede gummibånd kører hen over en af rullerne, der er af plexiglas. Når der drejes på håndtaget, får hættten overskud af elektroner og bliver negativ i forhold til nederste rulle.

Når der drejes på håndtaget, vandrer mange elektroner gennem ledningen fra hættten over på den ene plade i kondensatoren. Den bliver negativ. Til gengæld fjernes der elektroner fra den anden plade, der så bliver positiv. Der er nu en spændingsforskel mellem de to plader, og det vil der også være, hvis ledningerne til båndgeneratoren fjernes. Kondensatoren er opladet.

Hvis man lader kondensatoren stå, vil den langsomt aflades, idet elektronerne gennem luften vil gå fra den ene plade til den anden, til der er lige mange elektroner på hver plade. Så bliver spændingsforskellen mellem dem nul, og kondensatoren er afladet.





Hvis der fra en opladet kondensator forbindes en ledning fra den ene plade til den anden, vil der i ledningen gå en stærk strøm, og kondensatoren er straks afladet.

Jo større pladernes areal er, jo mere elektricitet kan kondensatoren gemme på. Dens *kapacitans* er større. Kapacitansen for en kondensator bliver også forøget, hvis afstanden mellem pladerne formindskes.

Kapacitansen kan også øges ved at anbringe forskellige materialer mellem pladerne. Polyester (plastic) mellem to plader vil således give større kapacitans samtidig med, at det isolerer pladerne fra hinanden.

### Kondensatorens kapacitans

Kondensatorens kapacitans måles i enheden Farad (F).

Det er en meget stor størrelse, og der anvendes derfor mindre enheder.

pF = picofarad

μF = mikrofarad

Der skal 1 000 000 pF til 1 μF. Der skal igen 1 000 000 μF til 1 F.

Udover disse betegnelser anvendes også nanofarad, nF.

1000 pF = 1 nF

1000 nF = 1 μF

## Kondensatortyper

### Rulleblokkondensatorer

En kondensator, som vi har beskrevet den, er jo lidt upraktisk med hensyn til størrelsen. Vi prøver derfor at skille en kondensator ad for at se, hvordan den er lavet.

Pladerne er meget tynde. De er af aluminiumsfolie, der er tyndere end det, vi anvender i husholdningen. Pladerne er måske 1 cm brede og 2 m i længden. Mellem dem er der et tyndt lag polyester som isolator, og det hele er så rullet sammen til en rulleblokkondensator. En ledning er loddet til hver plade, og det hele er pakket ind i plastic. Ved at anvende meget tyndt aluminiumsfolie og ved at gøre de isolerende lag så tynde som muligt, kan man få en kondensator med stor kapacitans til kun at fylde lidt. Kapacitansen for denne type kondensatorer er ofte angivet med en farvekode. Det er samme farvekode, der anvendes ved modstande, idet farverne angiver kapacitansen i pF.

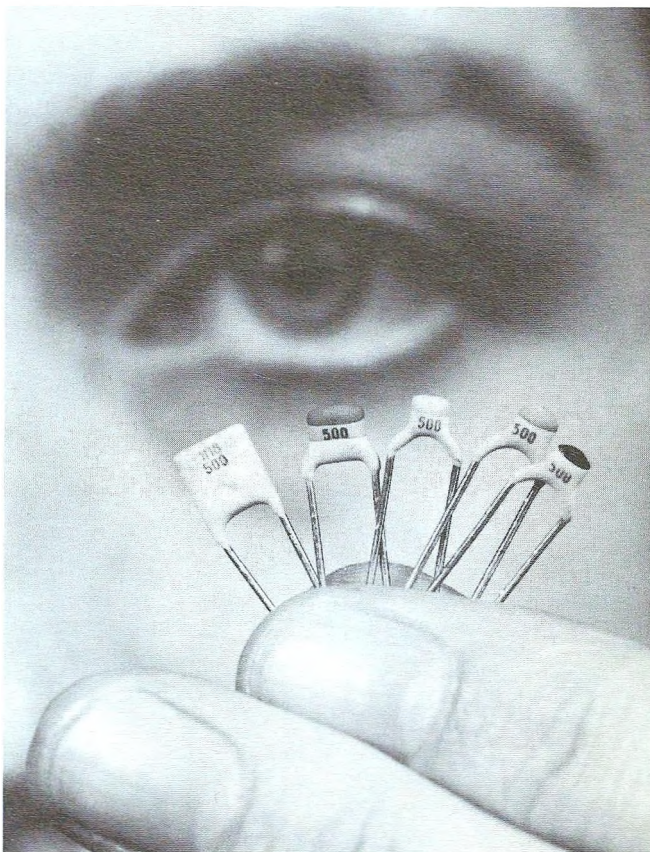


Polyesterkondensatorer

### Keramiske kondensatorer

En type kondensatorer med ret lille kapacitans er de keramiske kondensatorer. De består af et porcelænsrør, hvor der inden i røret og uden på røret er udfældet et metallag. De to lag udgør de to plader.

Kapacitansen for keramiske kondensatorer er ofte farvekodet som rulleblokkondensatorerne. Den første prik angiver altid temperaturkoefficienten for kapacitansen.



Keramiske kondensatorer



## Elektrolytkondensatorer

Hvis man skal bruge en kondensator med en meget stor kapacitans, vil den komme til at fylde urimelig meget, hvis den skal være af rullebloktypen. Man har til sådanne formål udviklet en type med små dimensioner og stor kapacitans: elektrolytkondensatoren.

Den ene plade i elektrolytkondensatoren består af aluminiumfolie, der er dækket af et tyndt lag aluminiumilte. Aluminium bliver let angrebet af luftens ilt, og det yderste lag bliver omdannet til aluminiumilte. Når der først er dannet et lag, virker det beskyttende, og pladen kan ikke iltes yderligere. Aluminiumilte virker også elektrisk isolerende.

Den anden plade er væske, der kan lede den elektriske strøm, en såkaldt elektrolyt.

Elektrolytkondensatoren kan fremstilles således:

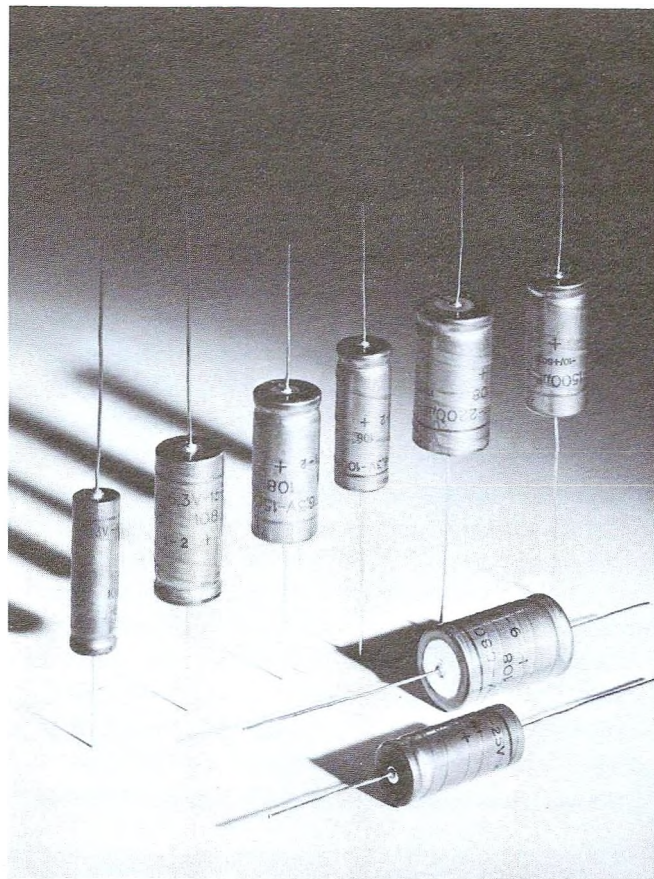
En aluminiumbeholder fyldes halvt med en elektrolyt.

Illet aluminiumfolie rulles sammen med trækpapir som mellemlag og sænkes ned i elektrolytten. Der svejses to ledninger på, én til folien og én til bægeret.

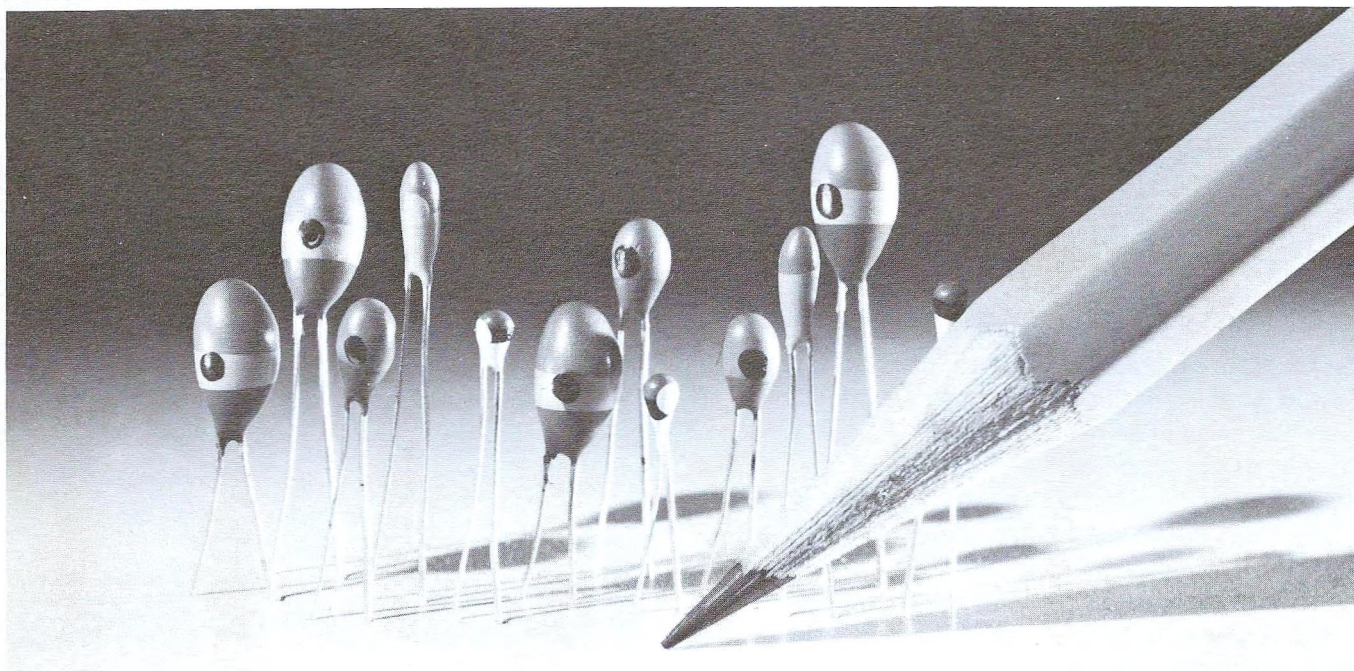
Ved elektrolytkondensatoren skal bægeret altid forbindes til minus og den anden plade til plus. Ellers ødelægges elektrolytkondensatoren.

En speciel elektrolyt er *bipolar*, dvs. den ikke kan polariseres forkert. Den bruges meget i delefiltre i højttalersystemer. Den består af to modsat vendte, serieforbundne elektrolytter.

*Tantalelektrolytter*



*Elektrolytkondensatorer*





## Tantalelektrolytter

En nyere type elektrolytkondensatorer er af *tantal* typen.

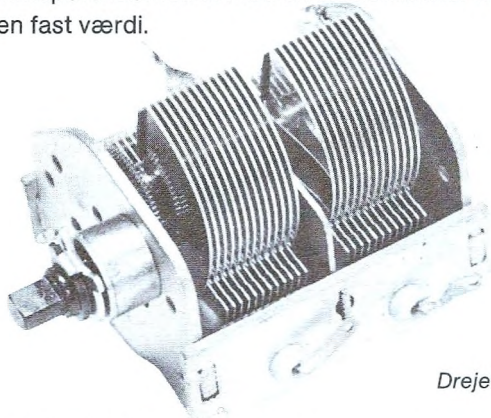
Den er fremstillet med metallet tantal (et grundstof) som anode (+) og mangandioxyd som katode (-). Den mest udbredte tantalkondensator er med tør elektrolyt. Dimensionerne er meget små, og det er derfor, den har fået så stor udbredelse til kredsløbsplader, skønt den er dyrere end almindelige elektrolytkondensatorer.

## Variable kondensatorer

I radiosendere og -modtagere har man ofte brug for kondensatorer, hvis kapacitans kan ændres. Sådanne kondensatorer kaldes drejekondensatorer.

Drejekondensatoren består af to sæt plader, ofte fremstillet af aluminium. Det ene sæt, statoren, kan ikke bevæges. Det andet sæt, rotoren, kan med en aksel drejes ind mellem statorpladerne. Jo mere rotoren er inddrejet, jo større kapacitans har kondensatoren.

Trimmekondensatoren er en drejekondensator, der som trimmepotentiometret med en skruetrækker kan indstilles til en fast værdi.



Drejekondensator

## Symboler for kondensatorer

Symbolerne for de forskellige kondensatortyper ser ud som vist på fig. 24.

A er symbolet for en kondensator, B en elektrolytkondensator, C en drejekondensator og D en trimmekondensator.

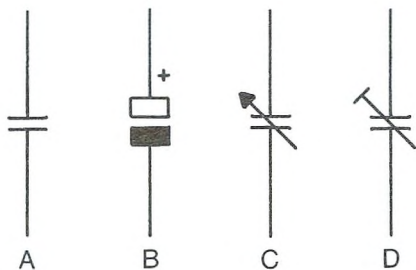
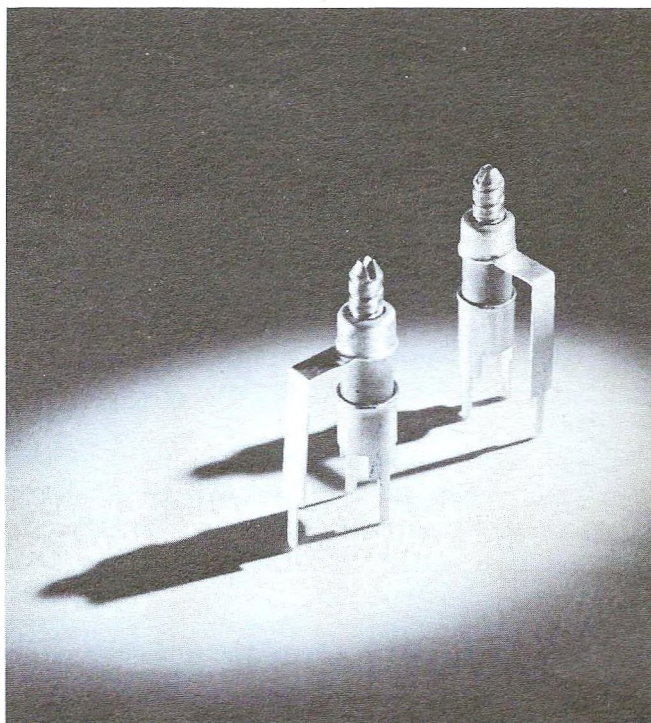


Fig. 24



Trimmekondensatorer

## Farvekode for kondensatorer

### Farvekode for polyesterkondensatorer

Kondensatoren har altid fem farvebånd.

1. bånd = 1. ciffer
2. bånd = 2. ciffer
3. bånd = antal nuller
4. bånd = tolerance
5. bånd = max.spænding

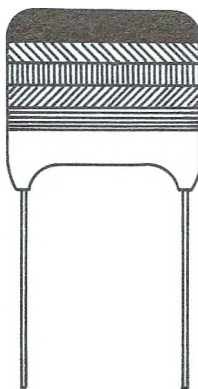


Fig. 25



For de tre første bånd, der angiver kapacitansen, gælder farvekoden for modstande.

4. farve - tolerancen.	5. farve - max. spænding.
sort = $\pm 20\%$	brun = 100 V
hvid = $\pm 10\%$	rød = 250 V
	gul = 400 V
	blå = 630 V

Eksempel: En kondensator kan være mærket således:  
brun - sort - gul - hvid - rød

Dens kapacitans er så  $100\,000\text{ pF} = 0,1\text{ }\mu\text{F} - 10\% - 250\text{ V}$ .

Hvis en kondensator kun har tre farver, f.eks. orange - hvid - rød, skyldes det, at de tre bånd, der skal angive kapacitansen, er ens. I dette tilfælde orange. Dens data er så:  $33\,000\text{ pF} = 33\text{ nF} - 10\% - 250\text{ V}$ .

#### Farvekode for keramiske „pin up“ kondensatorer

Koden er for denne type kun tre farvede bånd, der angiver kapacitansen (fig. 26).

Tolerancen er  $\pm 20\%$ , og maksimal arbejdsspænding er  $125\text{ V} - 500\text{ V}$  afhængig af typen.

Denne kode bruges for kondensatorer af Philips fabrikat (Miniwatt). Der findes også andre farvekoder for keramiske kondensatorer.

#### Farvekode for tantalelektrolytter

Tantalelektrolytten har tre farvede ringe, der efter samme kode som ved modstanden angiver 1. og 2. ciffer, og den tredje angiver maksimal spænding. En farveklat over 1. og 2. farvebånd giver en multiplikator, et tal, hvormed man skal multiplicere det tal, 1. og 2. ciffer viser (fig. 27).

farvekode	kapacitans i $\mu\text{F}$		multiplikator	arbejdsspænding (V)
	1. ciffer	2. ciffer		
sort	-	0	1	10
brun	1	1	-	1,6
rød	2	2	-	4
orange	3	3	-	40
gul	4	4	-	6,3
grøn	5	5	-	16
blå	6	6	-	-
violet	7	7	0,001	-
grå	8	8	0,01	25
hvid	9	9	0,1	2,5

Eksempel: En tantalelektrolyt med farvebåndene brun - grøn - sort og med hvid farveklat.

brun - 1, grøn - 5, hvid klat  $\times 0,1$ , sort 10 V.

Værdien er  $1,5\text{ }\mu\text{F} - 10\text{ V}$

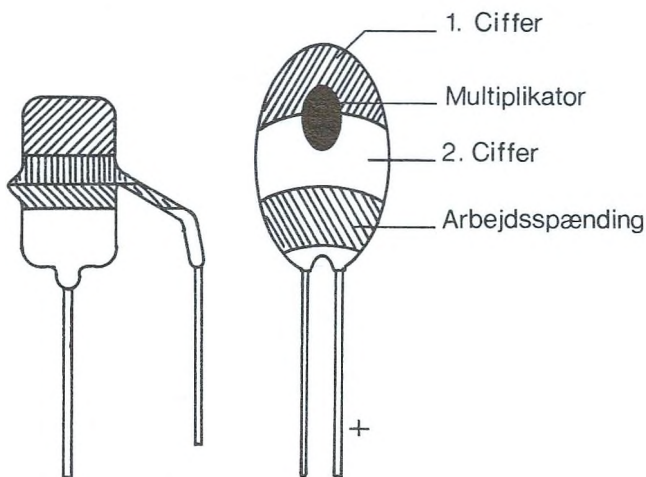


Fig. 26

Fig. 27

#### Op- og afladning af kondensator

Når en kondensator tilsluttes, som vist på fig. 28, vil glødelampen lyse kort, til kondensatoren er opladet. Når den er opladet, vil der ikke længere gå strøm i kredsløbet. En kondensator spærrer for jævnstrøm.

Kondensatoren kan nu aflades, idet vi afbryder ledningen, der er tilsluttet plus på spændingsforsyningen, og forbinder den til minus. Glødelampen lyser igen kort.

Når en kondensator tilsluttes en jævnspændingskilde, vil der fra minus, hvor der er overskud af elektroner, gå en strøm af elektroner hen på den ene plade, indtil der er „fyldt op“. De elektroner, der var på den anden plade, søger hen til plus, hvor der er underskud af elektroner. Der er nu en spændingsforskel mellem de to plader. Kondensatoren er opladet, og der vil ikke længere gå strøm i kredsløbet (fig. 29).

Når kondensatoren aflades, vandrer elektronerne fra den ene plade gennem kredsløbet over på den anden plade, indtil der er lige mange elektroner på hver plade. Der er så ikke længere en spændingsforskel mellem de to plader. Kondensatoren er afladet (fig. 30).

Glødelampen erstattes nu med et midtpunktstillet amperemeter ( $1 - 0 - 1\text{ mA}$ ), og for at begrænse strømmen indsættes en modstand på  $10\text{ K}$  (fig. 31).



Fig. 28

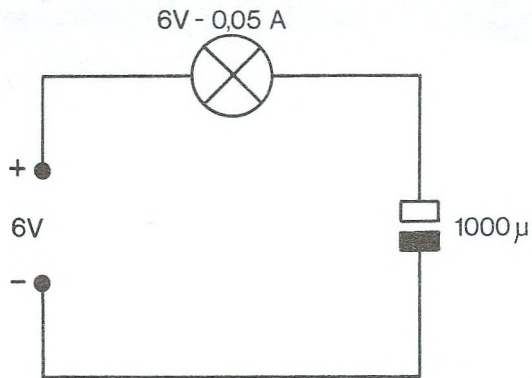


Fig. 29

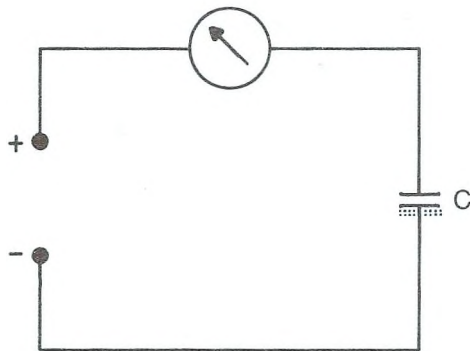


Fig. 30

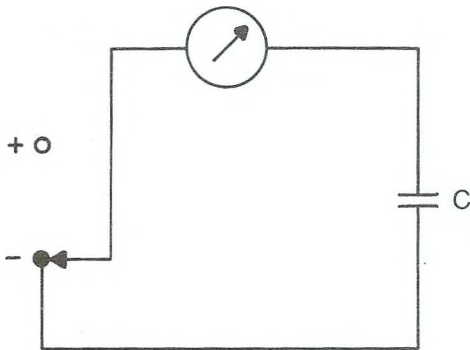
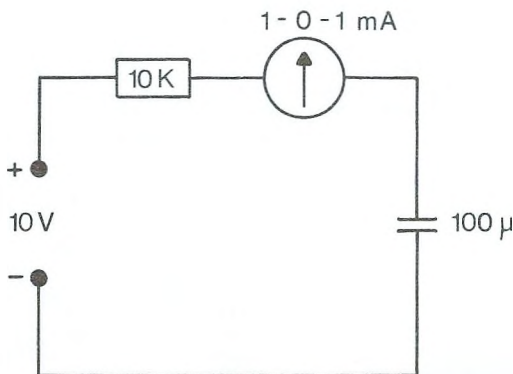


Fig. 31



Kredsløbet tilsluttes en spændingskilde på 10 V, og indtil kondensatoren er opladet, går der strøm i kredsløbet. Når kondensatoren er opladet, aflades den som før.

Strømmen går i modsat retning i kredsløbet. Instrumentet viser udslag til den anden side. Kondensatoren har stor kapacitans, så op- og afladning tager lang tid.

Nu prøves med andre kondensatorer på 100 μF, 10 μF og 1 μF. Tiden for op- og afladning måles på et stopur, og resultaterne noteres i et skema som vist herunder:

C	Tid	
	Oplad	Aflad
1000μF		
100μF		
10μF		
1μF		

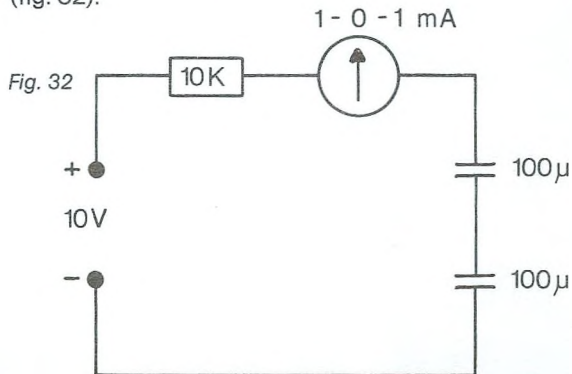
Vi ser af forsøget, at jo større kapacitans kondensatoren har, jo længere tid tager det for at oplade og aflade den. Det betyder også, at den kan „gemme“ på mere elektricitet.

## Kondensatorer i serie- og parallelforbindelse

### Serieforbinding

Opstillingen fra fig. 31 bevares, og vi noterer tiden for afladning af en kondensator på 100 μF til  $\frac{1}{10}$  af fuldt udslag.

Der indsættes en anden kondensator på 100 μF i serieforbindelse med den første, og afladningstiden findes (fig. 32).





Vi ser, at afladningstiden er den halve. Den samlede kapacitans med to kondensatorer i serieforbindelse er halvt så stor som den enkelte kondensators kapacitans.

Formlen for modstande i parallelforbindelse kan bruges for kondensatorer i serieforbindelse.

For to kondensatorer i serieforbindelse gælder:

$$C = \frac{C1 \cdot C2}{C1 + C2}$$

For flere kondensatorer i serieforbindelse gælder:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} + \frac{1}{C3} + \frac{1}{C4} \dots$$

Eks. 1: 100  $\mu$ F og 200  $\mu$ F serieforbindes

$$C = \frac{100 \cdot 200}{100 + 200} = \frac{20000}{300} = 66\frac{2}{3} \mu\text{F}$$

Eks. 2: 5 kondensatorer hver på 500  $\mu$ F serieforbindes.

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{500} + \frac{1}{500} + \frac{1}{500} + \frac{1}{500} + \frac{1}{500} = \frac{5}{500}$$

$$C = 100 \mu\text{F}$$

### Parallelforbindelse

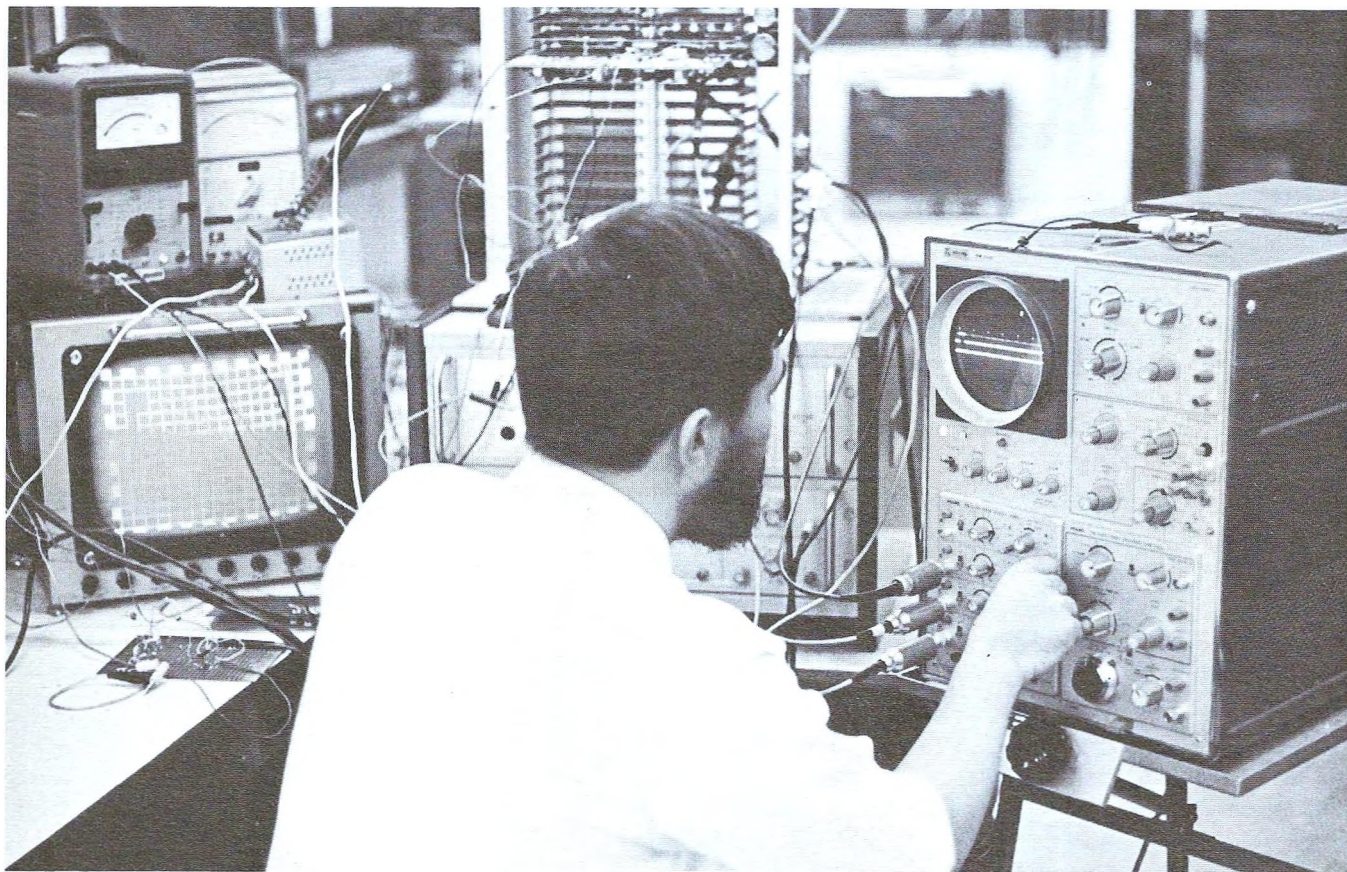
Vi benytter igen opstillingen fra fig. 31 med en kondensator på 100  $\mu$ F. Afladningstiden har vi allerede noteret. En anden kondensator på 100  $\mu$ F indsættes nu parallelt med den første, og afladningstiden findes. Den bliver den dobbelte af én kondensator, og kapacitansen er blevet fordoblet ved parallelforbindelsen (fig. 33).

En tredje kondensator parallelforbundet med de to andre vil resultere i en tre gange så stor afladningstid.

Formlen for modstande i serieforbindelse kan bruges for kondensatorer i parallelforbindelse:

$$C = C1 + C2 + C3 + \dots$$

Oscilloskop

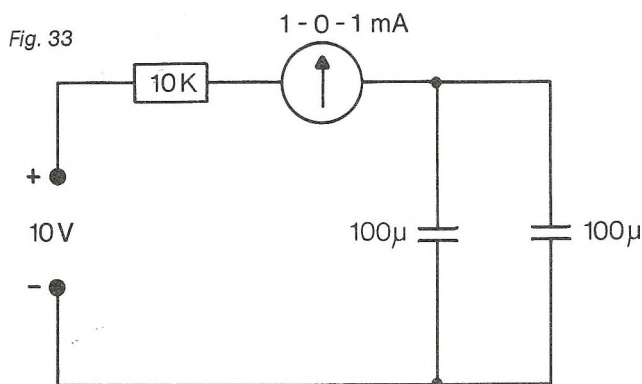




Eks.  $10\ \mu\text{F}$ ,  $100\ \mu\text{F}$  og  $1000\ \mu\text{F}$  parallelforbindes.

$$C = 10 + 100 + 1000$$

$$C = 1110\ \mu\text{F}$$



## Oscilloskopbilleder

Med oscilloskopet kan man måle vekselspændinger. Foran skærmen er der et kvadratnet med 1 cm mellem linierne.

Fig. 34

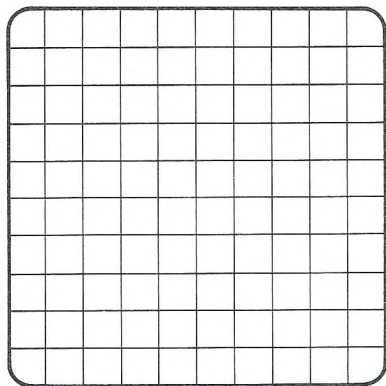
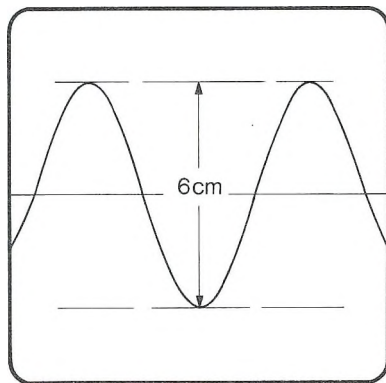


Fig. 35



I oscilloskopet er der en forstærker, der forstærker de målte spændinger op, så de fylder mere på skærmen. (Y-forstærkeren)! Den kan indstilles således, at en sinusformet spænding med en variation på 10 V kommer til at „fylde“ 1 cm på skærmen. Almindelige oscilloskoper har i dag en følsomhed på 5 mV/cm. Det betyder, at en spændingsvariation på 5 mV vil fylde 1 cm.

På fig. 35 ses et oscilloskopbillede af en sinusformet vekselspænding. Y-forstærkeren er sat på 1 V/cm.

Fra maksimum til minimum på sinuskurven er der en afstand på 6 cm. Spændingsvariationen er da 6 volt. Det skrives 6 Vss og læses 6 volt spids-spids. Et vekselstrømvoltmeter vil ikke vise 6 V, da det, vi med et sådant instrument måler, er effektiv spænding. For at finde den effektive spænding, skal der divideres med 2,8 ( $2\sqrt{2}$ ).

6 Vss er ca. 2,1 Veff.

Når vi siger, at bynettets vekselspænding er 220 V, er det 220 Veff. Spids-spids spændingen er ca. 2,8 gange så stor. Det er ca. 620 Vss.

## Jævnspænding – jævnstrøm

Hidtil har vi kun beskæftiget os med jævnspænding og jævnstrøm. Når der på et diagram er angivet en spænding, er det underforstået, at der er tale om jævnspænding.

Jævnstrøm betyder, at elektronerne hele tiden går i samme retning i kredsløbet. De udsendes fra den negative pol, hvor der er overskud af elektroner, og indsuges ved den positive pol, hvor der er underskud af elektroner.

Når der gennem en modstand går en strøm, bliver der over modstanden et spændingsfald. Kan man ikke komme til at måle, om der går strøm i kredsløbet, kan man over en modstand måle, om der er spændingsfald. Ved hjælp af Ohms lov kan så strømmen i kredsløbet udregnes.

220 V jævnspænding skrives 220 V = eller 220 V DC (DC = direct current). Hvis der blot skrives 220 V, angiver det også, at der er tale om jævnspænding.

## Vekselspænding – vekselstrøm

Vor almindeligste spændingskilde, stikkontakten, leverer vekselstrøm ved en vekselspænding på 220 V. Vi skriver 220 V ~ eller 220 V AC (AC = alternating current). Hvis vi tilslutter en glødelampe til en stikkontakt, vil der gå en strøm af elektroner gennem glødetråden, og de får den til at afgive lys.

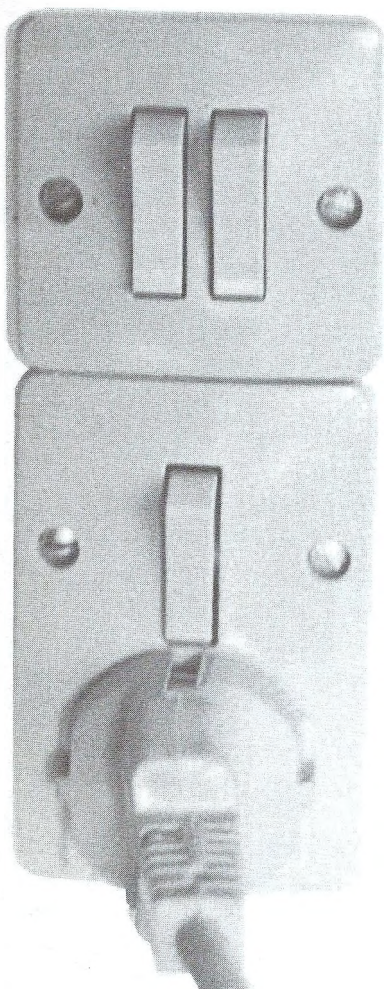


Ved jævnspænding går elektronstrømmen til stadighed i samme retning. Anderledes forholder det sig ved vekselspænding.

Her i landet har vi vekselspænding med en frekvens på 50 Hz. Det betyder, at elektronerne i  $\frac{1}{100}$  sek. strømmer i én retning gennem glødelampen. Så vender strømmen, og i  $\frac{1}{100}$  sek. strømmer elektronerne i den anden retning gennem glødelampen.

Vi kan sige, at strømmen „skvulper“ frem og tilbage gennem glødetråden. 50 gange hvert sekund skvulper den den ene vej, 50 gange skvulper den den anden vej gennem kredsløbet. En glødelampe blinker 100 gange pr. sekund, men da glødetråden ikke når at blive afkølet efter hvert strømstød, ser vi ikke blinket. Øjet kan heller ikke opfatte en frekvens på 100.

En LDR i forbindelse med en LF forstærker vil kunne opfange, at glødelampen blinker og gengive det som en tone på 100 Hz.



## Kondensatorer ved vekselspænding

En kondensator kan ikke lede jævnstrøm. Ved forsøgene så vi, at der kun gik strøm, til kondensatoren var opladet.

Vi vil nu undersøge, om kondensatoren kan lede vekselstrøm, og danner opstillingen vist i fig. 36. Til forsøget må ikke anvendes en alm. elektrolytkondensator, men en bipolar kondensator, der kan tåle vekselstrøm.

En kondensator C på 100  $\mu\text{F}$  tilsluttes i serie med et vekselstrømsamperemeter (300 mA~) til 6 V~.

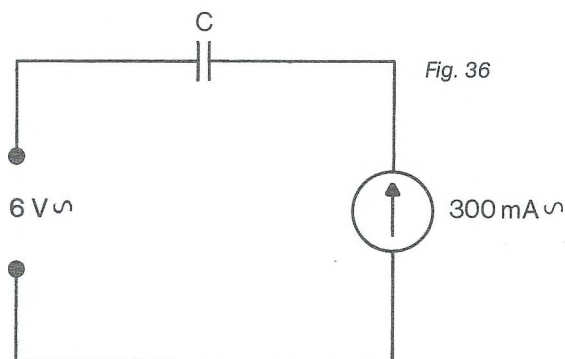
Der går en strøm på ca. 250 mA gennem kondensatoren.

Nu erstattes C med en kondensator på 10  $\mu\text{F}$ . Strømmen er nu ca. 25 mA.

Hvis C er 1  $\mu\text{F}$ , vil strømmen blive ca. 2 mA.

Af forsøget ses, at kondensatoren kan lede vekselstrøm. Jo mindre kapacitans, kondensatoren har, jo større modstand yder den over for vekselstrøm. Vekselstrømodstand kaldes impedans. I et kredsløb kan der være lille resistans, men stor vekselstrømodstand (impedans). Selv om der er forskel på resistans og impedans, vil vi kunne anvende Ohms lov.

Af forsøget ses også, at impedansen er omvendt proportional med kondensatorens kapacitans. Hvis kapacitansen bliver 10 gange større, bliver impedansen  $\frac{1}{10}$ . Vi kan bruge opstillingen til at måle kapacitans med

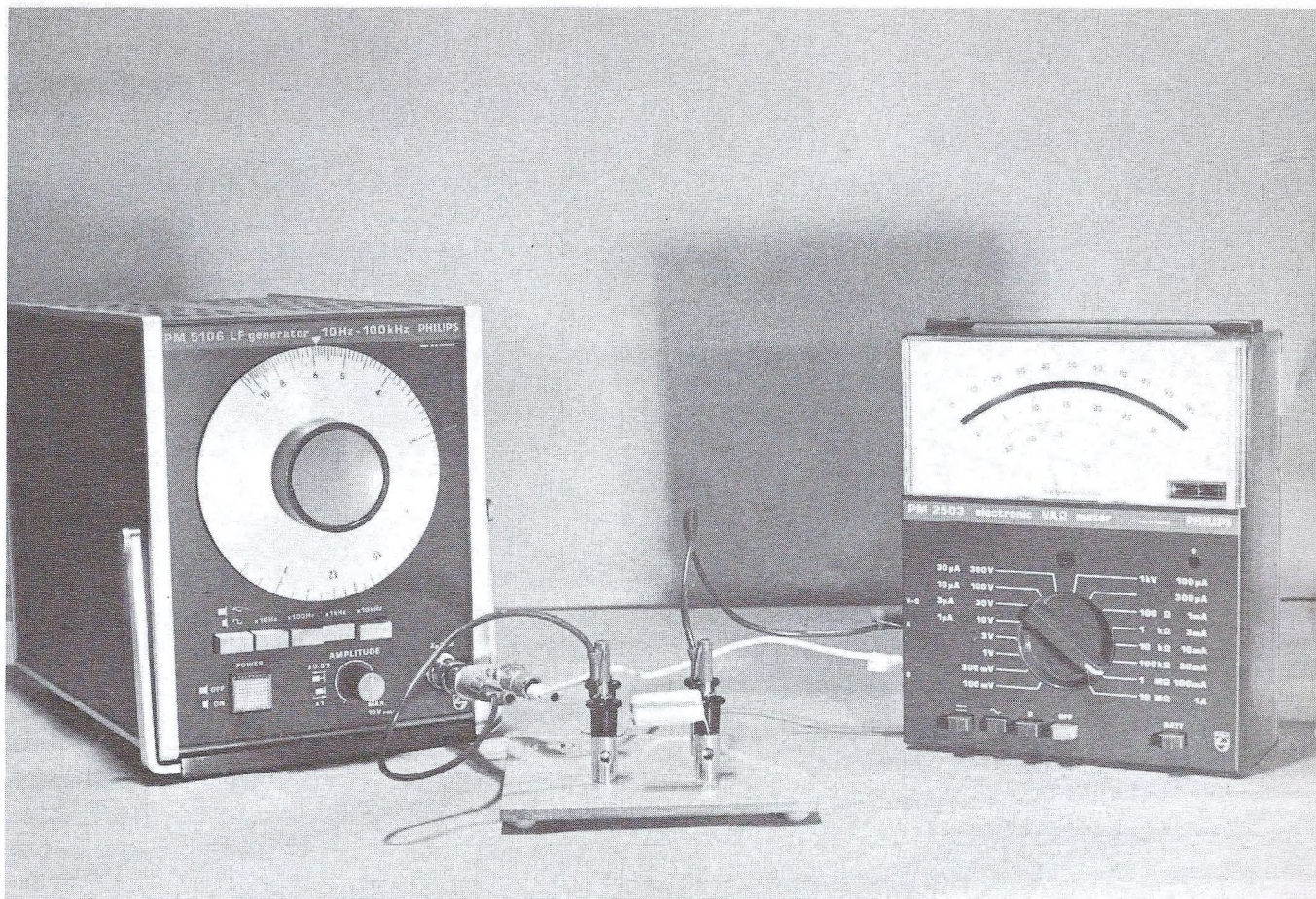


## Kondensatoren ved forskellige frekvenser

Med en tonegenerator kan vi få alle toner (frekvenser) fra 10 Hz til 100 kHz eller højere. Det er sinusformede svingninger, der kommer fra tonegeneratoren. Derfor kaldes den også en sinusgenerator.

Med sinusgeneratoren vil vi undersøge, hvordan kondensatoren reagerer over for forskellige frekvenser, og vi danner opstillingen i fig. 37.





C vælges til  $10\mu\text{F}$ , og i serieforbindelse med et amperemeter ( $100\text{ mA}$ ) tilsluttes kondensatoren en sinusgenerator. Ved at variere frekvensen ses, at der ved lave frekvenser går lille strøm i kredsløbet. Når frekvensen når over  $15\text{ kHz}$ , yder kondensatoren ikke længere modstand (reaktans).

*Vi ser, at impedansen er afhængig af frekvensen. Jo lavere frekvens, jo større impedans.*

## RC-led

En modstand ( $R$ ) og en kondensator ( $C$ ) kan sammensættes til et RC-led. I forstærkere og andre elektroniske enheder spiller RC-led en stor rolle, og vi vil derfor undersøge, hvordan RC-led reagerer over for vekselspændinger ved forskellige frekvenser.

Fig. 38 viser, hvordan vi kan koble en kondensator ( $0,1\mu\text{F}$ ) og en modstand ( $680\text{ ohm}$ ) sammen til et RC-led.

Indgangen tilsluttes en sinusgenerator, og på udgangen måles med et oscilloskop (eller vekselstrømvoltmeter) (fig. 39). Frekvensen varieres nu fra  $10\text{ Hz}$  til  $100\text{ kHz}$ , og vi måler spændingen over udgangen og sammenligner den med spændingen af det sinussignal, vi sender ind.

Vi kan vælge spændingen fra sinusgeneratoren til at være  $0,8\text{ Vss} = 800\text{ mVss}$ .

Der måles så, hvor stort signal der kommer igennem ved  $10\text{ Hz}$ ,  $100\text{ Hz}$ ,  $500\text{ Hz}$ ,  $1000\text{ Hz}$  . . . osv. De målte værdier indsættes i et skema. Herefter tegnes en kurve over de sammenhørende værdier (fig. 40).

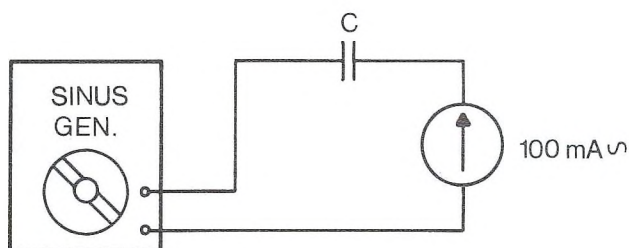


Fig. 37



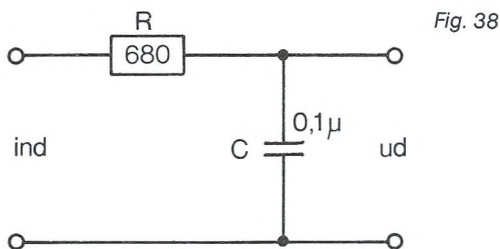
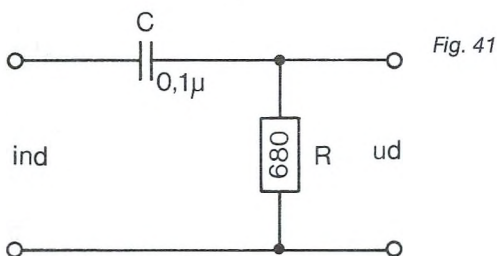
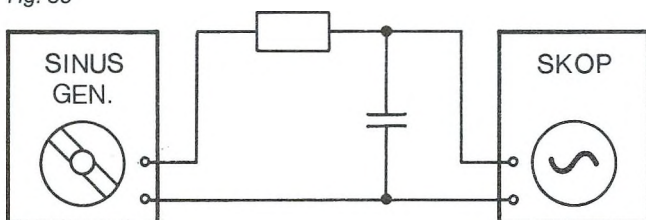


Fig. 39



Af kurven kan vi se, at de lave frekvenser går uhindret gennem RC-leddet. Ved frekvenser over 500 Hz sker der en dæmpning af signalet, og jo højere vi når op i frekvens, jo større dæmpning er der, og jo mindre signal er der på udgangen.

Vi kalder denne udformning af et RC-led for et lavpas-filter.

Et lavpasfilter lader lave frekvenser passere og dæmper frekvenser over afskæringsfrekvensen  $f_0$ .

$f_0$  er den frekvens, hvor udgangsspændingen er 0,7 gange indgangsspændingen.

I dette forsøg var indgangsspændingen 800 mVss.

$$0,7 \times 800 \text{ mVss} = 560 \text{ mVss}$$

Udgangsspændingen var 560 mVss ved 2500 Hz.

$f_0$  = afskæringsfrekvensen = 2500 Hz.

Vi bytter nu om på R og C, og fig. 41 viser denne udformning af et RC-led.

På samme måde som før måles dæmpningen ved forskellige frekvenser, og der tegnes en kurve over resultatet.

Fig. 40

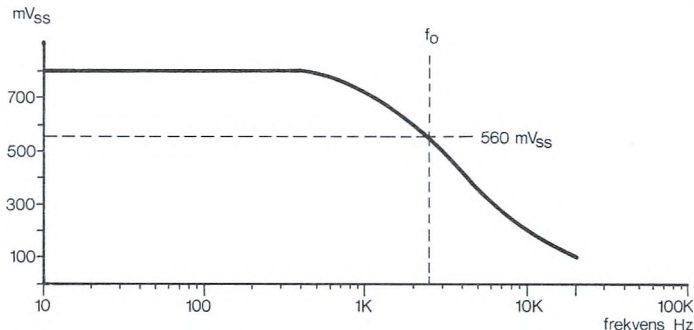
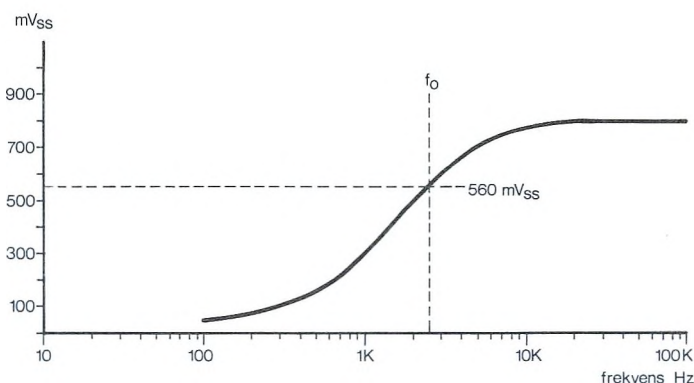


Fig. 42



Det er nu de lave frekvenser, der er blevet dæmpet, og de høje, der har passeret uhindret. Det er et højpas-filter.

Ved frekvensen 2500 Hz er udgangsspændingen igen 0,7 gange indgangsspændingen (fig. 42).

$f_0 = 2500 \text{ Hz}$ .

### Beregning af afskæringsfrekvensen $f_0$

Afskæringsfrekvensen for et RC-led kan beregnes med denne formel:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$$

$\pi = \frac{22}{7}$ , R er resistansen i ohm = 680  $\Omega$ , og C er kapacitansen i farad = 0,1  $\mu\text{F} = 0,0000001 \text{ F}$ .

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \frac{22}{7} \cdot 680 \cdot 0,0000001} = \text{ca. } 2340 \text{ Hz.}$$



Det beregnede resultat 2340 Hz stemmer ikke helt med det målte 2500 Hz. Vi må her tage komponenternes tolerancer i betragtning.

## Spoler

Vi skal se nærmere på spoler og deres funktion i jævn- og vekselstrømskredsløb.

En spole består af isoleret kobbertråd viklet om en spoleform af isolerende materiale. Spolen kan inden i spoleformen være forsynet med en jernkerne.

På billedet ses eksempel på en spole med jernkerne og spænding.

En spole med 800 vindinger på en lukket jernkerne forbindes i serie med en glødelampe (6 V – 1 A) til 6 V jævnspænding (fig. 44).

Glødelampen lyser. Der er kun en ringe resistans i spolen.

Nu tilsluttes spolen 6 V vekselspænding. Glødelampen lyser ikke. Spolen spærrer for vekselstrøm.

Spolens vekselstrømmodstand kaldes dens *impedans*.

Med en tonegenerator og et amperemeter kan spolens impedans ved forskellige frekvenser undersøges. Det viser sig, at impedansen bliver større ved højere frekvenser. *Spolen dæmper mest ved højere frekvenser.*

Fig. 43  
Symbol for spole med jernkerne og spole uden jernkerne



Fig. 44

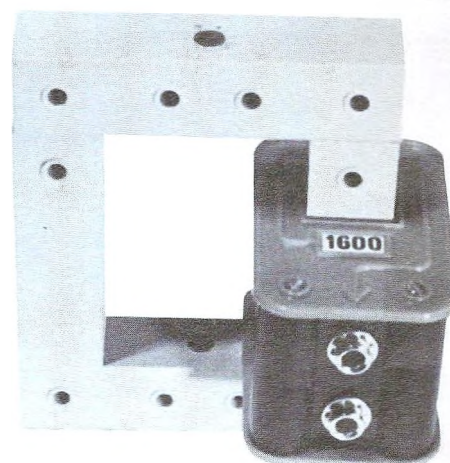
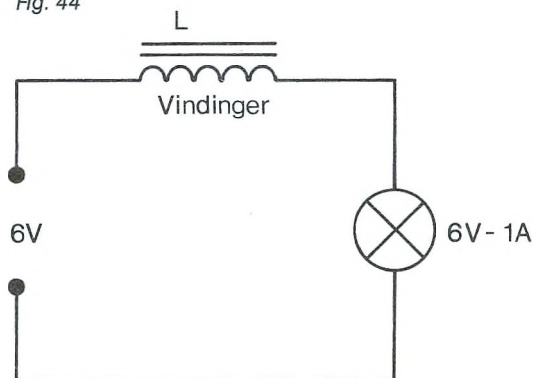
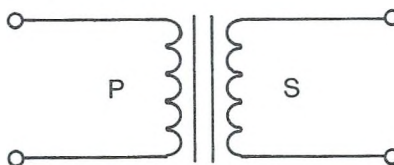


Fig. 45  
Symbolet for en transformator



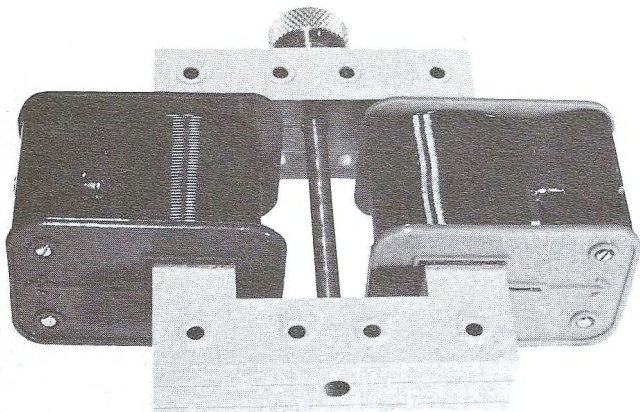
## Transformator

Transformatoren består af to spoler på en lukket jernkerne.

Vi undersøger en transformator med to spoler, hver med 800 vindinger.

Den ene spole (primærspolen) tilsluttes 6 V~. Til den anden spole tilsluttes en glødelampe (6 V – 0,1 A). Glødelampen lyser.





Transformatormodel

*Transformatoren kan overføre vekselstrøm.*

Hvis der er lige mange vindinger på primær- og sekundærspole, bliver sekundærspændingen lig primærspændingen.

Hvis der på sekundærspolen er dobbelt så mange eller halvt så mange vindinger som på primærspolen, bliver sekundærspændingen den dobbelte eller den halve værdi af primærspændingen.

*Med transformatoren kan spændinger transformeres op eller ned.*

Vindingstal på primær: 800. Primærspænding 6 V~

Vindingstal på sekundær spole	800	1600	400	200
Resulterende sek. spænding	6V	12 V	3V	1,5V

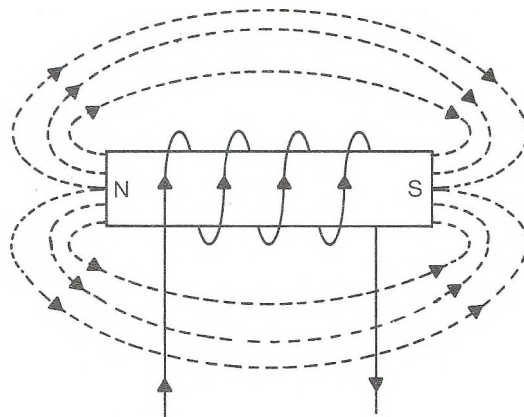
### Spolen som magnet

Når der sendes en elektrisk strøm gennem en spole, vil der omkring spolen dannes et magnetfelt. Fra den ene ende af spolen udsendes kraftlinier, der indtages i den anden ende af spolen. Herved opstår en nordpol og en sydpol. Spolen er en magnet – en elektromagnet. Med en magnetnål (et kompas) kan nordpol og sydpol findes. For magnetiske poler gælder det, at ens poler frastøder hinanden. Forskellige poler tiltrækker hinanden.

Sendes strømmen modsat vej gennem spolen, byttes om på nord- og sydpolens placering.

Hvis der over en elektromagnet lægges et stykke papir, og der herpå drysses jernfilspåner, kan man tydeligt se det mønster, kraftlinierne danner.

Forsynes spolen med en jernkerne, bliver den en kraftigere magnet. Flere vindinger på spolen og større strøm gennem den betyder også kraftigere magnet.

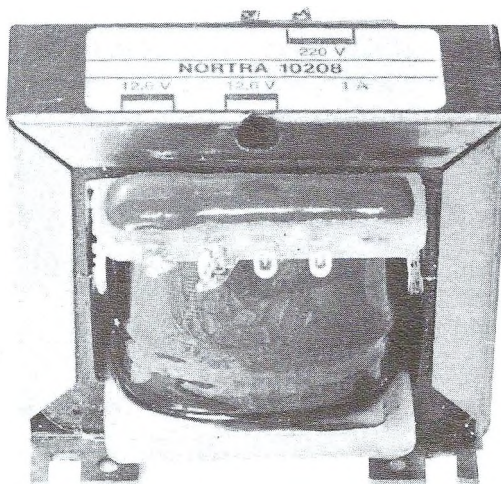


### Spolen som strømkilde.

Når der sendes en strøm gennem en spole, bliver spolen til en magnet. Modsat vil spolen kunne levere strøm, når en fast magnet nærmes til den.

Hvis en spole forbindes til et midtpunktstillet amperemeter (1 – 0 – 1 mA), kan man se, at der går elektrisk strøm i kredsløbet, når en magnet sættes ned i spolen. Når først magneten er der, går der ikke længere strøm. Når magneten fjernes, går der igen strøm. På amperemetret slår viseren nu ud modsat før, og det fortæller, at strømmen i kredsløbet går modsat retningen af den strøm, der opstod, da magneten nærmede sig spolen.

Spolens magnetiske egenskaber og dens egenskaber til at producere elektrisk strøm udnyttes i el-motorer og el-generatorer.



Transformator

Billedet viser en transformator. Primæren er beregnet til 220 V~. Det vil sige, den kan tilsluttes bynettet, og den kaldes derfor en nettransformator.



Primærspolen består af ca. 3000 vindinger kobbertråd med en diameter på 0,16 mm.

Sekundæren består af to spoler hver med ca. 180 vindinger.

Da der regnes med et tab på ca. 5% i transformatoren, giver det en sekundærspænding på 12,6 V for hver sekundærspole.

Hvis de to sekundærspoler serieforbindes, kan transformatoren således give en spænding på 25,2 V.

Til sekundæren er brugt kobbertråd med en diameter på 0,65 mm.

For en transformator er den aftagne effekt lig den tilførte effekt (minus et lille tab). For både sekundær og primær gælder

$$P = U \cdot I$$

Maksimal afgiven effekt ved  $2 \times 12,6 \text{ V}$  og en strøm på 1 A:

$$P_{\text{sek.}} = 2 \cdot 12,6 \cdot 1 \text{ W} = 25,2 \text{ W}$$

Den tilførte effekt skal så også være 25,2 W. Heraf kan man beregne den maksimale primærstrøm:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{25,2}{220} = 0,115 \text{ A}$$

En strøm på 1 A i sekundæren vil resultere i en strøm på 0,115 A i primæren. Den lille primærstrøm betyder, at man her kan bruge en ret tynd tråd (0,16 mm).

Da vi i elektronik arbejder med små spændinger, har vi ofte brug for en transformator til at sætte spændingen ned fra nettets 220 V~. Vi kan f.eks. transformere ned til 12 V~ og derefter ensrette til jævnspænding. (Se under Ensretning af vekselstrøm).

## Selvinduktion

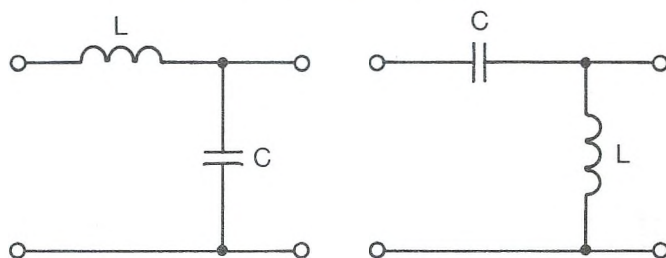
Spolens egenskab til at modvirke strømvariationer kaldes dens *selvinduktion*. Selvinduktion betegnes med bogstavet L og måles i henry (H), millihenry (mH) = tusindedele H eller mikrohenry ( $\mu\text{H}$ ) = millionte dele H.

Selvinduktionen er afhængig af spolens dimensioner og vindingstal. Den forøges, hvis spolen forsynes med en jernkerne.

## LC-led

En spole (L) og en kondensator (C) kan sammensættes til LC-led. De kan som RC-led danne lav- og højpasfiltre. Dæmpningen af signalet ved en fordobling af frekvensen (en oktav højere) er dobbelt så stor for LC-led som for RC-led. LC-led er således mere effektive som dæmpeled.

Fig. 46 Lavpasfilter og højpasfilter – LC led



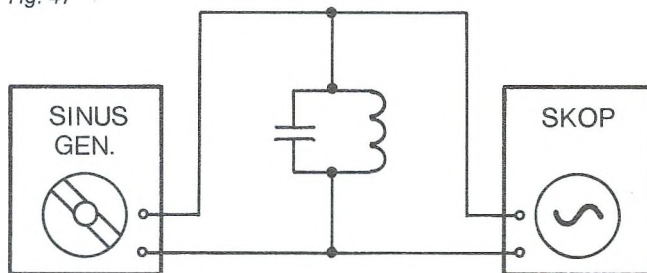
## Svingningskredse

En spole og en kondensator kan danne *svingningskredse*, idet de forbindes parallelt eller i serie med hinanden.

Vi vikler 40 vindinger 1 mm isoleret kobbertråd om en ferritstang. (En ferritjernkerne er en særlig god jernkerne). Kondensatoren vælges til  $12 \mu\text{F}/15 \text{ VAC}$ . Det er en bipolar kondensator.

Spolen og kondensatoren parallelforbindes (fig. 47). Ved at måle spændingen herover ved forskellige frekvenser ses, at der ved frekvensen 4,5 kHz måles den højeste

Fig. 47



spænding. Kredsen kaldes en *spærrekreds*. Den spærres ved den resonansfrekvens, spolen og kondensatorens værdier bestemmer, og vil her virke som en stor modstand. Spændingen herover vil være maksimal. Andre frekvenser går lige igennem, og her vil spændingen være lav (fig. 48). Spolen og kondensatoren serieforbindes nu (fig. 49), og



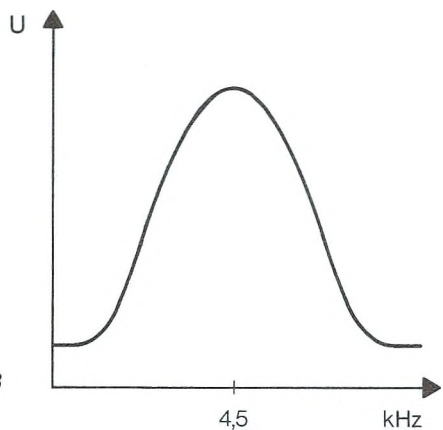
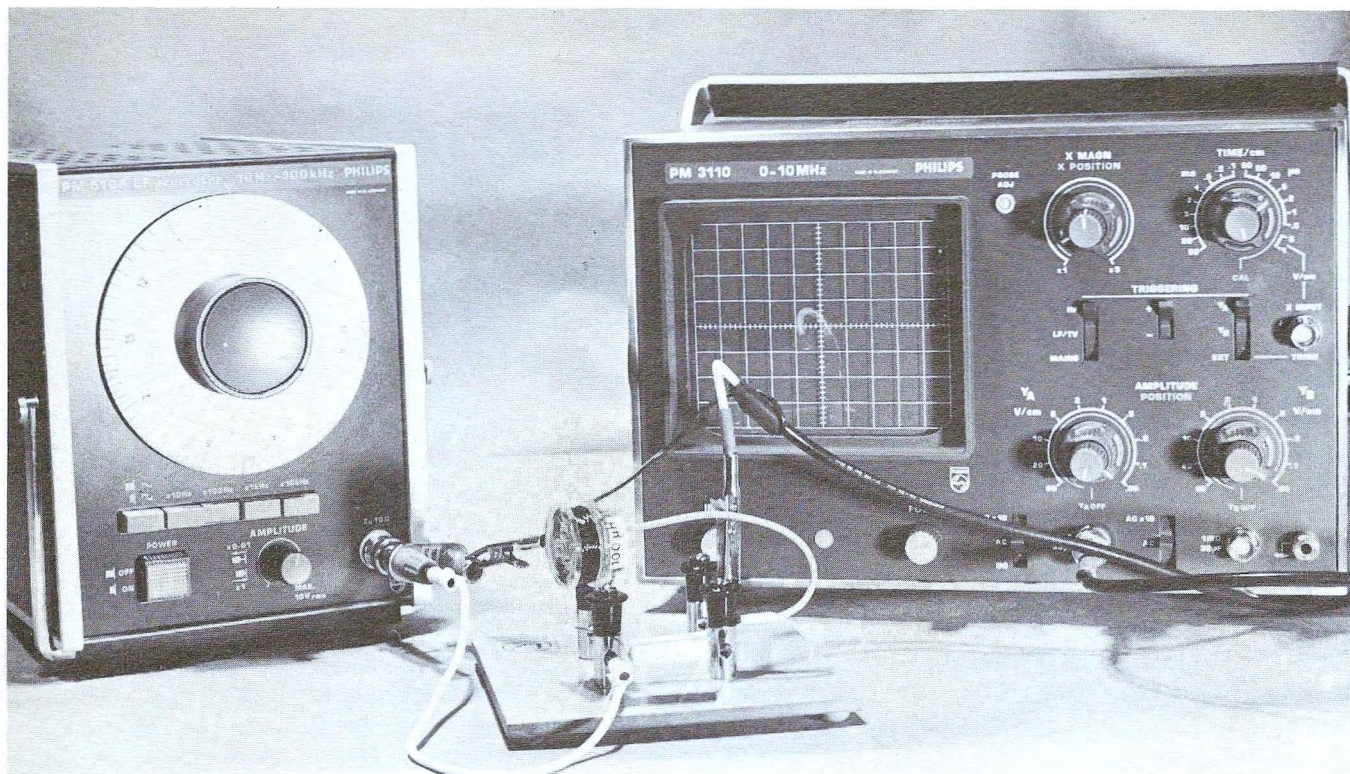


Fig. 48

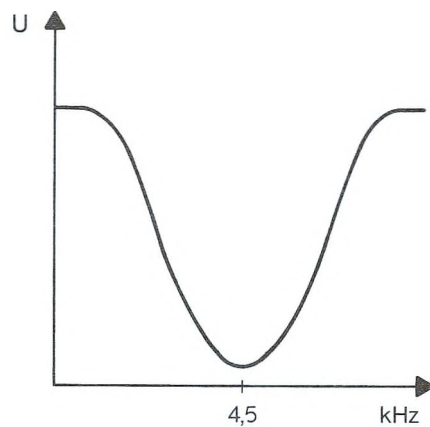
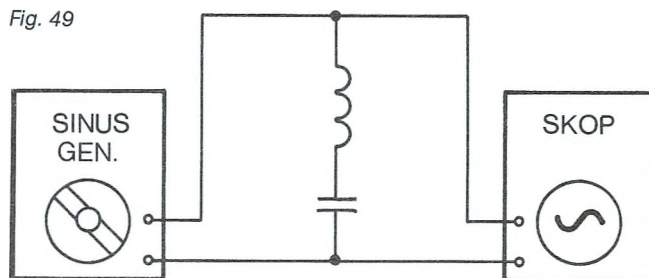


Fig. 50

kredsen virker nu omvendt spærrekredsen og kaldes en *sugekreds*. Kun resonansfrekvensen kommer igennem, og spændingen vil her være nul. Der spærres for andre frekvenser, og spændingen over kredsen vil ved disse være høj (fig. 50). Disse to kredse bruges meget i radiosendere og -modtagere.

Fig. 49

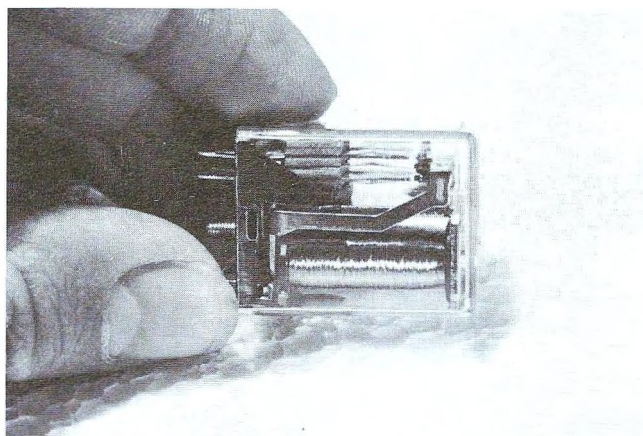




## Relæ

Et relæ består af en spole med en jernkerne. Når der går en jævnstrøm gennem spolen, bliver den til en elektromagnet, og den tiltrækker et stykke jern (ankeret). Herved sluttes eller afbrydes et kontaktsæt.

Relæer fås til mange spændinger og med små trækstrømme. Et relæ, der „trækker“ ved 9 V – 50 mA, er særdeles velegnet i mange transistorkredsløb.



Relæ

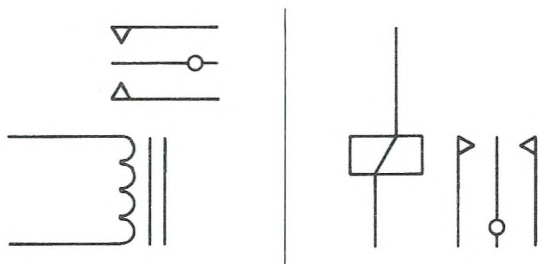


Fig. 51  
Symboler for relæ

Betydningen af relæet er blevet mindre, da man i stigende grad forstår at erstatte denne mekaniske afbryder med simple elektroniske afbrydere, der ikke udsættes for slitage (se „Transistoren som switch“).

## Dioden

Stoffer, der kan lede den elektriske strøm, kaldes ledere, og stoffer, der ikke tillader den elektriske strøm at passere, kaldes isolatorer.

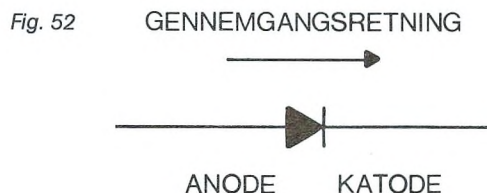
Mellem disse grupper findes en tredje, som kaldes *halvledere*. Det er stoffer som germanium, silicium og selen, og de to førstnævnte har fået stor betydning inden for elektronikken. Komponenter, der fremstilles af disse

grundstoffer kaldes halvledere, og vi skal her se på nogle af disse.

I modsætning til komponenter som modstande og kondensatorer, der er passive komponenter, kaldes halvledere for aktive komponenter.

Den første halvleder, vi skal se nærmere på, er *dioden*. Dioden er en komponent, der tillader elektrisk strøm at passere den ene vej (gennemgangsretningen) og yder stor modstand den anden vej (spærreretningen). Man kalder da også dioden for en „ventil“.

Symbolet for dioden ser således ud (fig. 52).



Gennemgangsretningen er fra anode til katode.

På dioder angives katoden ofte med en ring.

Med et ohmmeter kan man måle spærreretning og gennemgangsretning. Samtidig konstateres, om dioden er i orden (Uendelig stor resistans i spærreretningen).

Diodens „ventil-egenskaber“ kan også vises med en glødelampe og en strømkilde. Typebetegnelsen for den valgte diode er 1N4001. Man kan også bruge BY127 o.l.

Med dioden i gennemgangsretningen vil pæren lyse. Dioden leder den elektriske strøm.

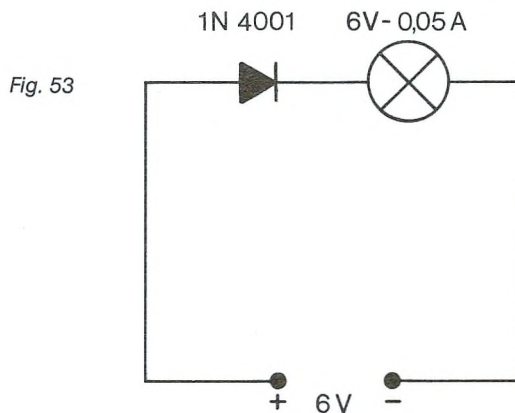


Fig. 53





Billedet viser siliciumdioder af typen BAW62

Med dioden vendt i spærreretningen lyser pæren ikke. Dioden spærrer for den elektriske strøm.

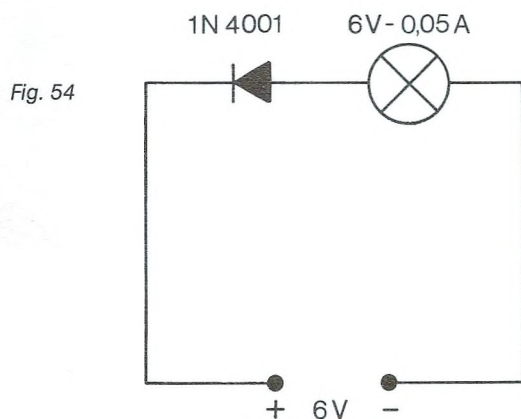


Fig. 54

Vi vil nu se, hvordan dioden reagerer over for vekselstrøm. Kredsløbet er det samme som før.

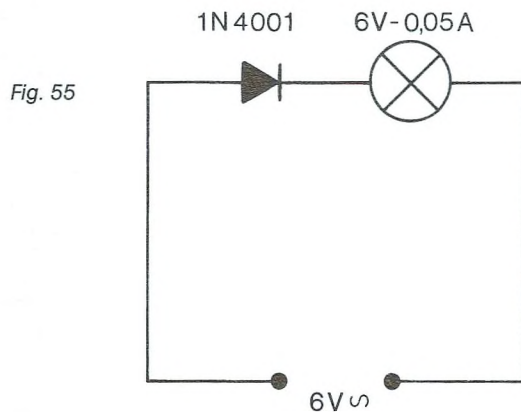


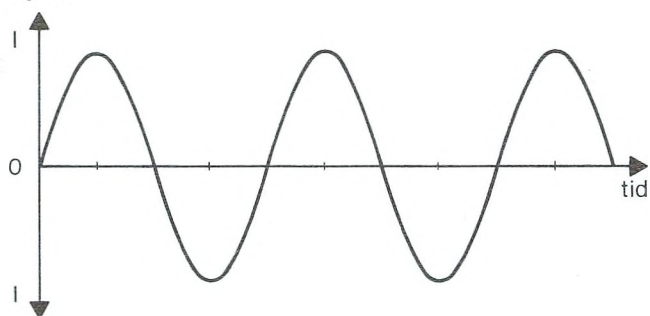
Fig. 55



Pæren lyser, men med halv styrke, uanset hvordan dioden vendes.

Tegningen (fig. 56) viser en kurve over vekselstrømmens forløb gennem en glødelampe. Kurven kaldes en *sinus-kurve*.

Fig. 56



Vi starter ved 0 på kurven. Der går ikke strøm gennem glødelampen. Så går kurven opad. Der går strøm gennem glødelampen. Når kurven ikke længere stiger, er vi kommet til den maksimale strøm gennem glødelampen. Derefter aftager strømstyrken, til den igen bliver 0. Nu bevæger vi os under nullinien. Det betyder, at strømmen går den anden vej gennem glødelampen. Strømmen denne vej når den samme maksimale værdi som før og bliver så igen nul. Strømmen har gennemløbet en *periode*.

Her i landet er der 50 Hertz vekselstrøm med en spændingsforskel på 220 Volt. Det betyder, at der i 1 sekund er 50 perioder.

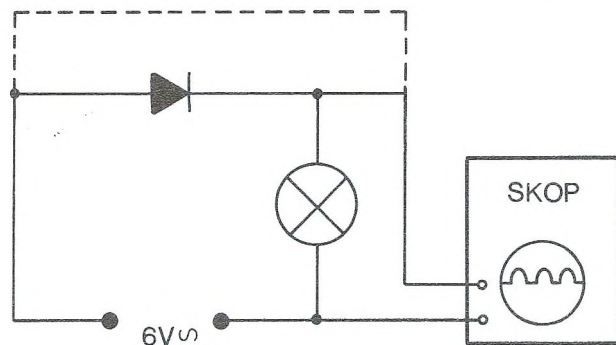
Først „skvulper“ strømmen den ene vej gennem kredsløbet, hvorefter den skifter retning og „skvulper“ den anden vej. Dette sker 50 gange pr. sekund.



Oscilloskopet kan ikke vise strømvariationer, men spændingsvariationer. Når der gennem glødelampen er strømvariation, vil der også „over“ glødelampen være en spændingsvariation.

Ved at tilslutte oscilloskopet over glødelampen som vist på tegningen, kan man på skærmen iagttage spændingsvariationerne over glødelampen (fig. 57).

Fig. 57

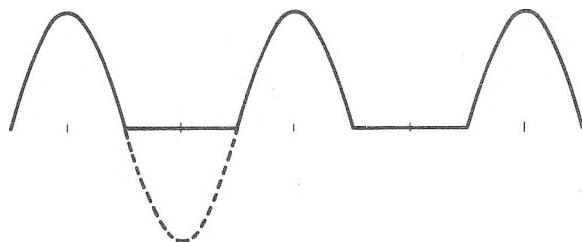


Hvis dioden (1N4001) kortsluttes med en ledning, vil vi se en sinuskurve.

Ledningen over dioden fjernes. Når strømmen i kredsløbet går i den ene retning, leder dioden, og pæren lyser. Når strømmen går i den anden retning, spærrer dioden, og der går ingen strøm. Pæren lyser kun for hvert andet strømstød, og den lyser kun halvt op.

På oscilloskopet kan vi se, at den nederste halvdel af sinuskurven er blevet „skåret af“. Resultatet er, at vekselstrømmen er blevet til en pulserende jævnstrøm. Strømmen går hele tiden den samme vej gennem glødelampen. Der kommer en impuls hvert  $\frac{1}{50}$  sek.

Fig. 58



Hvis dioden vendes, ser vi, at nu skæres den øverste halvdel af kurven af.

Fig. 59



Grundet bynettets lave frekvens (50 Hz) vil oscilloskopbillederne „flimre“ lidt. Hvis man vil undgå dette, kan man med denne opstilling vise diodens funktion (fig. 60).

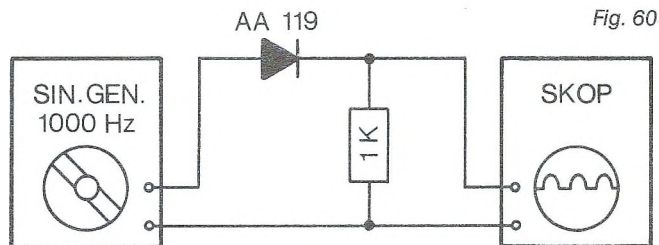


Fig. 60

Vekselstrømsgeneratoren er her en sinusgenerator, dioden en småsignal germaniumdioder (AA119 e.l.), og som belastning anvendes en fast modstand (1K) i stedet for glødelampen.

Ved en frekvens på 1000 Hz vil billedet stå helt roligt på skærmen.

De samme forsøg som før kan nu gennemføres.

## Ensretning af vekselstrøm

Med dioden har vi fundet en metode til ensretning af vekselstrøm. Når vekselstrømmen passerer dioden, bliver den „ensrettet“. Det vil sige, at kun strøm i den ene retning vil forekomme på den anden side af dioden. Det er en pulserende jævnstrøm.

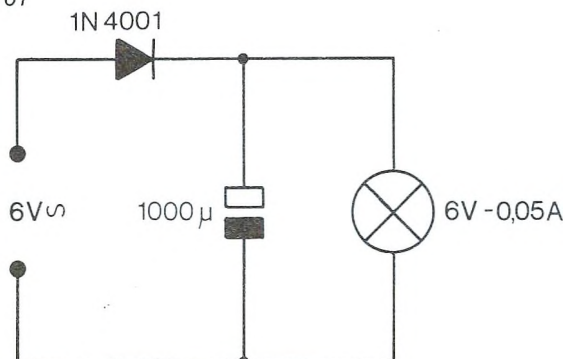
Har man til en transistorradio brug for en jævnspænding på 9 V, er det ikke nok blot at sætte en diode efter en transformator, der giver 9 V vekselspænding. Den pulse-



rende jævnspænding vil give brum i radioen. Brumfrekvensen er 50 Hz. Vi får med andre ord musikken fra radioen overlejret med en 50 Hz tone.

Vi må prøve at fjerne denne brumspænding.

Fig. 61



Over belastningen (glødelampen) indsættes en elektrolyt-kondensator på 1000 µF/10 V. Glødelampen vil lyse kraftigere. Spændingen over den bliver større. Kun med et oscilloskop kan vi konstatere, hvad der er sket (fig. 61).

Fig. 62



Tegningen viser spændingsforløbet over glødelampen. Den punkterede kurve er spændingsforløbet uden kondensator. Halvdelen af tiden er spændingen over glødelampen 0 V. Så stiger den til maksimal værdi, hvorefter den falder til 0 V igen.

Den optrukne kurve viser, hvad der sker, når der indsættes en kondensator (fig. 62).

Kondensatoren bliver opladet, og når spændingen falder mod 0 V, aflades kondensatoren langsomt over glødelampen. Det betyder, at spændingen ikke når at falde helt til 0 V, inden næste strømstød kommer. Det oplader så kondensatoren igen.

På oscilloskopet kan brumspændingen aflæses.

Hvis spidsspændingen før var 6,5 V, og minimumspændingen var 0 V, havde vi en brumspænding på 6,5 V.

Nu falder brumspændingen ikke længere til 0 V, men bliver måske 4,5 V. Det betyder, at brumspændingen nu er reduceret til 2 V.

Brumspænding kaldes i fagsproget for *ripple*. Jo større kapacitans elektrolytkondensatoren har, jo mindre ripple vil der være.

På oscilloskopet kan ripplespænding ved forskellig kondensatorkapacitans måles. Prøv med 1 µF, 10 µF, 100 µF og 1000 µF.

Med en kondensator på 1000 µF ser kurven „pæn ud“. Den ideelle kurveform er en ret linie.

Strømforbruget med den anvendte glødelampe er kun 50 mA. Den skiftes ud med en glødelampe 6 V – 1 A.

Fig. 63

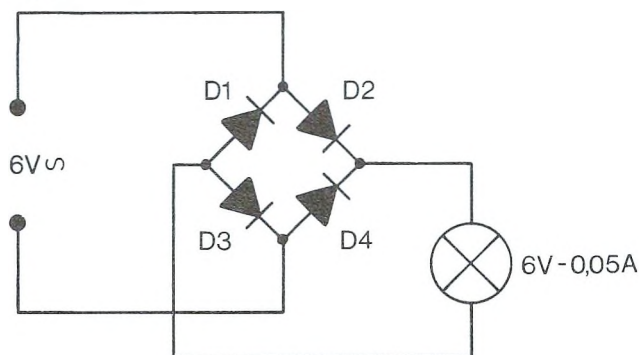


Det går ud over kurveformen, idet kondensatorens kapacitans ikke er stor nok til at levere en strøm på 1 A i hele impuls-pausen (fig. 63).

I stedet for at bruge kondensatorer med større kapacitans, vil vi bruge flere dioder.

Fire dioder (1N4001) sammenkobles som vist på fig. 64. Det kaldes en brokoblet ensretter eller en grætzkobling.

Fig. 64



På oscilloskopet (målt over glødelampen) vil kurveformen se således ud (fig. 65).

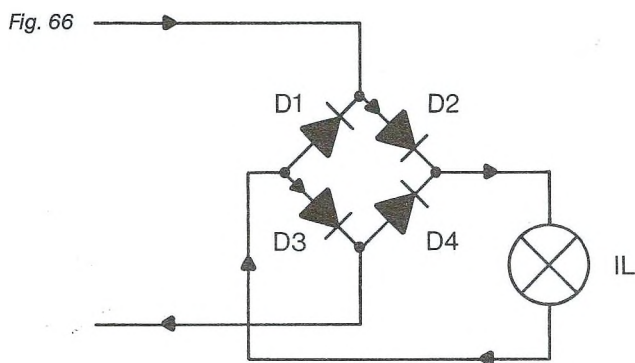
Fig. 65



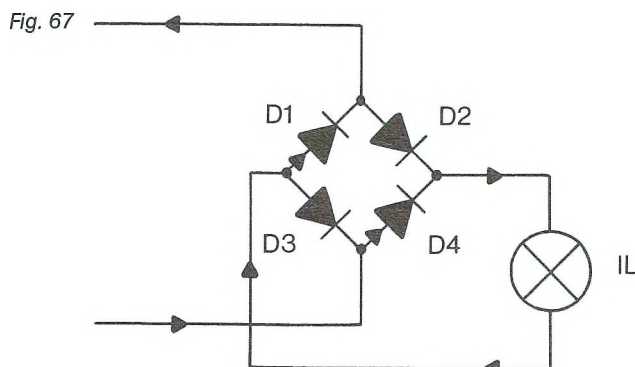


Der kommer dobbelt så mange strømstød gennem glødelampen som ved første forsøg.

Når strømmen går i den ene retning, går den gennem D2, glødelampen og D3 (fig. 66).



Når strømmen går i den anden retning, vil D4 og D1 lede. Strømmen går også denne gang i samme retning gennem glødelampen (fig. 67).



Før havde vi 50 impulser pr. sek. Nu får vi 100 impulser eller strømstød pr. sek.

Som før forbedres den pulserende jævnspænding med en elektrolyt over belastningen (glødelampen) (fig. 68).

Med en kondensator med en kapacitans på 1000  $\mu\text{F}$ , vil ripplespændingen være meget reduceret.



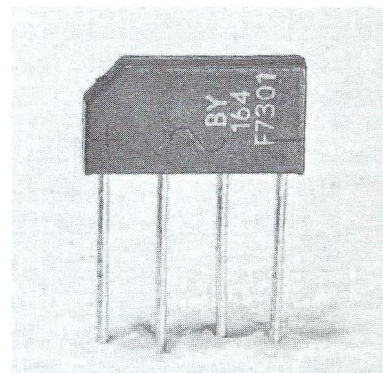
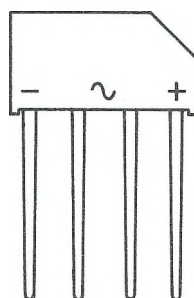
I bogen „Praktisk Elektronik“ i denne serie vises spændingsforsyninger til forskellige formål. Teorien bliver behandlet i „Styring Med Elektronik“.

En graetzkobling kan opbygges af fire dioder.

1N4001 tåler en spidsspænding på 50 V og en ensrettet strøm på 1 A.

For BY127 er den maksimale spidsspænding 800 V og en ensrettet maksimal strøm på 1 A.

Fig. 69

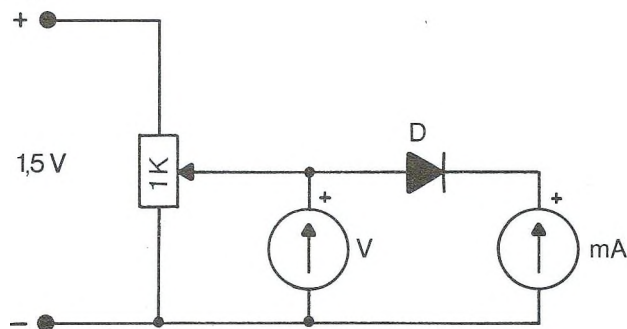


BY164 er et eksempel på en færdig graetzkobling. Den indeholder fire dioder. Der er kun fire tilledninger. Til de to midterste tilsluttes vekselspænding, og fra de to yderste ben tages den ensrettede spænding. Maksimum tilført spænding er 60 V. Maksimum strøm er 1,4 A.

## Diodens karakteristik

En *karakteristik* er en kurve, der viser, hvorledes strømmen gennem dioden er afhængig af spændingen over den. Det kan måles med opstillingen vist i fig. 70.

Fig. 70





Fra en spændingskilde fås en spænding på 1,5 V. Hertil sluttes et potentiometer (1K) som spændingsdeler, og ved at dreje på potentiometeret, kan man få alle spændinger mellem 0 og 1,5 V. Et voltmeter (U) måler den øjeblikkelige spænding. D er dioden, vi ønsker at undersøge, og I er et amperemeter, der måler strømmen gennem dioden.

Vi vil undersøge to typer dioder, en germaniumdiode (OA91) og en siliciumdiode (1N4148).

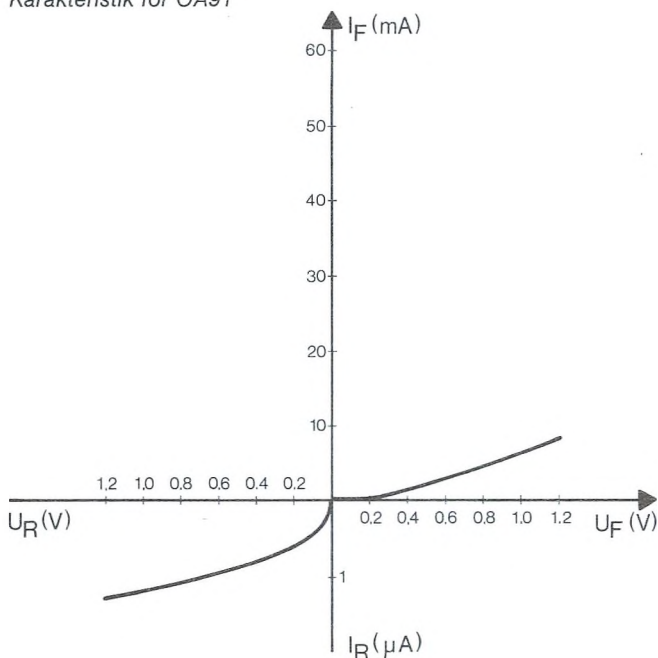
Først undersøges germaniumdioden. Amperemetret, der skal bruges, giver fuldt viserudslag ved en strøm på 100 mA

Med potentiometeret indstilles spændingen til 0,2 V, 0,4 V, 0,6 V osv., og på amperemetret aflæses de tilsvarende strømme. I en tabel som nedenstående noteres sammenhængende værdier for spænding og strøm.

U (V)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
$I_F$ (mA)	0,2	1,2	2,6	4,2	6,1	8,2

Resultaterne i dette skema stammer fra et forsøg med en tilfældig udvalgt diode, men man kan ikke forvente at få helt samme resultater i tilsvarende forsøg. Forskellige forhold spiller ind. Bl.a. er dioder med samme typebetegnelse ikke altid helt ens, og diodestrømmen er meget temperaturafhængig.

Fig. 71  
Karakteristik for OA91



Nu vendes dioden, og forsøget gentages. Denne gang er dioden forspændt i spærreretningen.

Der går ingen strøm. I hvert fald ser det ikke ud til det på amperemetret. I stedet for dette indsættes et amperemeter, der giver fuldt viserudslag ved en strøm på 10  $\mu A$  (mikroampere). På dette instrument kan vi se, at der går en lille strøm i spærreretningen.

Der måles ved forskellige spændinger, og resultaterne indsættes i tabellen over sammenhørende værdier af spænding og strøm.

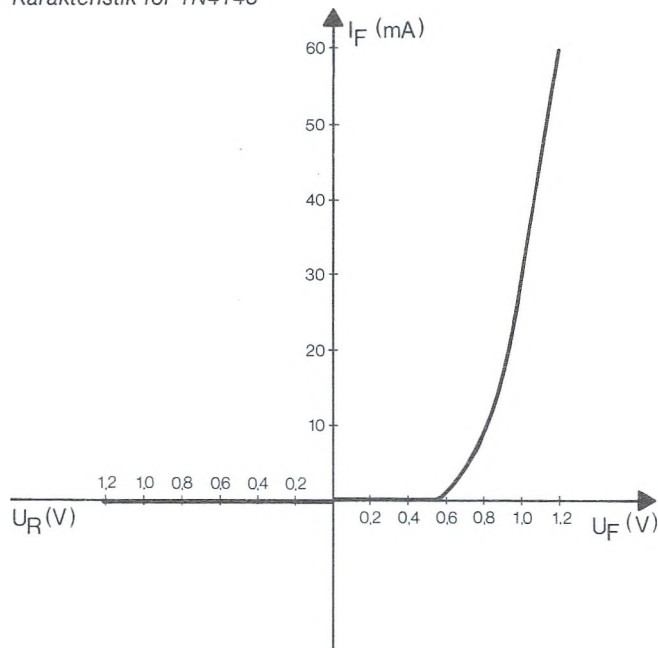
U (V)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,2	1,2
$I_R$ ( $\mu A$ )	0,6	0,8	1	1.1	1.2	1.3

Vi kan nu tegne en kurve(graf), der viser de sammenhængende værdier for spænding og strøm i lede- og spærreretningen for dioden, idet vi indsætter vore resultater i et koordinatsystem (fig. 71).

Et koordinatsystem er to tallinjer, der står vinkelret på hinanden i nulpunktet. De kaldes koordinatsystemets akser. Den vandrette kaldes x-aksen, den lodrette y-aksen.

Ud ad den ene akse, x-aksen, afsættes spændingen i lederetningen ( $U_F$ ) målt i V. Op ad y-aksen strømmen i

Fig. 72  
Karakteristik for 1N4148





lederretningen ( $I_F$ ) målt i mA. Ved at afsætte de sammenhørende værdier som punkter, fås en række punkter, der forbindes, og vi har en graf over strømmens afhængighed af spændingen over dioden. Kurven kaldes *diodens karakteristik*.

Da værdierne for strømmen i spærreretningen ikke vil syne ret meget, anvendes en mindre måleenhed her ( $\mu A$ ). Spændingen over dioden i spærreretningen ( $U_R$ ) afsættes til venstre ad x-aksen; strømmen i spærreretningen ( $I_R$ ) afsættes ned ad y-aksen.

De to forsøg gentages med en siliciumdioder (1N4148).

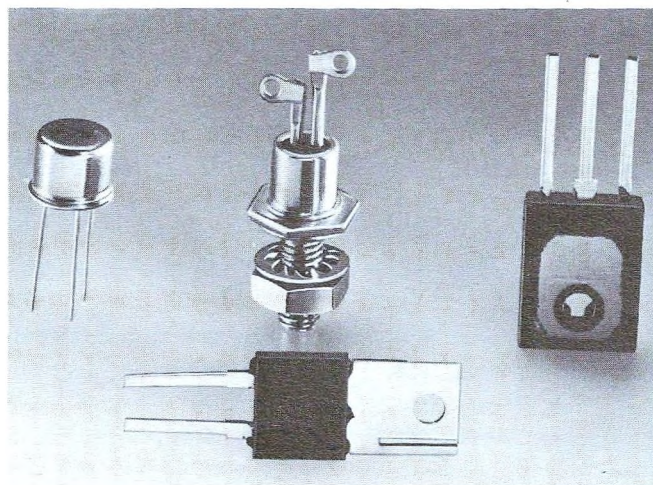
U (V)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
$I_F$ (mA)	0	0	0,5	8	30	60

Med et amperemeter med fuldt viserudslag ved en strøm på  $10 \mu A$  var det ikke muligt at se, at viseren bevægede sig. Ved disse spændinger spærre dioden totalt. Resistansen i spærreretningen er uendelig stor.

## SCR – thyristor

En SCR, der også kaldes en *thyristor*, er en diode, der ud over anode og katode har en ekstra elektrode, der kaldes *gate*.

Forspændes dioden i lederretningen, går der ingen strøm gennem den. Man kan „åbne“ for strømmen ved at forbinde gate til en positiv spænding. Når først dioden leder strømmen, virker den som en almindelig ensretterdioder, og spændingen til gate kan afbrydes.



Thyristor

Hvis strømmen gennem dioden kommer under en bestemt værdi, lukker dioden igen, og der skal en ny impuls til at lukke op.

SCR står for „Silicon controlled rectifier“.

Fig. 73 Symbol for SCR

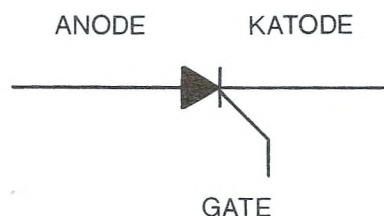
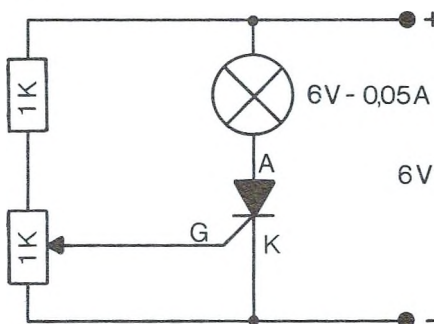


Fig. 74



Denne opstilling (fig. 74) viser thyristorens funktion. En glødelampe (6 V – 0,05 A) indikerer, om der går strøm gennem dioden (2N4441). Et amperemeter (100 mA) kan også indskydes i serie med glødelampen.

Potentiometret (P1) drejes „i bund“, og opstillingen tilsluttes 6 V. Glødelampen lyser ikke. Der går ikke strøm gennem thyristoren. P1 drejes nu, og når spændingen på gate bliver tilstrækkelig høj, åbner thyristoren, og glødelampen lyser. Det fortsætter den med, selv om gatespændingen sættes ned igen med potentiometret.

Vi kan også vise, at der kun skal en impuls til at åbne thyristoren.

Opstillingen fra før bevares, men ledningen fra potentiometret til gate afbrydes. Der sættes spænding til kredsløbet, og ledningen fra potentiometer til gate sluttes et øjeblik og afbrydes derefter igen straks. Det er (hvis potentiometret er indstillet til „tændspændingen“) nok til at åbne thyristoren, der forbliver åben, til forsyningsspændingen til opstillingen afbrydes.



## Germaniumdioder – siliciumdioder

Germaniumdioder tåler ikke høj spænding. Den maksimale spænding i spærreretningen er ca. 100 V. Den maksimale strøm i lederetningen er for germaniumdioder op til 5 A.

Siliciumdioder kan klare meget højere spændinger og større strøm. Nogle typer kan tåle spændinger over 1000 V, og nogle kan tåle strømme på 1000 A. Derfor bruges siliciumdioder i stor udstrækning til ensretning af vekselstrøm.

## Mærkning af dioder

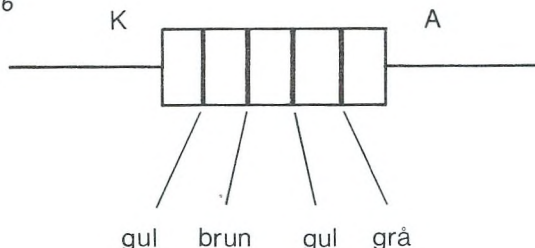
Katoden er oftest på dioden mærket med en ring, hvis farve afhænger af diodehusets farve.

1N4001 er i sort hus, og her er katoden angivet med en hvid ring.

Fig. 75



Fig. 76



I de senere år er nogle komponentfabrikker gået over til at mærke dioder med flerfarvede ringe. Philips mærker dioden 1N4148 således (fig. 76).

Som det fremgår af tegningen, er det farvekoden for modstande, der er anvendt til at give „4148“.

## Zenerdioden

Hvis spændingen i spærreretningen over en diode bliver for stor, kan dioden ikke længere spærre, men der vil gå stor strøm gennem den, og den kan ødelægges. Dette kaldes *zener-effekten* og udnyttes i specielle dioder – *zenerdioder*.



Zenerdioder

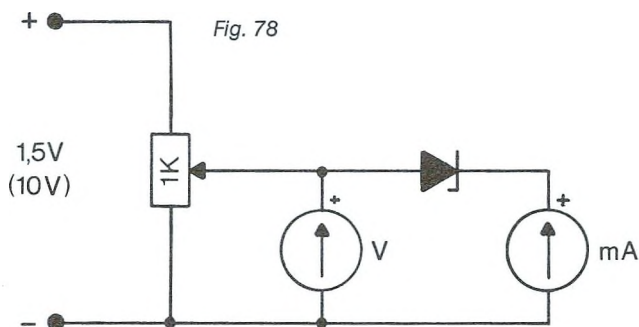
Symbolet for zenerdioden ser således ud (fig. 77):

Fig. 77



Zenerdioden er opbygget således, at den kan tåle stor strøm i spærreretningen. Ved at tegne zenerdiodens karakteristik får vi mange oplysninger om den.

Vi danner samme opstilling som ved tegning af diodens karakteristik (fig. 78).



Som for dioderne AA119 og 1N4148 dannes en tabel over sammenhørende værdier af spænding og strøm i lederetningen. Den valgte diode (BZX79-C7V5) tåler en strøm i lederetningen på 250 mA.

Når zenerdioden forspændes i spærreretningen, går der, som ved 1N4148, ingen strøm, og spændingen over potentiometret forøges til 10 V. Spændingen over dioden kan nu varieres fra 0 – 10 V. Til måling af strøm i spærreretningen indsættes et amperemeter med fuldt udslag ved 50 mA.



Fig. 79

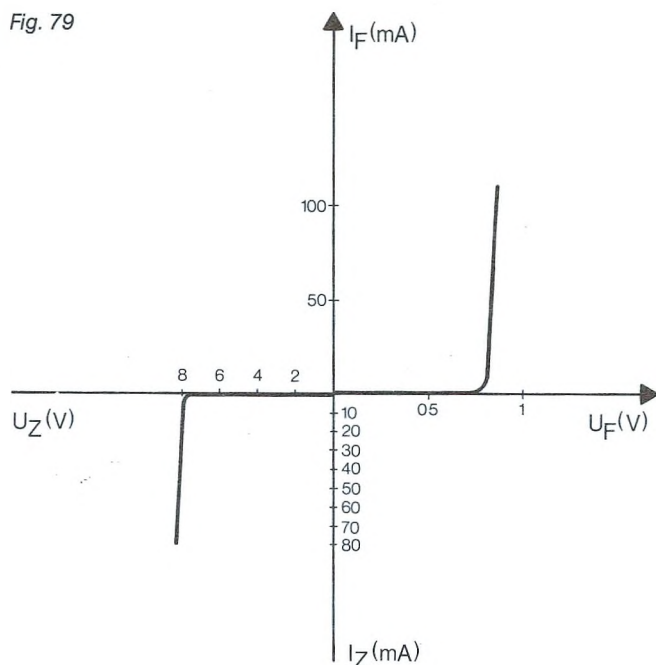


Fig. 80

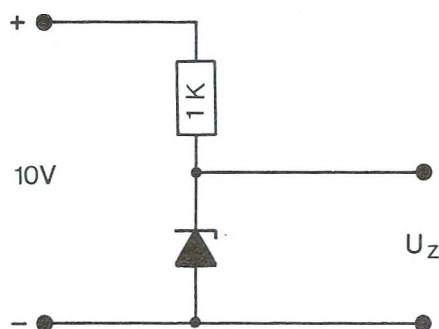
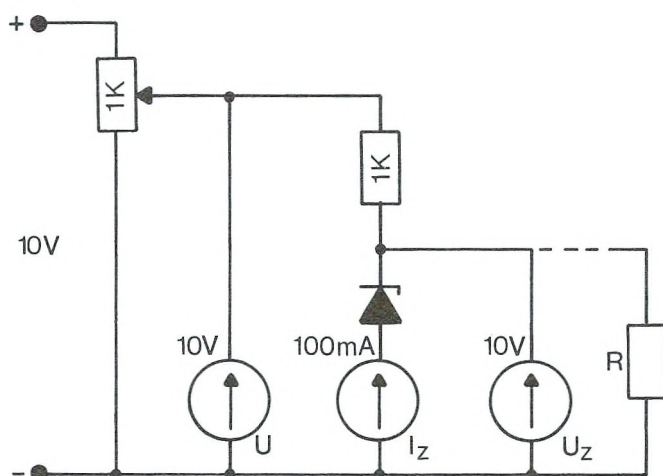


Fig. 81



Når spændingen i spærreretningen nærmer sig 7,5 V, begynder der at gå strøm i spærreretningen. Den maksimale strøm i spærreretningen ( $I_Z$ ) for den valgte zenerdiode er 40 mA. Overskrides denne grænseværdi, kan dioden ødelægges.

Zenereffekten kan udnyttes til at stabilisere spændinger. Fig. 80 viser, hvordan zenerdioden anvendes i praksis:  $U$  = indgangsspændingen varieres fra 0 – 10 V. Når spændingen forsøger at nå over 7,5 V, begynder der at gå strøm gennem zenerdioden i spærreretningen. Derved begrænses spændingen over den ( $U_Z$ ) til 7,5 V.  $U_Z$  holdes således konstant 7,5 V ved højere indgangsspændinger. Når indgangsspændingen er under 7,5 V, virker zenerdioden som en almindelig diode i spærreretning, og den spændingsstabiliserende virkning ophører.

I fig. 81 kan  $U$  varieres med et potentiometer som spændingsdeler. Op til 7,5 V viser  $U$  og  $U_Z$  det samme. Når  $U$  bliver højere end 7,5 V, forbliver  $U_Z$  netop 7,5 V, og vi vil se, at der med højere indgangsspænding går større zenerstrøm ( $I_Z$ ).

Ved at belaste udgangen med en modstand på 10K, holdes  $U_Z$  stadig konstant.

Hvis der belastes med en modstand på 1K, falder  $U_Z$ . Vi er nu kommet ud over zenerdiodens arbejdsområde.

I praksis bruges zenerdioder ofte i stabiliserede strømfor- syninger i forbindelse med transistorer. I sådanne opstil- linger vil en zenerstrøm på 40 mA være tilstrækkelig. BZX79 serien omfatter zenerdioder med zenerspændinger fra 4,7 V til 75 V og med en effekt på 0,4 W.

BZX61 serien går fra 7,5 V til 75 V og med en effekt på 1,3 W.

ZF7,5 (ITT) svarer til BZX79 – C7V5 (Philips).

ZD7,5 kan klare en zenerstrøm på 140 mA. Hvis den forsynes med en køleplade af aluminium på 10cm×10 cm, må  $I_Z$  være 1 A.

## Lysdiode-LED

En af de specielle diodetyper, der har vundet meget stor udbredelse de senere år, er lysdioden.

Når en sådan forspændes i lederetningen, og der går strøm igennem den, udsender den lys.

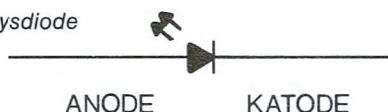
(LED = Light Emitting Diode).

De første typer afgav alle rødt lys, men den moderne teknologi har nu udviklet lysdioder i mange forskellige



farver. En speciel type lyser med én farve, når den forspændes i den ene retning, og lyser med en anden farve, når den forspændes i den anden retning.

Fig. 82  
Symbol for lysdiode



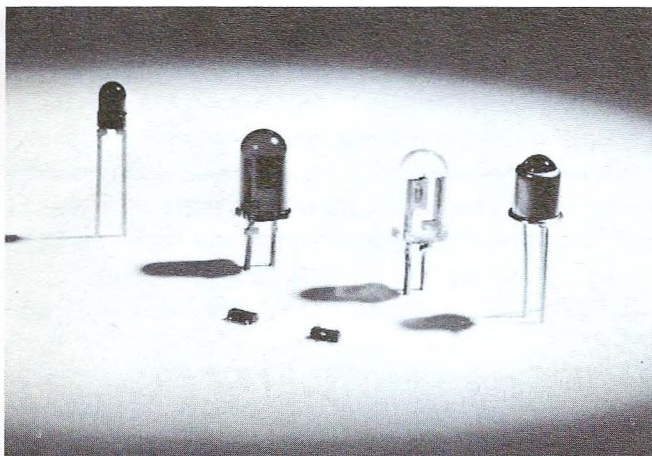
CQY24 (Philips) er et eksempel på en rød LED.

Maksimal spænding over den er 2 V, maksimal strøm 50 mA. Hvis LED skal tilsluttes 9 V, sættes en fast modstand i serie med den. Man skal ikke lade den arbejde med maksimale data. Den giver et tilstrækkeligt lys fra sig, hvis der arbejdes med en spænding på 1,5 V og en strøm på 20 mA.

Ved hjælp af Ohms lov kan så resistansen beregnes.

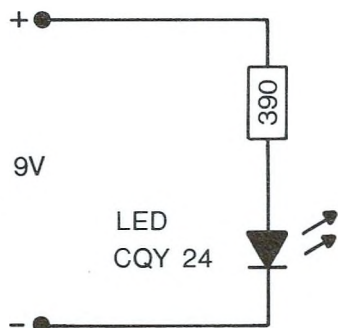
$$R = \frac{U_v - 1,5 \text{ V}}{0,020 \text{ A}} = \frac{7,5}{0,02} = 375 \Omega$$

Der vælges en modstand på 390 R.



Lysdioder

Fig. 83



## Kapacitetsdiode

En kapacitetsdiode har den egenskab, at når den påtrykkes en spænding i spærreretningen, virker den som en kondensator. Hvis spændingen over den ændres, ændres diodens kapacitans også.

Med en variabel spænding virker dioden som en variabel kondensator, og som sådan finder den stor udbredelse. Hvor man i radiomodtagere før benyttede store drejekondensatorer, kan man nu bruge kapacitetsdioder. Med et potentiometer reguleres spændingen over dioden og dermed bølgelængden, man vil lytte på.

BA102 er en kapacitetsdiode. Ved at ændre spændingen over den fra 1 V til 20 V, ændres dens kapacitans fra 50 pF til 15 pF.

## Halvledere

For at forstå, hvad der sker i dioden, må vi se nærmere på, hvordan den er opbygget.

Dioder kan fremstilles af grundstofferne germanium og silicium.

Under afsnittet „modstand“ talte vi om ledere – stoffer, der kan lede den elektriske strøm – og isolatorer – stoffer, der ikke kan lede den elektriske strøm. Det må være væsentligt at få fastslået, hvad der er skyld i, at ét stof kan lede den elektriske strøm og et andet ikke.

Alle stoffer er opbygget af *molekyler*. Et molekyle er den mindste del af et stof, der kan bestå.

Molekylerne er igen bygget op af mindre enheder, *atomer*. For grundstofferne, hvoraf der findes ca. 90 i naturen, gælder det, at molekylerne er bygget op af ens atomer.

Det simplest opbyggede atom er brintatomet.

Det består af en positivt ladet kerne. Uden om den kredser en negativt ladet elektron.

Elektronens masse er  $\frac{1}{2000}$  af kernens masse. Deres elektriske ladninger er lige store med modsat fortegn. Hvis kernen har ladningen +1 har elektronen ladningen -1. Et atom er således uelektrisk, da ladningerne ophæver hinanden.

Hvis elektronen fjernes, bliver atomets ladning positiv. Der er underskud af negativ elektricitet. Atomet kaldes nu en ion (positiv).

Et brintatom påvirkes ikke af et elektrisk felt. Det gør derimod en brintion. Den tiltrækkes af den negative elektrode.



Det næste stof i rækken efter brint hedder helium. Det er som brint en luftart. Kernen har ladningen  $+2$ , og i en „skal“ uden om kernen kredser 2 elektroner.

Fig. 84

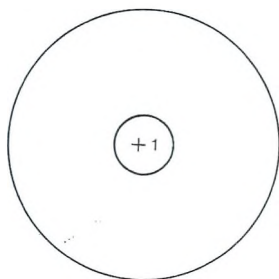
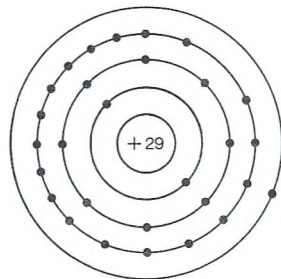


Fig. 85



Atomerne er således bygget op af positivt ladede kerner og negativt ladede elektroner, der kredser uden om kernen i én eller flere skaller.

Kobber har nr. 29 i grundstofrækken. Kobberatomet er bygget op som vist i fig. 85 med en kerneladning på  $+29$  og 29 elektroner i fire skaller.

I den første skal kredser 2 elektroner. I den anden skal er der 8 elektroner, i den tredje 18, og i den fjerde og yderste skal kredser 1 elektron.

Elektronen i yderste skal er meget løst bundet til kernen, og dette forhold bevirker, at kobber leder den elektriske strøm.

Hvis en kobbertråd, hvori der er millioner af løstsiddende elektroner, forbindes til en strømkilde, vil der kunne transporteres en stor strøm.

Når kobbertråden forbindes fra plus til minus, vil de løse elektroner vandre over mod plus, hvor der er underskud af elektroner. Elektroner fra minus, der har overskud af elektroner, vil vandre ind og opfylde de forsvundne elektrons plads.

Det, der betinger, at et stof er en god leder, er, at der er mange løse elektroner. Jo færre løse elektroner, jo større resistans yder stoffet over for den elektriske strøm.

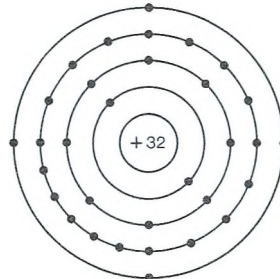
Findes der ingen løse elektroner, er stoffet en isolator.

Der findes en gruppe grundstoffer, der har meget få løse elektroner. Deres ledeevne er så ringe, at de ikke kan kaldes ledere. På den anden side er det heller ikke isolatorer. Derfor kaldes gruppen *halvledere*. Til halvlederne hører germanium og silicium.

## Germaniumkrystal

Germaniumatomet er opbygget således (fig. 86):

Fig. 86



Det er nr. 32 i rækken af grundstoffer.

Da det kun er de yderste elektroner, der interesserer os, vil vi tegne germaniumatomet således (fig. 87):

Fig. 87



Et stykke rent germanium er opbygget af germaniumatomer, der sidder i et krystalgitter. Det er mest overskueligt at tegne det todimensionalt (uden dybde).

Ved det absolutte nulpunkt,  $-273^\circ$ , ser krystallet ud som fig. 88.

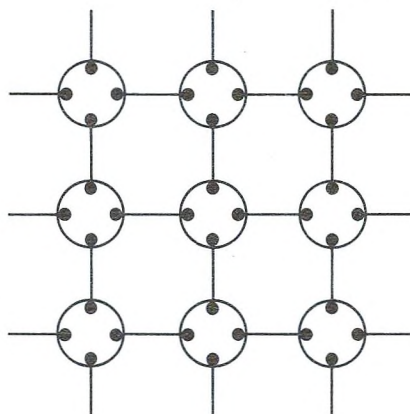


Fig. 88

Elektronerne kredser ikke blot om deres „egen“ kerne, men bevæger sig over om nabokernen.

Ved højere temperaturer forøges elektronernes hastighed, og en elektron kan få så stor en hastighed, at den slynges ud af sin bane og bliver til en fri elektron.

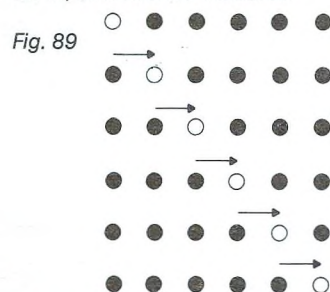


På elektronens plads bliver der nu et „hul“. Da det pågældende atom har mistet en elektron og dermed negativ elektricitet, er der ikke længere balance, men der bliver i atomet overskud af positiv elektricitet. Vi siger, at der er dannet et positivt hul.

Jo højere temperaturen bliver, jo flere frie elektroner og huller bliver der. Stoffet bliver en bedre leder.

Dette kaldes *termisk generation*.

Når der er opstået et hul, kan det opfyldes af en fri elektron fra et andet atom. Dette kaldes *rekombination*. Herved er der opstået et nyt hul. Det udfyldes af en tredje elektron, og selv om det er elektronerne, der skifter plads, ser det ud til, at hullerne vandrer.



Første række viser situationen nu. Anden række viser „stillingen“ et øjeblik senere, osv.

Elektronvandringen går til venstre. Hullerne vandrer til højre.

Hvis et germaniumkrystal tilsluttes en spændingskilde, vil der gå en lille strøm igennem det. Jo højere temperaturen bliver, jo større er strømmen, men på intet tidspunkt bliver strømmen så stor, at man kan kalde germanium for en leder.

Hvis spændingen over krystallet bliver for høj, vil elektronhastigheden blive så stor, at strukturen ødelægges.

### Forurening af germanium

Germanium kan forurenes med et andet grundstof, så antallet af frie elektroner og frie huller forøges. Der skal tilføres grundstoffer med tre eller fem elektroner i yderste skal.

Indium og aluminium har tre elektroner i yderste skal. Hvis germaniumkrystallet forurenes med et indiumatom (fig. 90), får vi et frit hul. Det vil hurtigt opfyldes af en elektron fra et naboatom. Germanium forurenet med Indium er en god leder. Da der er overskud af huller, kaldes det et P-krystal. (P = positiv).

Ved tilslutning til en strømkilde vil hullerne vandre mod minus. Her fyldes de med elektroner – rekombination. Elektronerne vandrer mod plus (fig. 91).

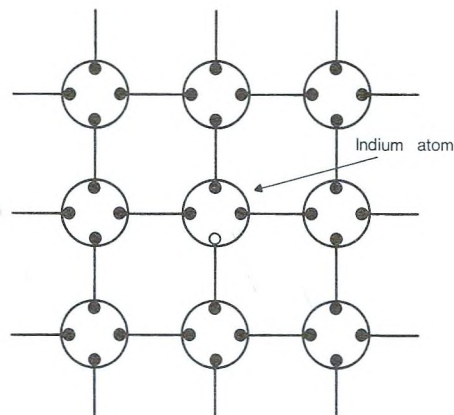


Fig. 90

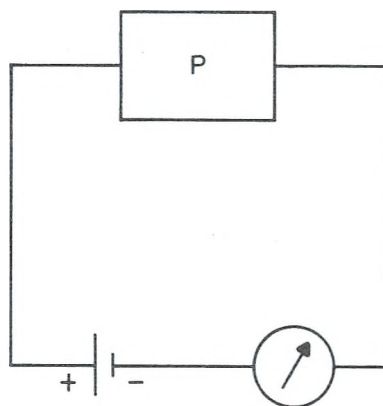


Fig. 91

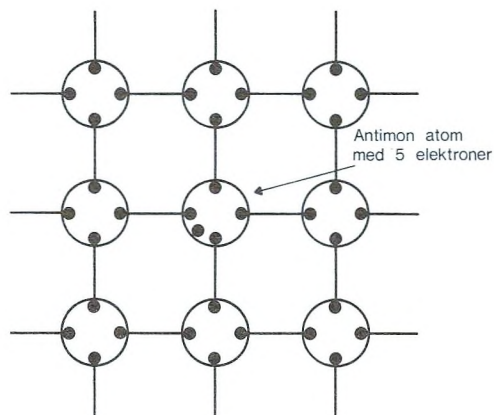


Fig. 92



Fig. 93

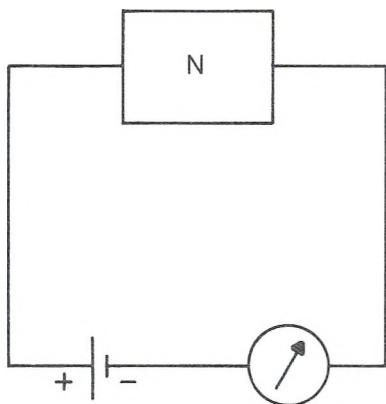


Fig. 94

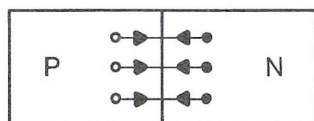


Fig. 95

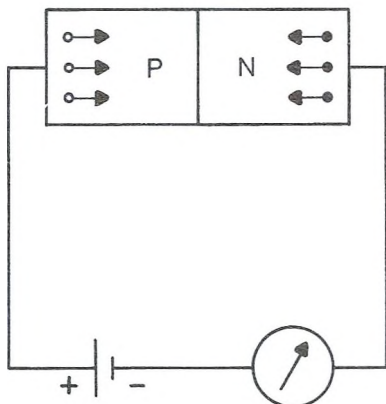
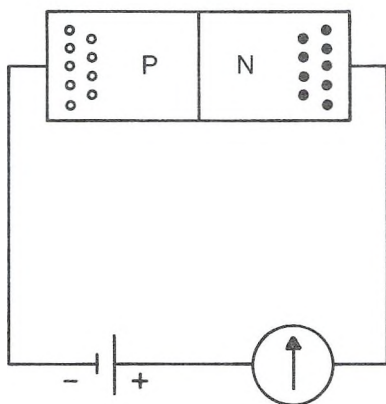


Fig. 96



På lignende måde kan et germaniumkrystal forurenes med et grundstof med fem elektroner i yderste skal (fig. 92). Det kan være grundstoffet antimon.

Der kommer en fri elektron. Da den er negativt ladet, kaldes krystallet et N-krystal. Hvis N-krystallet tilsluttes en spændingskilde, vil det lede den elektriske strøm.

## PN-krystallet

Både P-krystaller og N-krystaller er uelektriske. Der er stadig ligevægt mellem kerneladning og elektronladning, efter at krystallet er blevet forurenet.

Hvis et P-krystal og et N-krystal sættes sammen, vil der fra N-krystallet ske en vandring af elektroner over mod P-krystallet. Herfra vandrer der huller mod N-krystallet, og i grænsezonen mellem de to krystaller, vil der ske en rekombination (fig. 94).

Man kunne nu forvente, at elektronerne fra N-krystallet fyldte alle hullerne i P-krystallet. Det sker ikke. Fra starten er begge krystaller uelektriske. Når der fra N-krystallet vandrer elektroner, bliver der underskud af elektroner, og krystallet bliver positivt ladet. Når det er positivt, er det i stand til at holde på de negative elektroner og frastøde de positive huller.

Hos P-krystallet sker noget lignende. Det bliver ved hullernes vandring negativt elektrisk og kan så fastholde sine huller og frastøde elektronerne fra N-krystallet. Det vil sige, at der kun sker en rekombination, til der er dannet en grænsebarriere.

Tilsluttes det dannede PN-krystal en strømkilde med P til plus og N til minus, får krystallet fra strømkilden tilført nye huller og nye elektroner, og der vil gå en kraftig strøm gennem det (fig. 95).

Fra minus tilføres elektroner, der rekombineres med huller fra plus.

Batteriet tilsluttes nu omvendt (fig. 96).

Der går ikke strøm gennem krystallet. Hullerne fastholdes endnu bedre ved P og elektronerne ved N. Et PN-krystal er en diode.

I idealdiode er resistansen i lederetningen nul og i spærreretningen uendelig. En sådan kan ikke fremstilles.

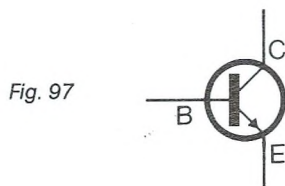


## Transistoren

Den vigtigste halvleder i elektronikken er transistoren. Den kan være fremstillet af germanium eller silicium. Germaniumtransistorer har i typebetegnelsen A som første bogstav, siliciumtransistorer B som første bogstav.

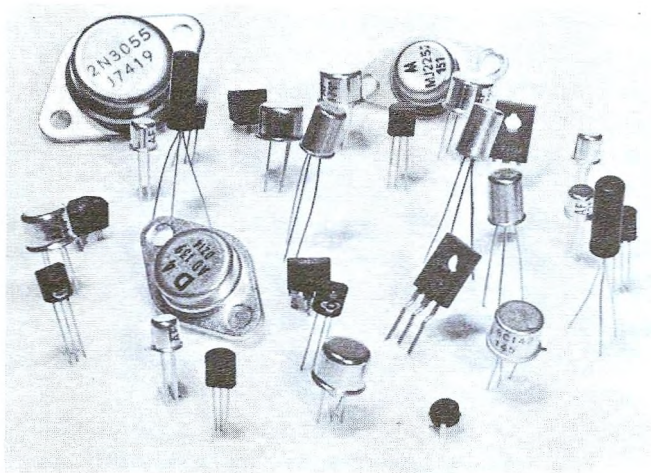
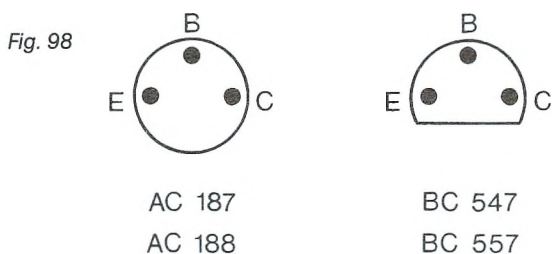
Typiske eksempler på de to typer er AC187 og BC547. De er begge NPN-transistorer. (Betydningen heraf belyses senere).

Symbolet for NPN-transistoren ser således ud (fig. 97):



På billedet ses mange forskellige transistorer i forskellig indpakning. Det er transistorer fremstillet til forskellige formål og med forskellige egenskaber.

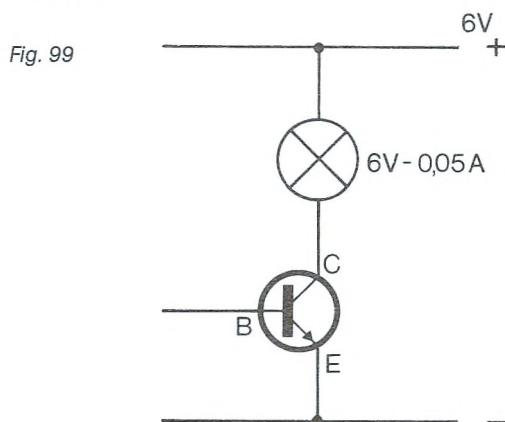
Vi vil først se på AC187.



Forskellige transistorer

Transistorhuset er for AC187 en metalcylinder. Fra bunden af cylinderen kommer tre tilledninger ud. De benævnes med emitter (E), basis (B) og kollektor (C). På fig. 98 vises placeringerne af E, B og C for AC187.

På metalhuset er transistorens typenummer påtrykt, og en blå prik angiver kollektors placering. Det er dog kun for transistorer med dette hus, man angiver kollektor med en prik. I andre tilfælde må man se i et katalog, hvor E, B og C er placeret. En tegning her vil vise transistoren set fra bunden.



Det er vigtigt, at transistorens tilledninger vendes rigtigt, da en forkert forbundet transistor ofte betyder en „afbrændt“ transistor.

Vi skal prøve at danne en opstilling med en transistor i et elektrisk kredsløb. Transistoren kan være AC187, BC547 eller lignende NPN-transistor.

Ved at se på transistorens symbol dannes opstillingen i fig. 99. Kollektor er gennem en glødelampe (6 V – 0,05 A) forbundet til plus på et batteri (eller anden spændingskilde), emitter er forbundet direkte til minus. I symbolet viser pilen strømmens retning gennem transistoren.

Glødelampen lyser ikke, og det fortæller os, at der ikke går strøm gennem transistoren.

Tilledning B (basis) er ikke tilsluttet, så denne tilledning forbindes til plus på et 1,5 V element gennem en modstand på 1K (for at begrænse strømmen). Minus på elementet tilsluttes emitter (fælles minus).

Nu lyser glødelampen helt op, og det fortæller os, at der går en strøm på 50 mA gennem transistoren.

Så snart basisspændingen afbrydes, ophører strømmen gennem transistoren. Vi kan med basisledningen styre strømmen gennem transistoren.

Vi bytter nu om på tilledningerne til basiselementet. Der går nu ikke strøm gennem transistoren.



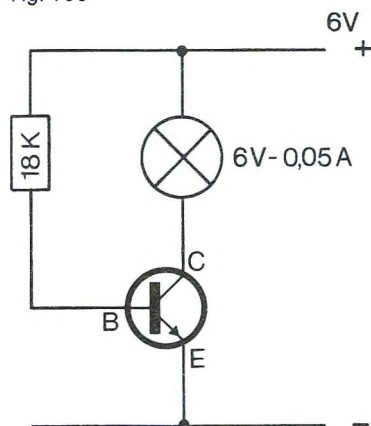
For at vise, hvor lille spænding der skal til at styre en germaniumtransistor, dannes et galvanisk element af en kobberplade og en zinkplade. Pladerne renses med ståluld, og mellem dem lægges et stykke trækpapir, der har været dyppet i en saltvandsopløsning.

Kobberpladen forbindes til basis og zinkpladen til emitter på transistoren. Glødelampen i kollektor lyser som tegn på, at dette element leverer tilstrækkelig strøm til at lukke transistoren op.

Som kobberplade kan en femøre bruges, som zinkplade en gammel zink tørr.

Både germaniumtransistorer og siliciumtransistorer kan arbejde med én spændingskilde. Kollektor og emitter er forbundet som før. Fra basis forbindes en modstand på 18K til plus.

Fig. 100



Glødelampen vil nu lyse. Transistoren får tilstrækkelig basisstrøm gennem 18K modstanden.

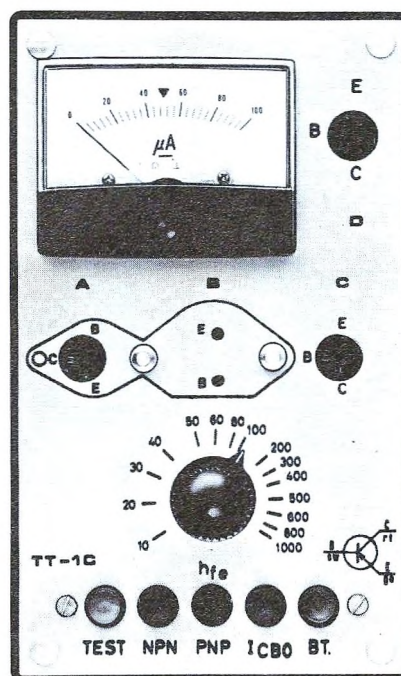
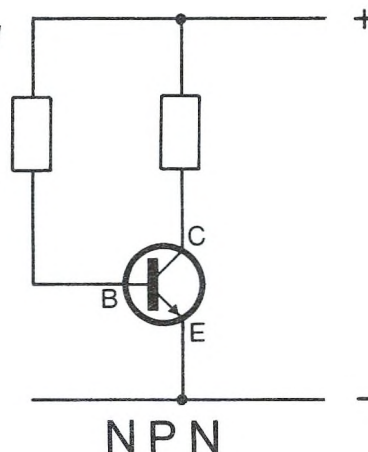
I stedet for modstanden kan man også prøve at sætte en finger på basis og én på plus. Glødelampen vil måske lyse svagt afhængig af, hvor nervøs man er for dette forsøg. Hvis man så fugter fingrene i vand og prøver igen, vil glødelampen lyse helt op.

### Tilslutning af en transistor

For at en transistor skal kunne arbejde, har vi gennem de foregående forsøg set, at kollektor gennem en modstand (glødelampen) skal forbindes til plus, emitter til minus. Transistoren vil så lukke op, hvis der kommer en (lille) positiv spænding på basis.

Måler vi basis-emitterspændingen,  $U_{BE}$ , vil den for germaniumtransistorer være ca. 0,2 V og for siliciumtransistorer ca. 0,7 V.

Fig. 101



Transistortester

### NPN transistorer – PNP transistorer

Den transistortype, vi har arbejdet med, har været af NPN typen.

På fig. 102 ses symbolet for en PNP transistor.

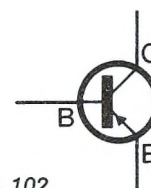


Fig. 102

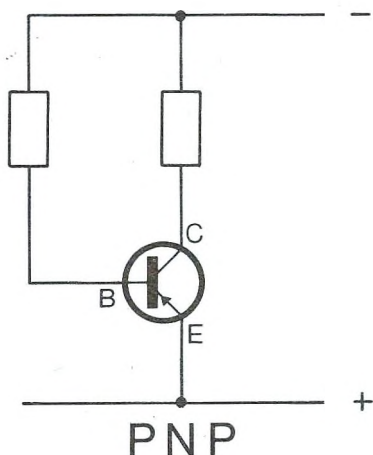


Symbolet er det samme som for NPN transistoren, blot peger pilen nu mod basis. Det fortæller os, hvordan transistoren skal sluttes til en spændingskilde. Strømmen skal følge pilens retning og gå fra emitter til kollektor. Det vil sige, at en PNP transistor skal polariseres modsat en NPN transistor med kollektor til minus og emitter til plus.

De øvelser, vi hidtil har udført med NPN transistorer, kan også udføres med PNP transistorer, blot tilledningerne til spændingskilden byttes om.

PNP transistorer svarende til de benyttede NPN typer kan være AC188 og BC557.

Fig. 103

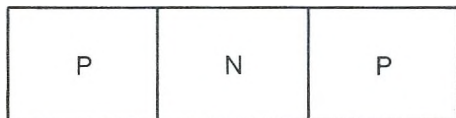


## Transistorens virkemåde

Som vi undersøgte, hvad der egentlig skete i en diode, vil vi også se nærmere på transistoren. Dens virkemåde er mere kompliceret.

Den er opbygget af tre krystaller, ét P-, ét N- og ét P-krystal. De er sammensat som vist på fig. 104. Det er en PNP transistor.

Fig. 104



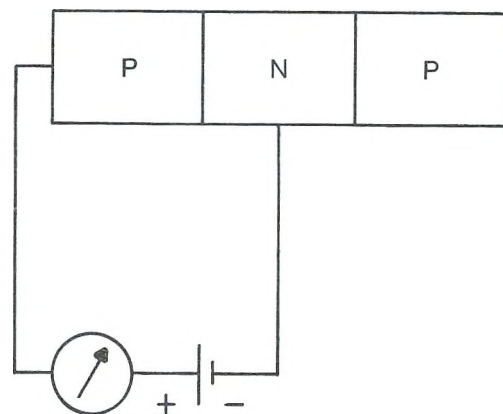
Når krystallerne sammensættes, vil der, hvor N-krystallet grænser op til de to P-krystaller, som ved dioden dannes grænsebarrierer – PN-overgange.

Sættes der spænding på den første PN-strækning i lederetningen, vil der gå strøm (fig. 105). Fra batteriets positi-

ve pol udsendes der huller, der fra P-laget trænger over grænselaget ind i N-laget, hvor der sker rekombination.

Det er en diode forspændt i lederetningen.

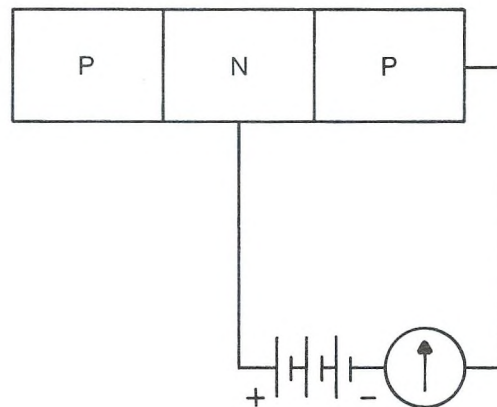
Fig. 105



Strømmen afbrydes, og over NP-strækningen tilsluttes spænding i spærreretningen (fig. 106).

Der går som ventet ingen strøm. Det er en diode forspændt i spærreretningen.

Fig. 106



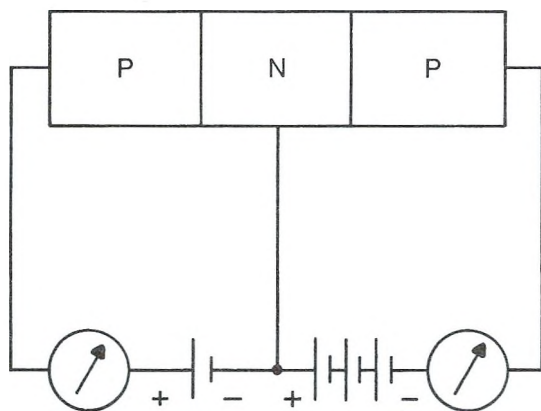
Der tilsluttes nu spænding over PN-strækningen i lederetningen og NP strækningen i spærreretningen samtidig.

Der går strøm i PN-strækningen. Fra batteriets positive pol udsendes der huller, der vandrer ind i N-laget. Her rekombineres nogle huller, men den største part bliver tiltrukket af P-laget og fortsætter gennem det og rekombinerer med elektroner ved det andet batteris negative pol. Der går strøm i NP-strækningen. Jo tyndere N-laget er, jo flere huller vil nå igennem det og rekombinere i P-laget.

Det er en transistor.

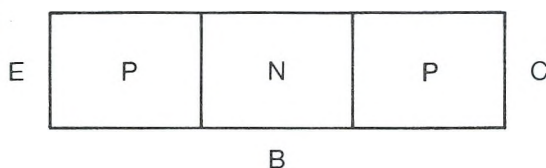


Fig. 107



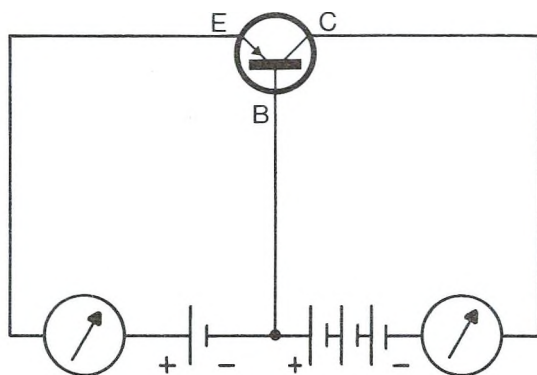
Det første P-krystal er emitter, N-krystallet er basis, og P-krystallet er kollektor. Navnene er engelske. „*Emitter*“ betyder „*at udsende*“. Herfra udsendes hullerne. „*Basis*“ betyder „*grundlag*“. Det er grundlaget, hvorover transistoren er opbygget. „*Collect*“ betyder „*at indsamle*“. I kollektor indsamles hullerne – de rekombinerer.

Fig. 108



Symbolet for transistoren bliver nu mere logisk. Pilen på emitter angiver den vej, hullerne går gennem transistoren.

Fig. 109



## NPN-transistoren

NPN-transistoren virker på samme måde. Den er, som navnet siger, bygget op af ét N-, ét P- og ét N-krystal.

Når der tilsluttes spænding, skal batterierne vendes modsat af, som de vendte ved PNP-transistoren. Der skal negativ spænding på emitter. Kollektor og basis skal have positiv spænding.

Fig. 110

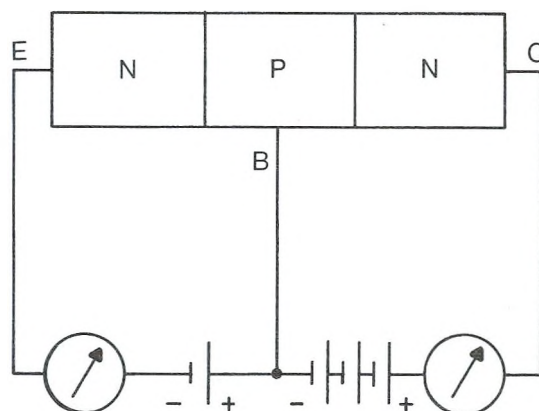
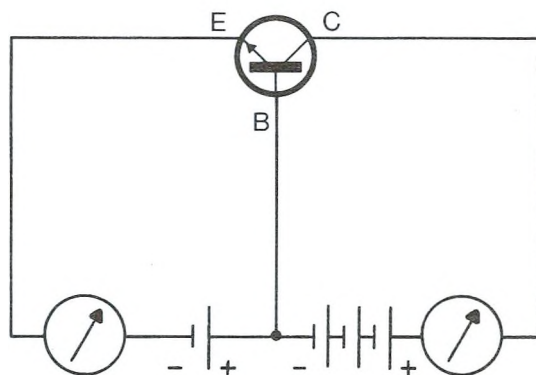


Fig. 111



## Jordet emitter kobling

På fig. 112 vises den almindeligste transistorkobling, der kaldes jordet emitter, fordi emitter er forbundet til stel. Fra emitter udsendes huller, der næsten alle når kollektor, da basislaget er meget tyndt. Kun få rekombinerer i basislaget.

Strømmen af huller styres af basisstrømmen. Herfra sendes til stadighed elektroner ind i basislaget, og de erstatter de elektroner, der går tabt ved rekombination. Når basislaget får alle de elektroner, det kan opsuge, vil størst



Fig. 112

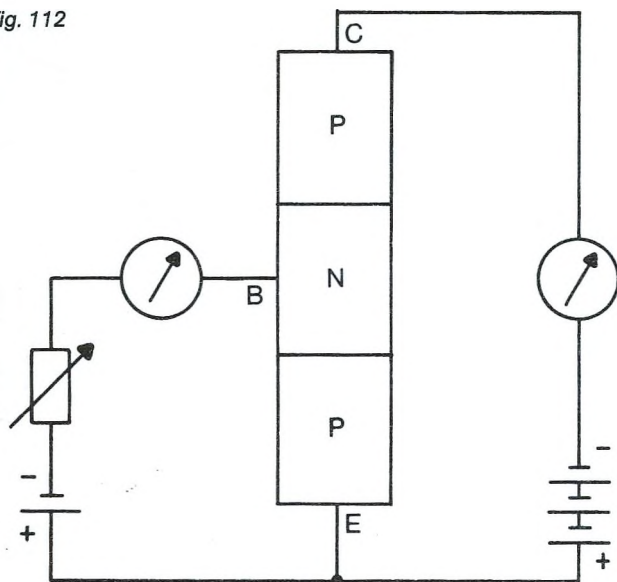
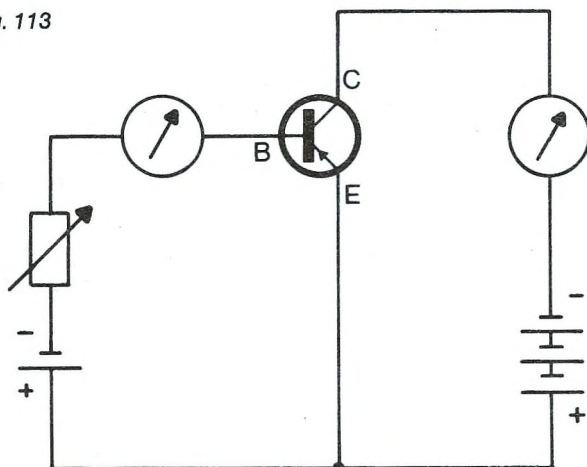


Fig. 113



muligt antal huller nå fra emitter til kollektor. Der går maksimum strøm gennem transistoren.

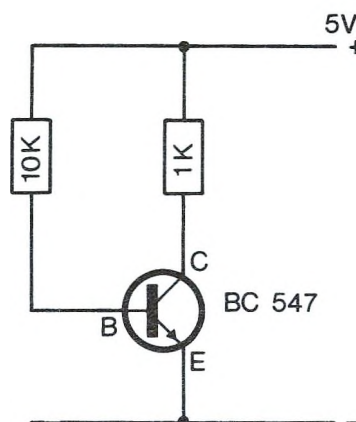
Hvis basisstrømmen afbrydes, vil der ikke længere tilføres nye elektroner. De elektroner, der er i basislaget, vil hurtigt rekombinere med huller fra emitter. Herved bliver basislaget positivt ladet, og al strøm gennem transistoren ophører.

## Transistoren som switch

### Siliciumtransistor

Vi vil måle på en transistoropstilling og opbygger opstillingen vist i fig. 114.

Fig. 114

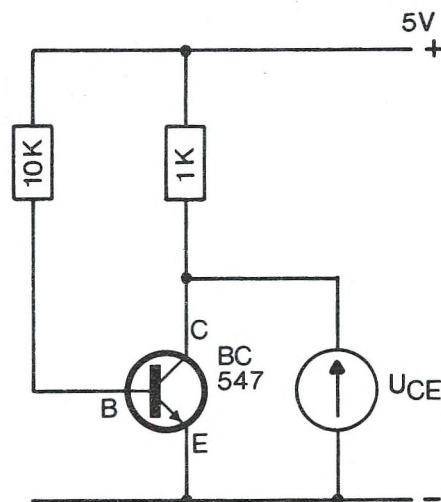


Kollektor på transistoren (BC547) er gennem en modstand (1K) tilsluttet +5V, og emitter er tilsluttet minus direkte. Basis er gennem en modstand (10K) tilsluttet plus.

Transistoren arbejder nu, dvs. at en tilstrækkelig basisstrøm sørger for, at transistoren er lukket op, at der går strøm i kollektor. Vi siger, at transistoren er ON.

Der kan nu med et voltmeter eller oscilloskop måles på transistoren.

Fig. 115



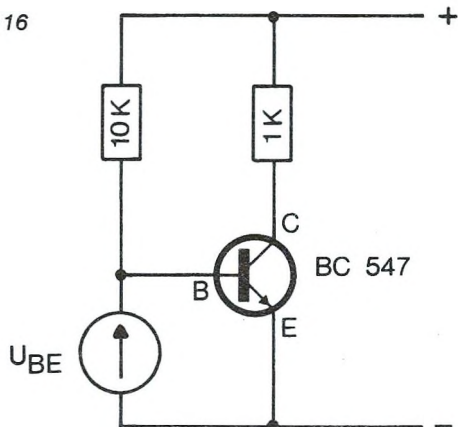
Voltmetret tilsluttes kollektor og emitter som vist på fig. 115. Vi måler herved spændingsfaldet over kollektor-emitterstrækningen. Den betegnes  $U_{CE}$ .  $U_{CE}$  er næsten nul volt (0,05 V).

Herefter måles spændingsfaldet over basis-emitterstrækningen –  $U_{BE}$ . (Fig. 116).

$U_{BE}$  er ca. 0,7 V.

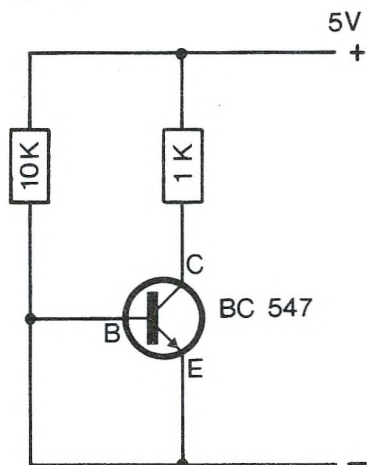


Fig. 116



Nu forbindes basis med en ledning til emitter. Transistoren får så ikke længere en positiv spænding på basis, og der går ikke strøm gennem transistoren (fig. 117).

Fig. 117



Når der ikke går strøm gennem transistoren, siger vi, at den er OFF.

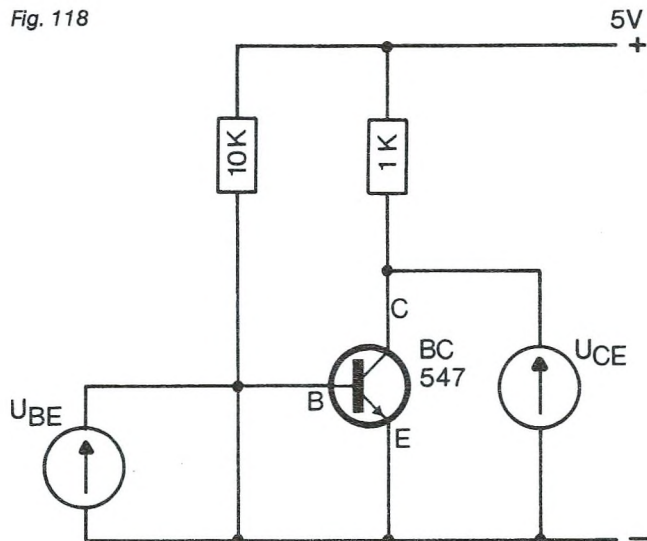
Vi måler igen  $U_{CE}$  og  $U_{BE}$ . (Fig. 118).

$U_{CE}$  er nu lig den spænding, opstillingen er tilsluttet, 5 V. Da der ikke går strøm gennem kollektormodstanden, er der ikke noget spændingsfald over den.

$U_{BE}$  er lig med 0 V.

Når transistoren bliver OFF stiger  $U_{CE}$  til den fulde tilslutningsspænding.

Fig. 118



### Transistoren ON/OFF

Transistoren kan således være ON (engelsk for i „funktion“) eller OFF (ikke i funktion), og dette kan konstateres ved at måle  $U_{CE}$ . Er  $U_{CE}$  mindre end tilslutningsspændingen, er transistoren ON. Er  $U_{CE}$  lig tilslutningsspændingen, er transistoren OFF.

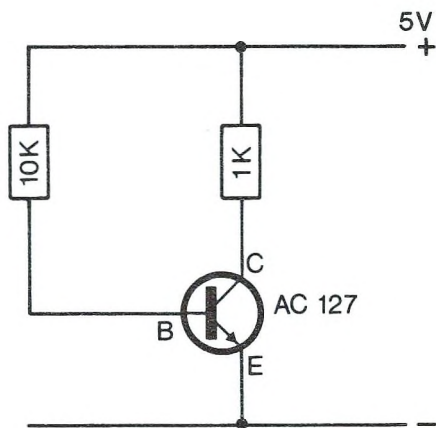
Med basis kan vi styre transistoren, så der er høj eller lav spænding på kollektor. Vi siger, at transistoren arbejder som switch – som afbryder.

Transistorens switchfunktion udnyttes meget og bliver bl.a. behandlet i „Digital Elektronik“.

### Germaniumtransistor

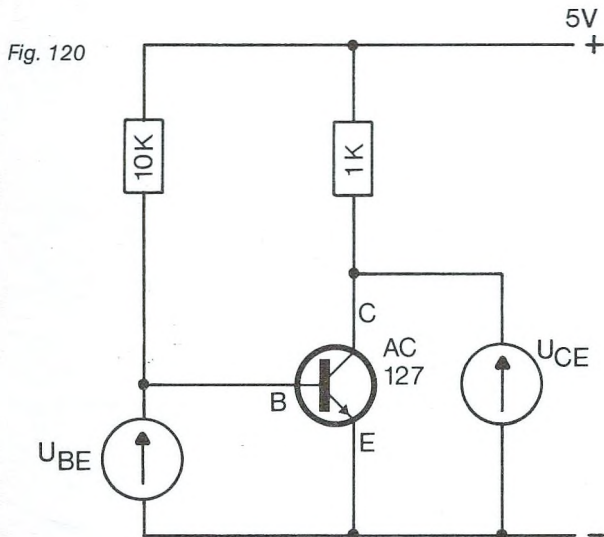
Vi udfører nu de samme målinger på en germaniumtransistor (AC127) (fig. 119).

Fig. 119





Når transistoren er ON, er  $U_{CE}$  også her ca. 0 V (0,02 V). Når transistoren bliver OFF, stiger  $U_{CE}$  som ved siliciumtransistoren til fuld tilslutningsspænding.

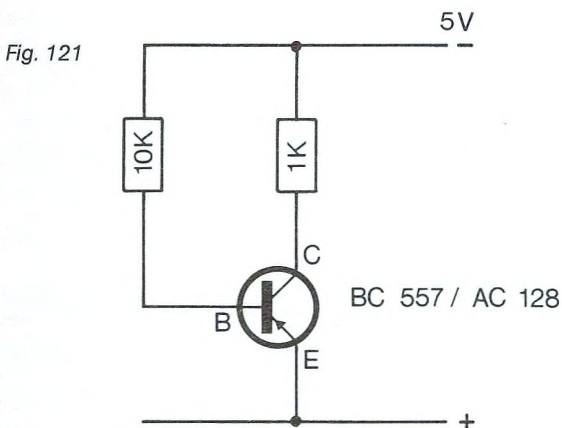


Ved ON er  $U_{BE}$  lig ca. 0,2 V.

Her ser vi en afgørende forskel på silicium- og germaniumtransistorer. Germaniumtransistorer begynder at trække strøm, når basisspændingen når op på ca. 0,2 V. Ved siliciumtransistorer skal vi helt op på ca. 0,7 V, før de begynder at trække strøm.

### Målinger på PNP transistorer

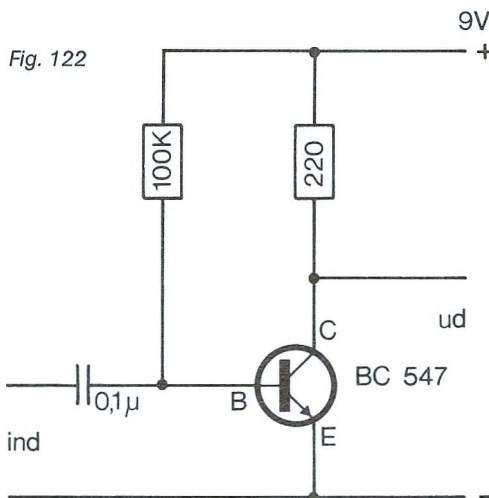
Vi har målt på transistorerne BC547 og AC127, en silicium- og en germaniumtransistor af NPN typen. De samme målinger kan udføres på PNP transistorer. Her kan vi vælge BC557 og AC128 (fig. 121).



Måleresultaterne vil blive tilsvarende måleresultaterne for NPN transistorerne, blot er spændinger modsat polariserede, da PNP transistorer har kollektor og basis til minus og emitter til plus.

### Transistoren som signalforstærker

Opstillingen i fig. 122 er identisk med den opstilling, vi havde, da vi undersøgte transistorens switch-egenskaber. Der er blot andre komponentværdier.



Vi vil sende et sinusformet signal ind på basis og måle med et oscilloskop på kollektor. En kondensator på 0,1  $\mu$ F indskydes mellem sinusgeneratoren og basis. Den spærrer for DC (jævnstrøm), men tillader vekselstrømsignalet at passere.

Vi måler først ved 1000 Hz.

Fra sinusgeneratoren lægges et 1000 Hz signal ind på basis. Med et oscilloskop måles signalet over udgangen (fig. 123).

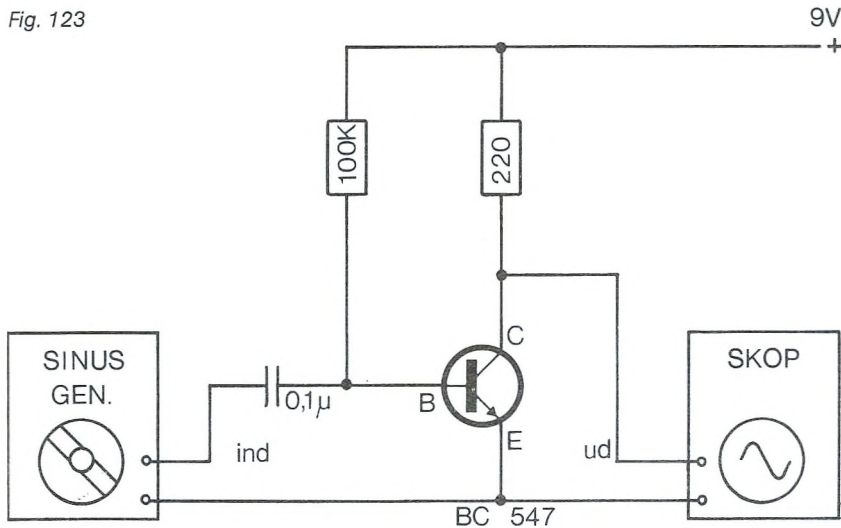
Udgangssignalets størrelse er f.eks.  $0,3 V_{SS} = 300 \text{ mV}_{SS}$ . Med oscilloskopet måles så signalet fra sinusgeneratoren. Det måles til  $10 \text{ mV}_{SS}$ .

$$U_{IND} = 10 \text{ mV}_{SS}$$

$$U_{UD} = 300 \text{ mV}_{SS}$$

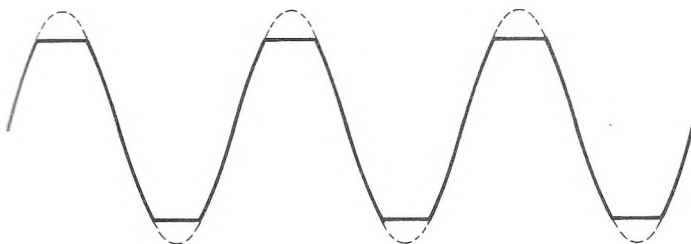


Fig. 123



Det ses, at transistoren har forstærket signalet op. *Spændingsforstærkningen* er 30 gange for den benyttede transistor. Hvis man bruger et dobbeltstråleoscilloskop, kan den ene kanal måle indgangssignal, den anden udgangssignal. Når der tilføres et for stort signal på indgangen, bliver transistoren overstyret. Det betyder, at det forstærkede signal ikke længere er sinusformet. Det bliver „klippet“. Transistoren blev i denne opstilling overstyret, da signalet kom over  $0,2 V_{SS}$  på indgangen.

Fig. 124

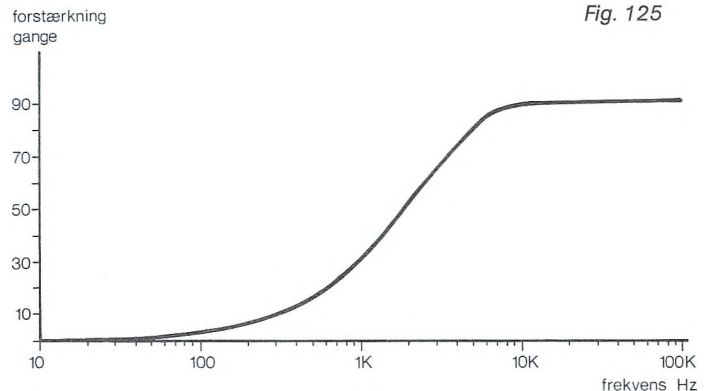


$U_{IND} = 10 \text{ mV}_{SS}$

### Frekvensgang

Vi vil nu undersøge forstærkningen ved forskellige frekvenser og beholder opstillingen fra fig. 123. Der måles signalforstærkning ved frekvenserne 10 Hz, 100 Hz, 200 Hz osv. I skemaet herunder angives tallene fra ét forsøg. Selv om man til dette forsøg benytter en tilsvarende transistor, kan man ikke forvente at få samme resultater, som vist i skemaet, da transistorer med samme typebetegnelse kan være meget forskellige.

Fig. 125



Frekvens	10Hz	100Hz	200Hz	500Hz	1kHz	1,5kHz	2kHz	3kHz	4kHz	5kHz	10kHz	20kHz	50kHz	100kHz
$U_{UD} - V_{SS}$	3	30	60	150	300	420	520	660	740	800	900	900	900	900
Forstærkning Antal gange	0,3	3	6	15	30	42	52	66	74	80	90	90	90	90

Af kurven (fig. 125) ses, at forstærkningen ved de lave frekvenser ikke er særlig stor. Først ved højere frekvenser får vi større forstærkning. Det er ikke en High-Fidelity forstærker.

Transistorens egenskaber som LF-signalforstærker bliver behandlet i bogen: „Forstærkning med elektronik“.



## Typebetegnelser for transistorer

I 1961 blev europæiske transistorfabrikanter enige om at benytte samme typebetegnelser for dioder og transistorer. Før havde hver fabrik haft sit system. Det var ønskeligt, om man kunne få en international standard typebetegnelse.

Det europæiske system er bygget op af to bogstaver efterfulgt af et serienummer, f.eks.: BC547.

### Første bogstav:

A germanium  
B silicium

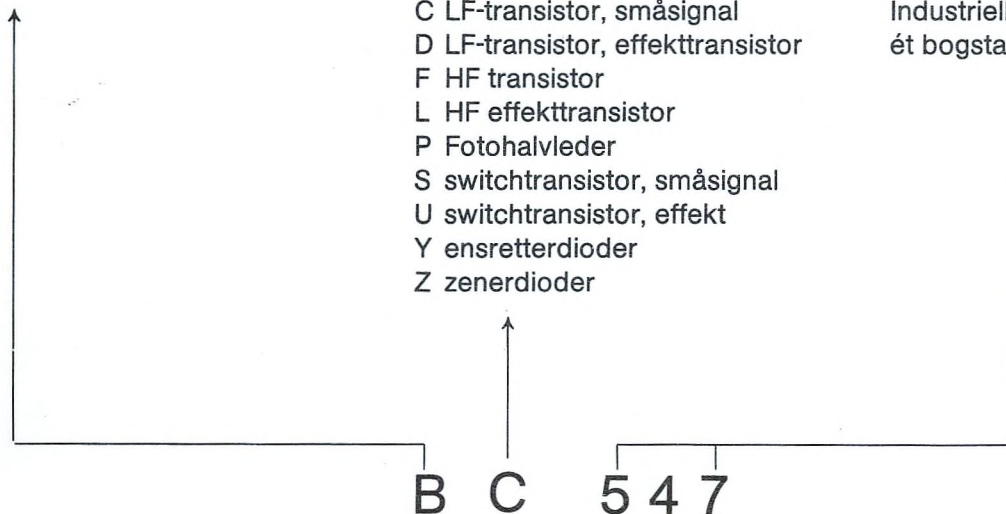
### Andet bogstav:

A diode  
B kapacitetsdiode  
C LF-transistor, småsignal  
D LF-transistor, effekttransistor  
F HF transistor  
L HF effekttransistor  
P Fotohalvleder  
S switchtransistor, småsignal  
U switchtransistor, effekt  
Y ensretterdioder  
Z zenerdioder

### Serienummer:

Normalt tre cifre.

Industrielle typer kan være med ét bogstav og to cifre.



BC 547



### Eksempler

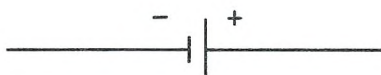
BC547: B betyder silicium, C småsignal LF transistor og 547 er serienummeret.

Amerikanske halvledere betegnes med et tal, et bogstav og et tal. F.eks. 1N4148. 1N betegner en diode, 4148 er serienummeret.

2N3055. 2N betegner, at det er en transistor, 3055 er serienummeret.



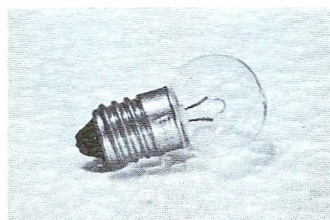
# Oversigt over symboler



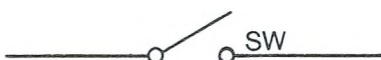
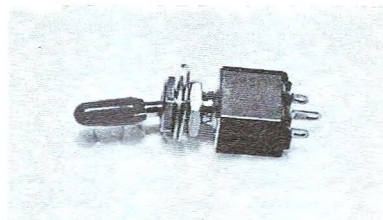
Element



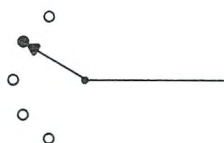
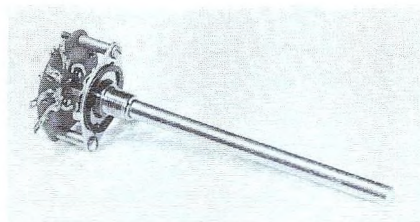
Batteri



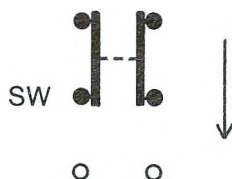
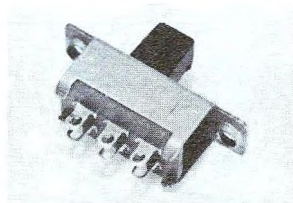
Glødelampe  
(med tilslutningsspænding  
og -strøm angivet)



Enkel afbryder



Omskifter

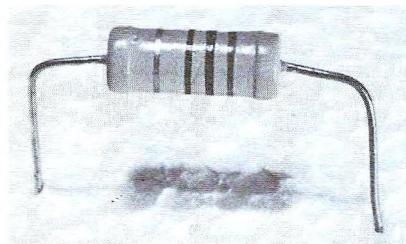


Skydeomskifter

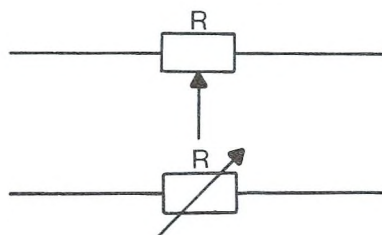
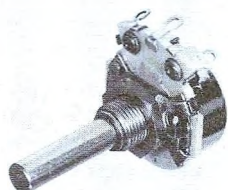




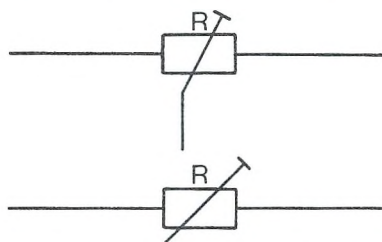
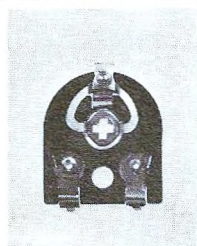
Måleinstrument.  
På diagrammet  
er måleinstrumentets art  
og maksimale arbejdsområde  
angivet



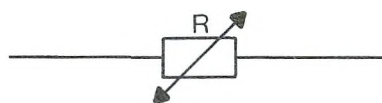
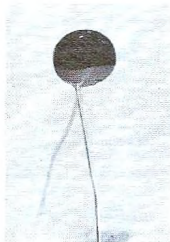
Modstand,  
almindeligt symbol



Variabel modstand,  
potentiometer



Trimmpotentiometer

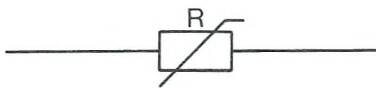
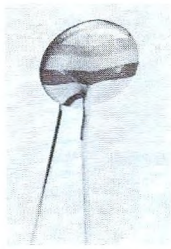


NTC eller PTC modstand

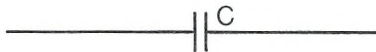


LDR modstand





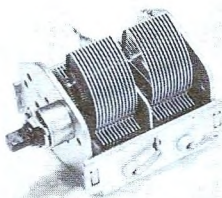
VDR modstand



Kondensator



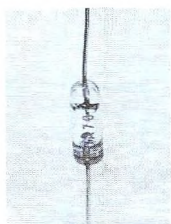
Elektrolytkondensator



Drejekondensator

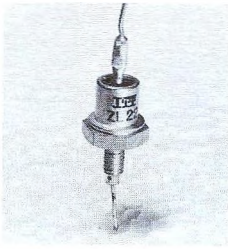


Trimmekondensator



Diode





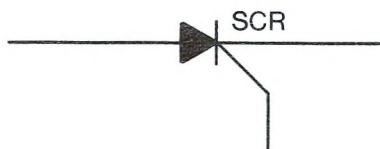
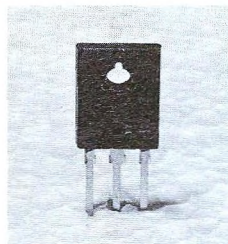
Zenerdiode



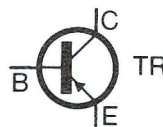
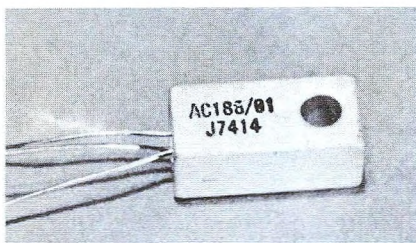
Kapacitetsdiode



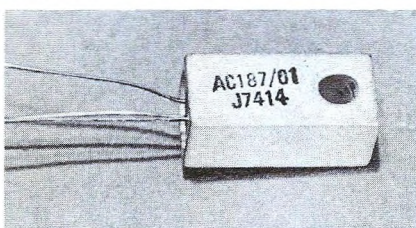
Lysdiode



Thyristor

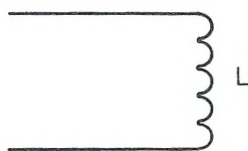


PNP transistor

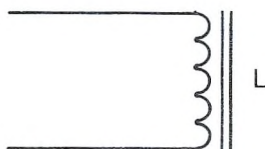
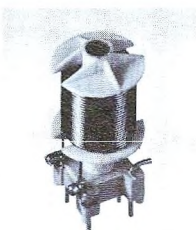


NPN transistor

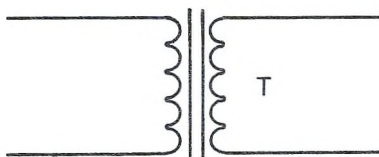
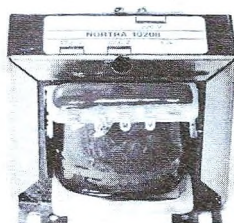




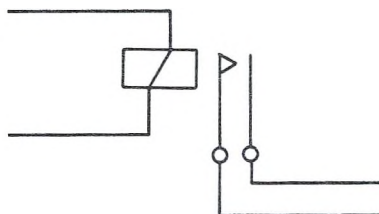
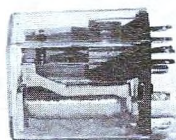
Spole



Spole med jernkerne



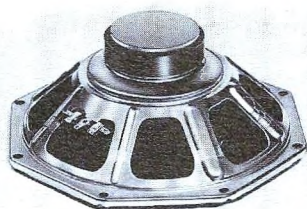
Transformator



Relæ



Hovedtelefon



Højtaler

---

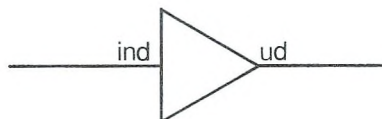
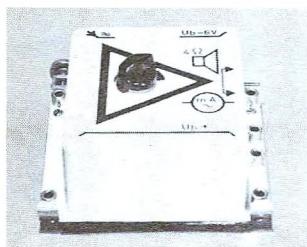




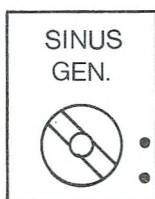
Mikrofon



Pick-up



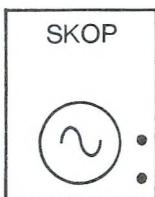
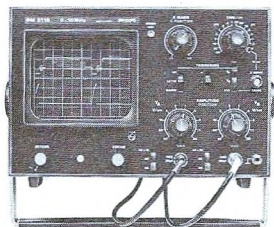
Forstærker



Sinusgenerator



Firkantgenerator



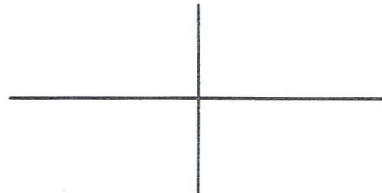
Oscilloskop

---

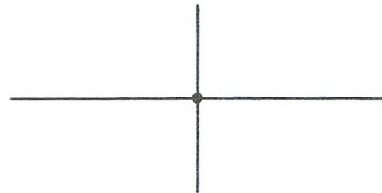




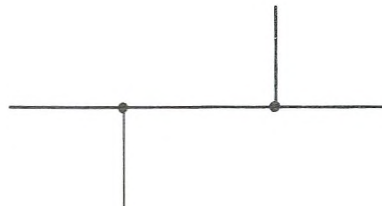
Ledning



Ledninger,  
der krydser hinanden  
uden elektrisk forbindelse



Krydsende ledninger  
med elektrisk forbindelse



Enkel afgrening



Udskeftelig ledning



# Stikordsregister

- AC 27
- afskæringsfrekvens 30
- amperemeter 9
- atom 44
- basis 48, 51
- brokoblet ensretter 38
- DC 27
- diode 35
- drejekondensator 23
- effekt 11
- effektiv spænding 27
- elektrolyt 22
- elektrolytkondensator 22
- elektron 44
- emitter 48, 51
- ensretning 37
- farvekode 12, 21, 23, 42
- fo 30
- forstærker 54
- frekvens 28
- frekvensgang 55
- germanium 42, 44, 45, 48, 56
- graetzkobling 38
- H 33
- halvledere 35, 44, 45
- højpasfilter 30, 33
- I 10
- impedans 28, 31
- ion 44
- isolator 10
- jævnspænding 27
- jævnstrøm 27
- kapacitans 21, 28
- kapacitetsdiode 44
- karakteristik 39, 42
- keramisk kondensator 21
- „klippet“ 55
- kollektor 48, 51
- kondensator 20, 24
- koordinatsystem 40
- kulfilmmodstande 13
- L 33
- lavpasfilter 30, 33
- LC led 33
- LDR modstand 17
- LED 43
- ledere 10
- lysdiode 43
- mA 9
- metalfilmmodstande 14
- mH 33
- modstand 10
- modstande 12
- molekyle 44
- nettransformator 32
- NPN 49
- NTC modstand 17
- OFF 53
- ohmmeter 11
- ON 53
- oscilloskop 27
- overstyret 55
- P 11
- parallelforbindelse 19, 25
- pin-head modstande 14
- potentiometer 15
- PNP 49, 50
- polyesterkondensator 21
- PTC modstand 17
- R 10
- RC led 29
- rekombination 46, 51
- relæ 35
- resistans 10, 28
- resonansfrekvens 33
- ripple 38
- rulleblokkondensator 21
- SCR 41
- selvinduktion 33
- serieforbindelse 19, 25
- signalforstærker 54
- silicium 42, 44, 45, 48, 56
- sinus generator 28
- skydemodstand 15
- spids-spids spænding 27
- spole 31
- spændingsforskel 7
- spærrekreds 33
- strømstyrke 8
- sugekreds 34
- svingningskreds 33
- switch 52
- symboler 7, 57
- tantalelektrolyt 23
- termisk generation 46
- thyristor 41
- tonegenerator 28
- transformator 31
- transistor 48
- transistortester 49
- trimmekondensator 23
- trimmepotentiometer 16
- trådviklede modstande 14
- U 7, 10
- U<sub>BE</sub> 49, 52
- U<sub>CE</sub> 52
- μF 21
- μH 52
- variable modstande 15
- VDR modstand 19
- V<sub>eff</sub> 27
- vekselspænding 27
- vekselstrøm 7, 27, 36
- ventil 35
- Vitrohmeter 13
- volt 7
- voltmeter 7
- V<sub>ss</sub> 27
- W 11
- watt 11
- zenerdiode 42





**System Elektronik  
er planlagt med følgende udgivelser:**

**Basis Elektronik  
Praktisk Elektronik  
Forstærkning med Elektronik  
Digital Elektronik  
Styring med Elektronik  
Måling med Elektronik**