

## Inleiding.

Dit boekwerk behoort tot het electro-electronica practicum systeem Electronic 1. Met dit systeem kan de theorie gelijk in de praktijk worden gebracht.

Naast een theoretische behandeling van de componenten wordt een groot aantal voorbeelden gegeven voor het samenstellen van schakelingen.

De schakelingen uit dit boek kunnen worden samengesteld met de componenten van het systeem electronic 1. Met deze componenten, die gemonteerd zitten op bordjes met 4 mm. Ronde stekerpennen, kunnen de schakelingen op overzichtelijke wijze op een stekerveld worden opgebouwd.

Het practicum en de begeleiding zijn zodanig opgezet dat aangevangen wordt op V(M)BO-niveau, ervan uitgaande dat de theoretische grondbeginselen over spanning en stroom zijn behandeld.

De standaard samenstelling van de componenten is dan ook geheel overeenkomstig de standaard inventarisatielijst voor het V(M)BO (vroeger LTO codenummer M 1021).

Ook is het mogelijk de inhoud van het practicum geheel naar eigen inzichten samen te stellen, omdat elk onderdeel los verkrijgbaar is. Wij zullen u daarbij gaarne van advies dienen. Op verzoek sturen wij u een onderdelenlijst met bestelnummers.

Door toevoeging van A delen aan diverse hoofdstukken, alsmede het opnemen van meer complexe elektronica schakelingen is het totale systeem afgestemd op middelbaar en beroepsbegeleidend onderwijs niveau.

Zonder uitdrukkelijke toestemming van Brink Technical Solutions BV

mogen deze boeken niet worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm, of op welke andere wijze dan ook.

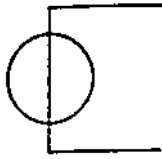
Wij wensen u veel succes en plezier bij het gebruik van de set electronic 1 en dit boek. Uw commentaar is van harte welkom!

Brink Technical Solutions BV  
Postbus 77  
8180 AB Heerde

# Inhoudsopgave.

Inleiding .....	1
1. Symbolen.....	3
2. Algemene wisselstroom theorie.....	16
3. Weerstanden.....	20
4. Spoelen.....	30
5. Condensatoren.....	40
6. R.C. Lid.....	47
7. Meetinstrumenten.....	56
8. Halfgeleider theorie.....	85
9. Halfgeleiders.....	93
11. Halfgeleiders.....	159
13. Halfgeleiders.....	182

## 1. Symbolen



Spanningsbron

b.v Instelbare gestabiliseerde voeding 0-35 V =  
0-1A met tevens w.s uitgangen 0-6-S2-24V ac.  
Fabrikaat Brink Technical Solutions



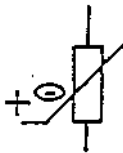
Weerstand

1x22  $\Omega$ -1W 3x1 k-1W 1x3,3  $\Omega$  5W  
1x47  $\Omega$ -1W 1x1,5 k-1W 1x10  $\Omega$  5W  
1x56  $\Omega$ -1W 1x2,2 k-1W 1x22  $\Omega$  5W  
2x100  $\Omega$ -1W 1x4,7k-1W 1x68  $\Omega$  5W  
2x220  $\Omega$ -1W 2x10k-1W 1x100  $\Omega$  5W  
1x470  $\Omega$ -1W 1x15k-1W 1x200  $\Omega$  5W  
2x22 k-1W



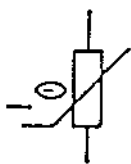
Regelbare weerstand of weerstand met regelbare  
aftakking

1x0-1000  $\Omega$  50W (in standaard)  
1x100  $\Omega$ -1/4W 1x500 k $\Omega$ -1/4W  
1x1K-1/4W 1x50 k $\Omega$ -1/4W



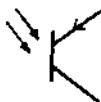
Weerstand met positieve temperatuur coëfficiënt.  
P.T.C

Koudeweerstand  $R_{25} = 10K \Omega$  c.a.20% bij 25°C.  
Aanspreektemperatuur = 35°C  
Warmteweerstand  $R_{100} = 3.....20K \Omega$   
Max. spanning 40 Volt

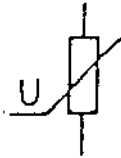


Weerstand met negatieve temperatuur coëfficiënt.  
N.T.C

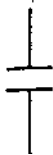
Koudeweerstand  $R_{25} = 10k \Omega$  c.a. 20% bij 25°C.  
Warmweerstand  $R_{100} = \text{ca. } 500 \Omega$  (4050°K)  
Belastbaarheid ca.600mW



Fototransistor BPX 99  
1 fotortansistor BPX 99  
32V 0,5A zie datablad

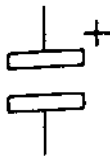


Spanningsafhankelijke weerstand VDR  
 Spanning 8 tot max. 14 Volt  
 Meetstroom max. 40mA  
 Belastbaarheid ca.800mW



Condensator

1x0,01 uf max. 600V polyester  
 1x0,1 uf max. 600V polyester



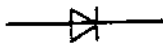
Elektrolytische Condensator (elco)

2 elco 10 uf ca. 40V  
 2 elco 22 uf ca. 40V  
 2 elco 220 uf ca. 40V  
 2 elco 470 uf ca. 40V



Wikkeling of Spoel

1 smoorspoel 0,1H ca. 0,2 Amp.  
 1 smoorspoel 100uH



Diode.

4 LN4002 – Si-

2 OA95 - Ge-



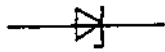
Lichtgevende diode L.E.D

Sperspanning 3V max. (I kleiner dan 0,14A).

Doorloopstroom 40mA

Oplichten bij 1,6 ...2V (I= ca. 20mA)

Lichtdichtheid 0,8 mcd bij 20mA-rood



Zenerdiode of stabilisatiediode.

1 zenerdiode BZ 6V (5,2.....6V) 60 mA  
 1 zenerdiode BZ 12V (11,4.... 12,8) 30 mA



P.N.P. transistor

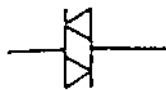
2 BC 177 P.N.P. transistor 50V 300mV  
 zie datablad



N.P.N. transistor

2 BC 107A N.P.N. 50V 0,1Amp 0,3W  
 2MJE 3055 N.P.N 60V 10Amp 90W

Zie datablad



Onsteekdiode of triggerdiode (DIAC)

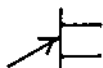


TRIAC



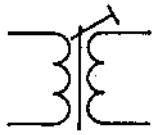
Thyristor TIC 116M

Zie datablad.



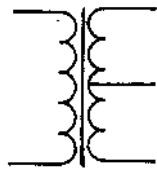
Unijunction

$U_{B1B2} = 50V$      $I_{ES} = 1Amp$   
 $U_{B2E} = 30V$      $U_{BI} = 2,5 - 4 Volt$   
 $I_E = 50mA$



Pot kern trafo

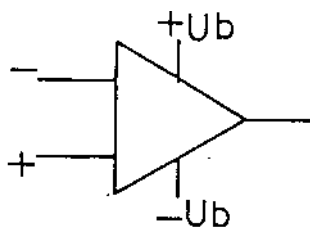
Overzetverhouding 5 : 1



Universeeltrafo

R primair 350  $\Omega$  L primair 2250mH

R secundair 2x40  $\Omega$  L secundair 2x145mH



Op Amp.

Bedrijfsspanning tussen 5 en 15Volt

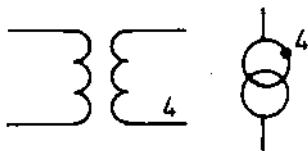
Vermogen 500mV

Ingangsweerstand 2Meg $\Omega$

Grensfreq: 1MHz bij 1 Volt

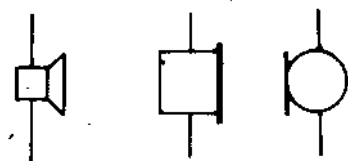
Stroomopname: 2,8 mA

Ingebouwde 10k $\Omega$  trimpot meter

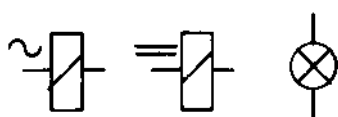


Transformator met 4 aftakkingen b.v.

06-12-24V ac.



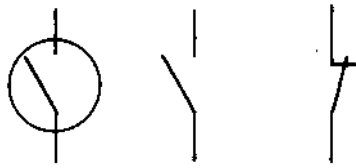
Luidspreker / oortelefoon / microfoon



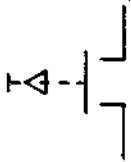
Relaisspoel ac.

Relais dc

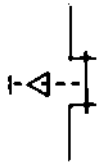
lamp



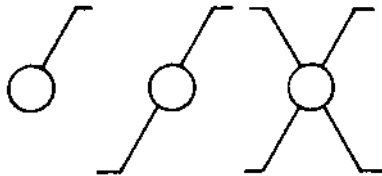
Contact      Maakcontact  
 Verbreekcontact  
 omhulling



Terugverend drukcontact, maakcontact



Terugverend drukcontact, verbreekcontact

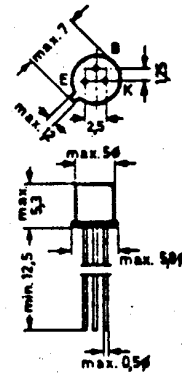


Enkelpolig – wissel – kruis schakelaar

## BC 107

NPN-Silizium-Epitaxie-Planar-Transistor  
für NF-Vor- und -Treiberstufen

Metallgehäuse DIN 18 A 3  
(JEDEC TO-18)  
Gewicht ca. 0,4 g  
Kollektor mit Gehäuse verbunden  
Maße in mm



### Grenzwerte

Kollektor-Basis-Spannung	$U_{CB0}$	45	V
Kollektor-Emitter-Spannung	$U_{CE0}$	45	V
Emitter-Basis-Spannung	$U_{EB0}$	5	V
Kollektorstrom	$I_C$	100	mA
Verlustleistung bei $T_U = 25^\circ\text{C}$	$P_{tot}$	300	mW
Sperrschichttemperatur	$T_i$	175	$^\circ\text{C}$
Lagerungstemperaturbereich	$T_S$	-55... +175	$^\circ\text{C}$

### Statische Kennwerte bei $T_i = 25^\circ\text{C}$

Kollektor-Basis-Stromverhältnis

Die Transistoren werden nach der Kleinsignal-Stromverstärkung  $h_{21e}$  in 2 Gruppen (A und B) ausgemessen. Bei  $U_{CE} = 5\text{ V}$  gelten folgende B-Werte:

		BC 107 A	BC 107 B	
bei $I_C = 0,01\text{ mA}$	B	90	150 (> 40)	
	B	180	290	
	bei $I_C = 2\text{ mA}$	B	225	350
		B	210	300
Basis-Emitter-Spannung bei $U_{CE} = 5\text{ V}$ ,				
bei $I_C = 0,01\text{ mA}$	$U_{BE}$	0,5	V	
bei $I_C = 2\text{ mA}$	$U_{BE}$	0,62 (0,55...0,7)	V	
bei $I_C = 20\text{ mA}$	$U_{BE}$	0,7	V	
bei $I_C = 100\text{ mA}$	$U_{BE}$	0,76	V	
Kollektor-Sättigungsspannung				
bei $I_C = 10\text{ mA}, I_B = 0,5\text{ mA}$	$U_{CE sat}$	0,09 (~ 0,25)	V	
bei $I_C = 100\text{ mA}, I_B = 5\text{ mA}$	$U_{CE sat}$	0,2 (< 0,6)	V	



## BC 107

Basis-Sättigungsspannung bei $I_C = 10 \text{ mA}$ , $I_B = 0,5 \text{ mA}$ bei $I_C = 100 \text{ mA}$ , $I_B = 5 \text{ mA}$	$U_{BE \text{ sat}}$	0,7	V
	$U_{BE \text{ sat}}$	0,9	V
Kollektorreststrom bei $U_{CE} = 45 \text{ V}$ bei $U_{CE} = 45 \text{ V}$ , $T_j = 150^\circ\text{C}$	$I_{CBO}$	0,2 (< 15)	nA
	$I_{CBO}$	0,2 (< 15)	$\mu\text{A}$
Wärmewiderstand Sperrschicht - umgebende Luft Sperrschicht - Gehäuse	$R_{th}$	< 500	grd/W
	$R_{th}$	< 200	grd/W
Dynamische Kennwerte bei $T_U = 25^\circ\text{C}$			
Transitfrequenz bei $I_C = 10 \text{ mA}$ , $U_{CE} = 5 \text{ V}$ , $f = 100 \text{ MHz}$	$f_T$	250 (> 150)	MHz
	$C_{CBO}$	3,7 (< 6)	pF
Kollektor-Basis-Kapazität bei $U_{CBO} = 10 \text{ V}$ , $f = 1 \text{ MHz}$	$C_{CBO}$	10	pF
Emitter-Basis-Kapazität bei $U_{EBO} = 0,5 \text{ V}$ , $f = 1 \text{ MHz}$	$C_{EBO}$	2 (< 10)	dB
Rauschmaß bei $I_C = 0,2 \text{ mA}$ , $U_{CE} = 5 \text{ V}$ , $R_G = 2 \text{ k}\Omega$ , $f = 1 \text{ kHz}$ , $\Delta f = 200 \text{ Hz}$	$F$		

Die Transistoren werden nach der Kleinsignal-Stromverstärkung  $h_{21e}$  in 2 Gruppen (A und B) ausgemessen. Die folgenden Kleinsignal-Kennwerte gelten bei  $I_C = 2 \text{ mA}$ ,  $U_{CE} = 5 \text{ V}$ ,  $f = 1 \text{ kHz}$ .

		BC 107 A	BC 107 B
Stromverstärkung in Emitterschaltung	$h_{21e}$	220 (125... 260)	330 (240... 500)
Eingangswiderstand in Emitterschaltung in Basisschaltung	$h_{11e}$	2,7 (1,6... 4,5)	4,5 (3,2... 8,5) k $\Omega$
	$h_{11b}$	13,5	13,5 $\Omega$
Spannungsrückwirkung in Emitterschaltung in Basisschaltung	$h_{12e}$	1,5	2 $\times 10^{-4}$
	$h_{12b}$	1,5	2,8 $\times 10^{-4}$
Ausgangsleitwert in Emitterschaltung in Basisschaltung	$h_{22e}$	18 (< 30)	30 (< 60) $\mu\text{S}$
	$h_{22b}$	0,05	0,06 $\mu\text{S}$

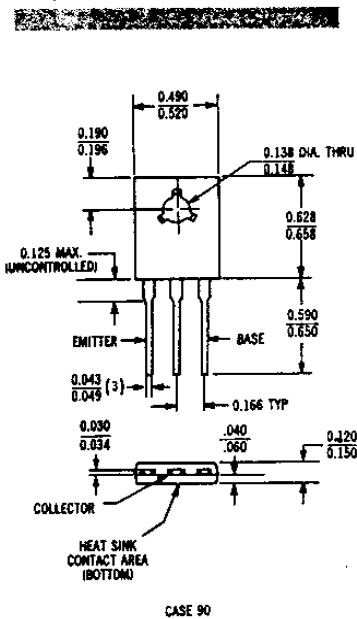
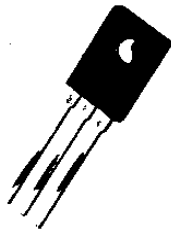
# MJE3055

10 AMPERE  
POWER TRANSISTOR

NPN SILICON

60 VOLTS  
90 WATTS

DECEMBER 1968 — DS 3127



When mounting the device, torque must not exceed 8.0 in.-lb.

If lead bending is required, use suitable clamps or other supports between transistor case and point of bend.

## HIGH POWER NPN SILICON TRANSISTOR

... designed for use in general-purpose amplifier and switching applications.

- DC Current Gain Specified to 10 Amperes
- High Current-Gain-Bandwidth Product —  $f_T = 2.0 \text{ MHz (Min) @ } I_C = 500 \text{ mAdc}$
- Thermopad<sup>†</sup> High-Efficiency Compact Package
- Plastic Version of 2N3055

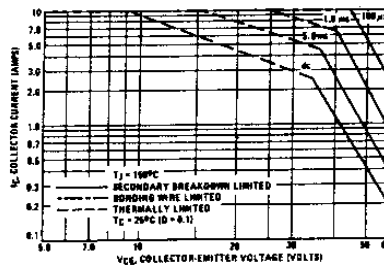
### MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	60	Vdc
Collector-Base Voltage	$V_{CB}$	70	Vdc
Emitter-Base Voltage	$V_{EB}$	5.0	Vdc
Collector Current - Continuous	$I_C$	10	Adc
Base Current - Continuous	$I_B$	6.0	Adc
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}^*$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D^*$	90 0.718	Watts W/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

### THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$\theta_{JC}$	1.39	$^\circ\text{C/W}$

FIGURE 1 — ACTIVE REGION SAFE OPERATING AREAS



There are two limitations on the power handling ability of a transistor: junction temperature and secondary breakdown. Safe operating area curves indicate  $I_C$ - $V_{CE}$  limits of the transistor that must be observed for reliable operation; i.e., the transistor must not be subjected to greater dissipation than the curves indicate.

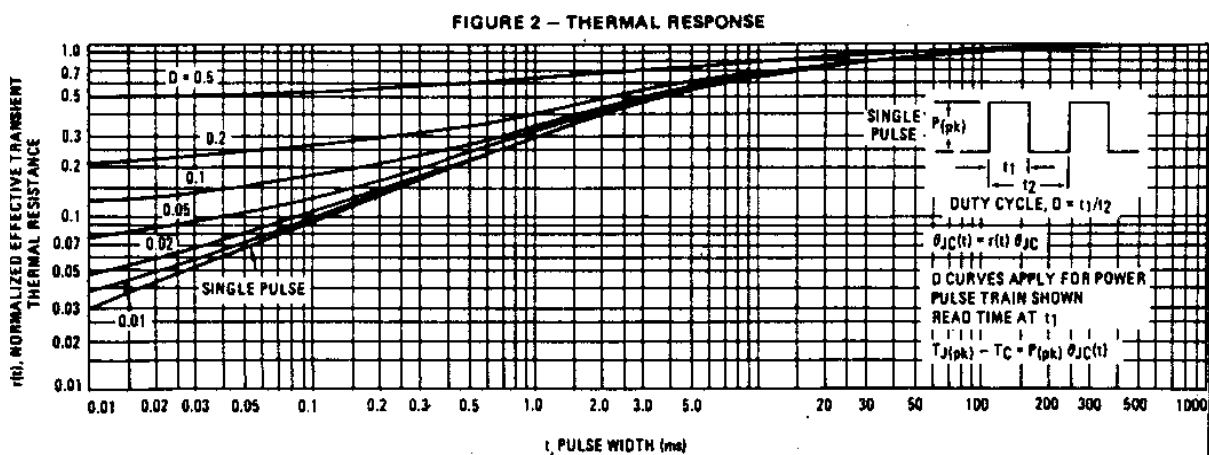
The data of Figure 1 is based on  $T_J(pk) = 150^\circ\text{C}$ ;  $T_C$  is variable depending on conditions. Pulse curves are valid for duty cycles of 10% provided  $T_J(pk) \leq 150^\circ\text{C}$ .  $T_J(pk)$  may be calculated from the data in Figure 2. At high case temperatures, thermal limitations will reduce the power that can be handled to values less than the limitations imposed by secondary breakdown.

\*Safe Area Curves are indicated by Figure 1 — Both thermal and safe area limits are applicable and must be

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_C = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>				
Collector-Emitter Sustaining Voltage* ( $I_C = 200\text{ mAdc}$ , $I_B = 0$ )	$V_{CE(sus)}^*$	60	-	Vdc
Collector Cutoff Current ( $V_{CE} = 30\text{ Vdc}$ , $I_B = 0$ )	$I_{CEO}$	-	700	$\mu\text{Adc}$
Collector Cutoff Current ( $V_{CE} = 70\text{ Vdc}$ , $V_{EB(off)} = 1.5\text{ Vdc}$ ) ( $V_{CE} = 70\text{ Vdc}$ , $V_{EB(off)} = 1.5\text{ Vdc}$ , $T_C = 150^\circ\text{C}$ )	$I_{CEX}$	-	1.0 5.0	mAdc
Collector Cutoff Current ( $V_{CB} = 70\text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ ) ( $V_{CB} = 70\text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ , $T_C = 150^\circ\text{C}$ )	$I_{CBO}$	-	1.0 10	mAdc
Emitter Cutoff Current ( $V_{BE} = 5.0\text{ Vdc}$ , $I_C = 0$ )	$I_{EBO}$	-	5.0	mAdc
<b>ON CHARACTERISTICS</b>				
DC Current Gain* ( $I_C = 4.0\text{ Adc}$ , $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$ ) ( $I_C = 10\text{ Adc}$ , $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$ )	$h_{FE}^*$	20 5.0	70 -	-
Collector-Emitter Saturation Voltage* ( $I_C = 4.0\text{ Adc}$ , $I_B = 0.4\text{ Adc}$ ) ( $I_C = 10\text{ Adc}$ , $I_B = 3.3\text{ Adc}$ )	$V_{CE(sat)}^*$	-	1.1 8.0	Vdc
Base-Emitter On Voltage* ( $I_C = 4.0\text{ Adc}$ , $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$ )	$V_{BE(on)}^*$	-	1.8	Vdc
<b>DYNAMIC CHARACTERISTICS</b>				
Current-Gain-Bandwidth Product ( $I_C = 500\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 500\text{ kHz}$ )	$f_T$	2.0	-	MHz

\*Pulse Test: Pulse Width < 300  $\mu\text{s}$ , Duty Cycle < 2.0%.



# 2N4441 thru 2N4444

## PLASTIC SILICON CONTROLLED RECTIFIERS

8.0 Ampere RMS  
50 thru 600 Volts

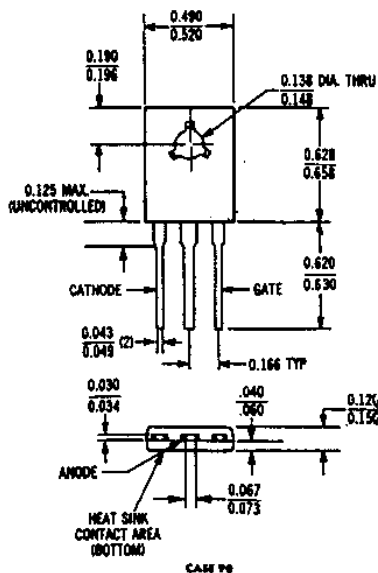
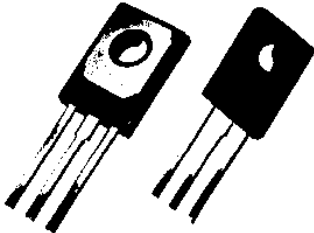
## PLASTIC THYRISTORS (PLASTIC SILICON CONTROLLED RECTIFIERS)

... designed for high-volume consumer phase-control applications such as motor speed, temperature, and light controls and for switching applications in ignition and starting systems, voltage regulators, vending machines, and lamp drivers requiring:

- Small, Rugged, Thermopad† Construction - for Low Thermal Resistance, High Heat Dissipation, and Durability
- Practical Level Triggering and Holding Characteristics -  $I_{HO} = 10 \text{ mA (Typ) @ } 25^\circ\text{C}$
- Low "On" Voltage -  $V_F = 1.0 \text{ Volt (Typ) @ } 5.0 \text{ Amps @ } 25^\circ\text{C}$
- High Surge Current Rating -  $I_{FM(\text{surge})} = 80 \text{ Amps}$

MAXIMUM RATINGS ( $T_J = 100^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

January 1987 - PS 06



Rating	Symbol	Value	Unit		
Peak Reverse Blocking Voltage (Note 1)	$V_{ROM(\text{rep})}$	2N4441 2N4442 2N4443 2N4444	50 200 400 600	Volts	
Peak Reverse Blocking Voltage (Non-Recurrent, $t = 5.0 \text{ ms (max)}$ duration)		$V_{ROM(\text{non rep})}$	2N4441 2N4442 2N4443 2N4444	75 300 500 700	Volts
Forward Current RMS (All Conduction Angles)			$I_F$	8.0	Amps
Peak Forward Surge Current (1/2 cycle, 60 Hz, $T_J = -40 \text{ to } +100^\circ\text{C}$ )			$I_{FM(\text{surge})}$	80	Amps
Circuit Fusing Considerations ( $T_J = -40 \text{ to } +100^\circ\text{C}$ ; $t = 1.0 \text{ to } 8.3 \text{ ms}$ )	$I^2t$		25	$\text{A}^2\text{s}$	
Peak Gate Power - Forward	$P_{GFM}$	5.0	Watts		
Average Gate Power - Forward	$P_{GF(AV)}$	0.5	Watt		
Peak Gate Current - Forward	$I_{GFM}$	2.0	Amps		
Peak Gate Voltage - Forward	$V_{GFM}$	10	Volts		
Reverse	$V_{GRM}$	10	Volts		
Operating Junction Temperature Range	$T_J$	-40 to +100	$^\circ\text{C}$		
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-40 to +150	$^\circ\text{C}$		
Mounting Torque (6-32 screw) (Note 2)	-	12	in. lb.		

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_C = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Peak Forward Blocking Voltage ( $T_J = 100^\circ\text{C}$ ) Note 1	$V_{FOM}$	50 300 400 600	- - - -	- - - -	Volts
Peak Forward Blocking Current (Rated $V_{FOM}$ @ $T_J = 100^\circ\text{C}$ , gate open)	$I_{FOM}$	-	-	2.0	mA
Peak Reverse Blocking Current (Rated $V_{ROM}$ @ $T_J = 100^\circ\text{C}$ , gate open)	$I_{ROM}$	-	-	2.0	mA
Forward "On" Voltage ( $I_F = 5.0\text{ A peak}$ ) ( $I_F = 15.7\text{ A peak}$ )	$V_F$	-	1.0 -	1.5 2.5 †	Volts
Gate Trigger Current (Continuous dc) (Anode Voltage = 7.0 Vdc, $R_L = 100\text{ ohms}$ ) $T_C = 25^\circ\text{C}$ $T_C = -40^\circ\text{C}$	$I_{GT}$	-	10 -	30 80 †	mA
Gate Trigger Voltage (Continuous dc) (Anode Voltage = 7.0 Vdc, $R_L = 100\text{ ohms}$ ) $T_C = 25^\circ\text{C}$ (Anode Voltage = 7.0 Vdc, $R_L = 100\text{ ohms}$ ) $T_C = -40^\circ\text{C}$ (Anode Voltage = Rated $V_{FOM}$ , $R_L = 100\text{ ohms}$ ) $T_J = 100^\circ\text{C}$	$V_{GT}$ $V_{GT}$ $V_{GNT}$	-	0.7 -	1.5 1.5 † -	Volts
Holding Current (Anode Voltage = 7.0 Vdc, gate open) $T_C = 25^\circ\text{C}$ $T_C = -40^\circ\text{C}$	$I_{HO}$	-	10 -	40 70 †	mA
Turn-On Time ( $I_F = 5.0\text{ A}$ , $I_{GT} = 20\text{ mA}$ )	$t_{on}$	-	1.0	-	$\mu\text{s}$
Turn-Off Time ( $I_F = 5.0\text{ A}$ , $I_R = 5.0\text{ A}$ ) ( $I_F = 5.0\text{ A}$ , $I_R = 5.0\text{ A}$ , $T_J = 100^\circ\text{C}$ )	$t_{off}$	-	15 30	-	$\mu\text{s}$
Forward Voltage Application Rate ( $T_J = 100^\circ\text{C}$ )	$dv/dt$	-	50	-	V/ $\mu\text{s}$
Thermal Resistance, Junction to Case	$\theta_{JC}$	-	-	2.5	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Case to Ambient	$\theta_{CA}$	-	40	-	$^\circ\text{C/W}$

† JEDEC registered, non-production line tests.

$V_{FOM}$  and  $V_{ROM}$  for all types can be applied on a continuous dc basis without incurring damage. Ratings apply for zero or negative gate voltage but positive gate voltage shall not be applied concurrently with a negative potential on the anode. When checking forward or reverse blocking capability, thyristor devices should not be tested with a constant current source in a manner that the voltage applied exceeds the rated blocking voltage.

2. Torque rating applies with use of torque washer (Shakeproof WD19522 #6 or equivalent). Mounting torque in excess of 8 in. lbs. does not appreciably lower case-to-sink thermal resistance. Anode lead and heatsink contact pad are common.

For soldering purposes (either terminal connection or device mounting), soldering temperatures shall not exceed  $+225^\circ\text{C}$ . For optimum results, an activated flux (oxide removing) is recommended.

FIGURE 1 - CURRENT DERATING - HALF WAVE

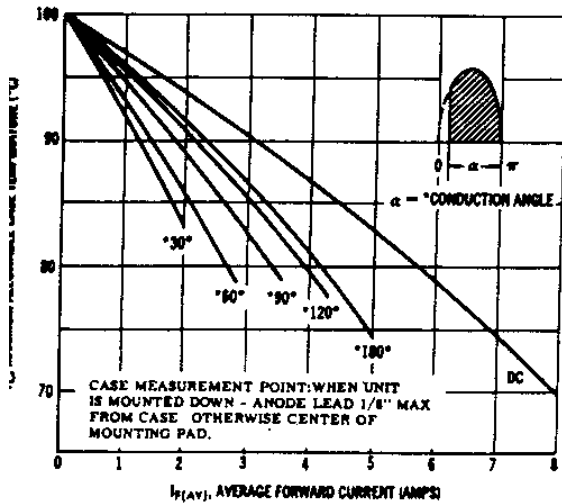


FIGURE 2 - TYPICAL PARAMETER VARIATIONS vs TEMPERATURE

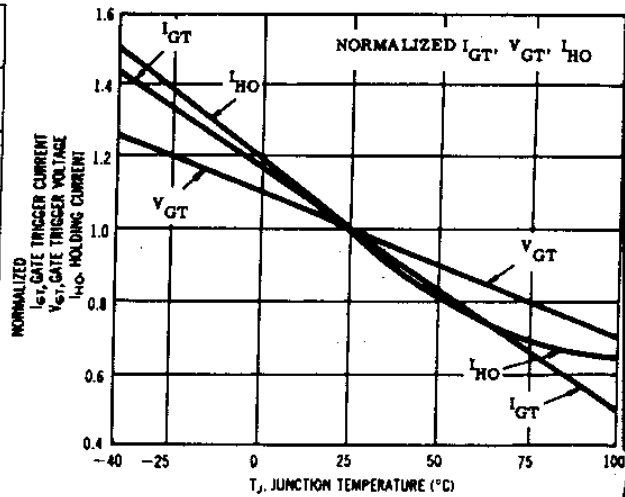
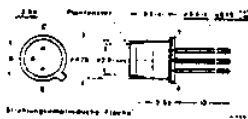


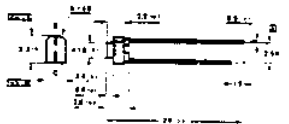
FOTO TRANSISTOREN

Type	V <sub>CEO</sub> V	I <sub>C</sub> mA	I <sub>CEO</sub> (D) nA	V <sub>CE</sub> <sup>I</sup> <sub>B</sub>	I <sub>CEO</sub> (1000 lux) μA	V <sub>CE</sub> <sup>I</sup> <sub>B</sub>	spectr. resp.	uitvoering
BPW13A	32	50	10 nA	20/0	300 μA	5/0	780 nm	TO-18 top zonder lens TO-18 top zonder lens TO-18 top zonder lens TO-18 met toplens TO-18 met toplens
BPW13B	32	50	10 nA	20/0	450 μA	5/0	780 nm	
BPW13C	32	50	10 nA	20/0	1000 μA	5/0	780 nm	
BPW14A	32	50	10 nA	20/0	3 mA	5/0	780 nm	
BPW14B	32	50	10 nA	20/0	4,5 mA	5/0	780 nm	
BPW14C	32	50	10 nA	20/0	10 mA	5/0	780 nm	TO-18 met toplens kunststof 1,8 mm zonder lens kunststof 1,8 mm met lens SOD-53D TO-92 zijgevoelig
BPW16N	32	50	10 nA	20/0	400 μA	5/0	750 nm	
BPW17N	32	50	10 nA	20/0	3 mA	5/0	750 nm	
BPW22A1	50	25	100 nA	30/0	1,5 mA	5/0	800 nm	
BPW39	32	100	10 nA	20/0	1 mA	5/0	750 nm	
BPW40	32	100	10 nA	20/0	6 mA	5/0	780 nm	kunststof ∅ 5 mm kunststof ∅ 3 mm TO-18 top zonder lens TO-18 top met lens kunststof zijgevoelig
BPW42	32	50	10 nA	20/0	3 mA	5/0	830 nm	
BPW76	70		100 nA	20/0	6 mA		800 nm	
BPW77	70		100 nA	20/0	10 mA		800 nm	
BPW78	32		100 nA	20/0	2 mA		780 nm	
BPW85	70		200 nA	20/0	3 mA		780 nm	kunststof ∅ 3 mm TO-18 met toplens SOT-70A kunststof ∅ 5 mm TO-18 top met lens
BPX25	32	100	100 nA	24/0	13 mA	6/0	800 nm	
BPX72	30	25	100 nA	20/0	0,5- 5 mA	5/0	800 nm	
BPX95C	30	25	100 nA	20/0	3 - 15 mA	5/0	800 nm	
BPX99	32	500	10 nA	20/0	30 mA	5/0	850 nm	

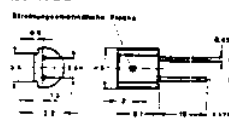
BPW13-BPW76



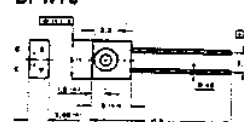
BPW16



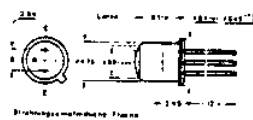
BPW39



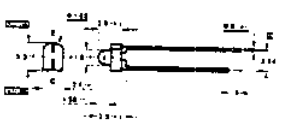
BPW78



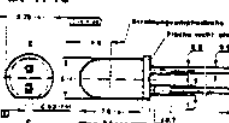
BPW14-BPW77



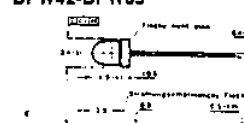
BPW17



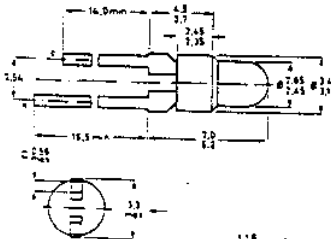
BPW40



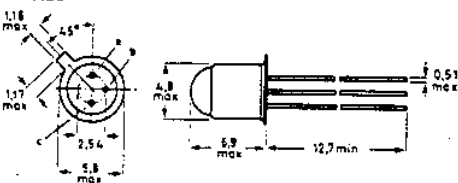
BPW42-BPW85



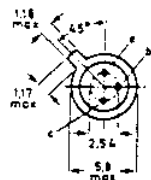
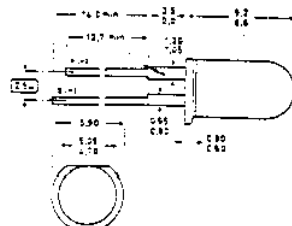
BPW22A1



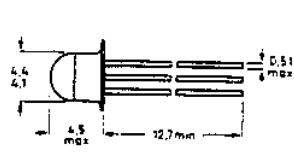
BPX25



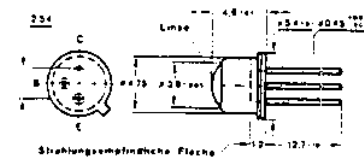
BPX95C



BPX72



BPX99



## A.F. SILICON PLANAR EPITAXIAL TRANSISTORS

P-N-P transistors in TO-18 metal envelopes with the collector connected to the case.

The BC177 is a high-voltage type and primarily intended for use in driver stages of audio amplifiers and in signal processing circuits of television receivers.

The BC178 is suitable for a multitude of low-voltage applications e.g. driver stages or audio preamplifiers and in signal processing circuits of television receivers.

The BC179 is primarily intended for low-noise input stages in tape recorders, hi-fi amplifiers and other audio-frequency equipment.

Moreover, they are intended as complementary types for the BC107, BC108 and BC109.

### QUICK REFERENCE DATA

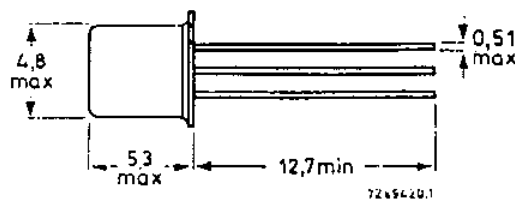
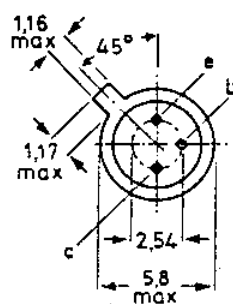
			BC177	BC178	BC179	
Collector-emitter voltage (+ $V_{BE} = 1$ V)	$-V_{CEX}$	max.	50	30	25	V
Collector-emitter voltage (open base)	$-V_{CEO}$	max.	45	25	20	V
Collector current (peak value)	$-I_{CM}$	max.	200	200	200	mA
Total power dissipation up to $T_{amb} = 25$ °C	$P_{Tot}$	max.	300	300	300	mW
Junction temperature	$T_j$	max.	175	175	175	°C
Small-signal current gain at $T_j = 25$ °C $-I_C = 2$ mA; $-V_{CE} = 5$ V; $f = 1$ kHz	$h_{fe}$	>	75	75	125	
		<	260	500	500	
Transition frequency at $f = 35$ MHz $-I_C = 10$ mA; $-V_{CE} = 5$ V	$f_T$	typ.	150	150	150	MHz
Noise figure at $R_S = 2$ k $\Omega$ $-I_C = 200$ $\mu$ A; $-V_{CE} = 5$ V $f = 30$ Hz to 15 kHz	F	typ.	—	—	1,2	dB
		<	—	—	4,0	dB
		<	10	10	4,0	dB
$f = 1$ kHz; $B = 200$ Hz	F	<	10	10	4,0	dB

### MECHANICAL DATA

Dimensions in mm

Fig. 1 TO-18.

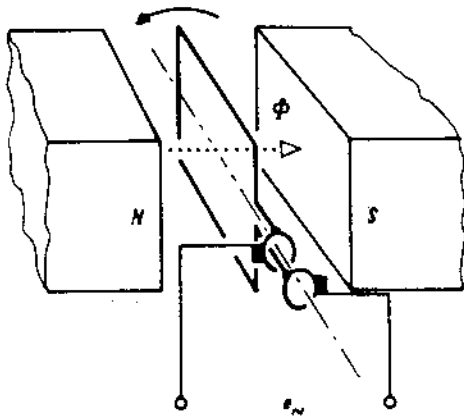
Collector  
connected  
to case



Accessories: 56246 (distance disc).

## 2. Algemene wisselstroom theorie.

### Grondbeginselen van de elektriciteitsleer.



Een van koperdraad gebogen raam wordt draaibaar opgesteld en voorzien van een voor elk uiteinde geschikt afneemcontact en het geheel opgesteld tussen twee ongelijknamige magneetpolen e.e.a. volgens schematische afbeelding.

Het draairaam, verder koperlus genoemd, wordt met een vast en regelmatig toerental rondgedraaid in het homogeen (op alle plaatsen regelmatig) magneet-veld. Er ontstaat nu aan de afneemcontacten van de koperlus een sinusvormige verlopende wissel-spanning.

De wisselspanning verandert tijdens het ronddraaien niet alleen van hoogte maar ook van richting. Bij elke volledige omwenteling ontstaat er een complete sinuskrumme (periode). Het aantal sinuskrummen dat per seconde wordt opgewekt heet frequentie en wordt uitgedrukt in de eenheid Hertz en wel zo dat,

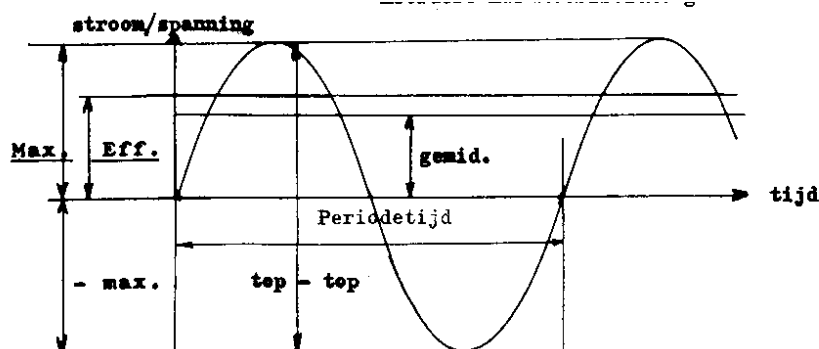
**1 Hertz (Hz) = 1 periode per seconde**

De lengte van een periode is de periodetijd en wordt gevonden als;

$$T = \frac{1}{f} \text{ (sec)}$$

F

Wisselstroom wordt aangegeven met het symbool  $i$  en wordt vaak aangegeven met A.C. hetgeen is voortgekomen uit het engels, zoals zoveel uitdrukkingen in de elektronica en betekent Alternating Current, vertaald wisselende stroom. Terwijl gelijkstroom of gelijkspanning alleen uitgedrukt kunnen worden in de betreffende waarde in A of V dienen zich bij wisselstroom – en spanning meerdere karakteristieke grootheden aan.



De hoogste waarde wordt de maximale waarde of amplitude genoemd, de afstand van plus maximum naar min maximum noemt men top-top waarde. (peak to peak).



**In de praktijk wordt voor energieberekeningen de maximale waarde niet gebruikt, maar is wel van belang voor het berekenen van de toegestane spanningshoogte van o.a. halfgeleiders.**

Als hulpmiddel voor het rekenwerk aan belastingen wordt de effectieve waarde gebruikt.

De effectieve waarde wordt als volgt gedefinieerd:

Een wisselstroom heeft een effectieve waarde van 1A wanneer deze stroom eenzelfde hoeveelheid warmte in een gegeven weerstand ontwikkelt als een gelijkstroom van 1A.

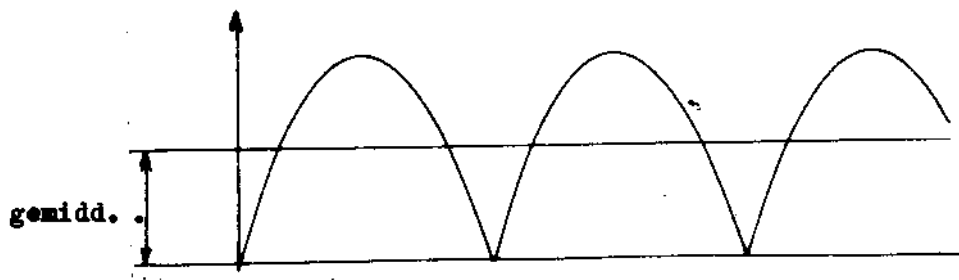
Is de maximale waarde van een wisselstroom bekend, dan vindt men de effectieve waarde als volgt:

$$I_{\text{eff.}} = I_{\text{max.}} \times 0,707$$

Hieruit afgeleid:

$$I_{\text{max}} = \frac{I_{\text{eff.}}}{0,707}$$

Denken we de negatieve perioden van een wisselstroom omgeklapt naar de positieve, dan komt het onderstaande beeld tevoorschijn.



Van deze krommen kan men de wiskundige gemiddelde waarde vaststellen. In feite wil dit zeggen dat we ons verbeelden dat elke periodehelft een hoop zand voorstelt, die door een bulldozer tot een vlakke laag wordt uitgestreken. De resterende hoogte van de oorspronkelijke  $\frac{1}{2}$  sinusvormige vormen wordt dan de gemiddelde waarde, welke te berekenen is uit:

$$I_{\text{gem.}} = I_{\text{max}} \times 0,637$$

Ook

$$I_{\text{gem.}} = I_{\text{eff}} \times 0,9$$

Op de overeenkomstige wijze worden de diverse wisselspanningswaarden uitgedrukt en gelden dezelfde omrekenregels.

Omrekentabel voor:

effectieve,-

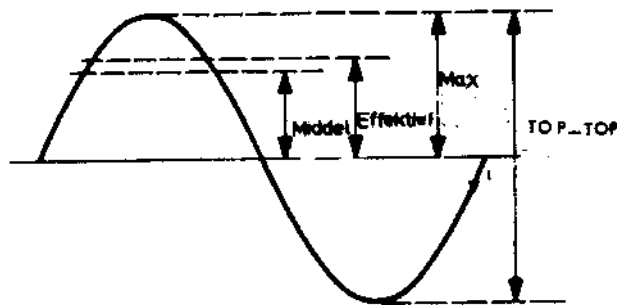
Gemiddelde,-

Maximale (top) en

Top-Top waarden.

Opmerking: De tabel geldt voor zuiver sinusvormige spanning en stromen en diens puls gemiddelde-, effectieve-, top-, en top-top waarden.

Let op: De diverse hoogtelijnen worden uitsluitend horizontaal uitgezet.



Effectieve waarde (R.M.S.) = 1.1 x gemiddelde waarde.  
= 0,707 x maximale waarde

Gemiddelde waarde (Average) = 0,3535 x top-top waarde  
= 0,9 x effectieve waarde

Maximale waarde (Peak) = 1,414 x effectieve waarde  
= 1,57 x gemiddelde waarde

Top-top waarde (Peak to peak) = 2,828 x effectieve waarde  
= 3,14 x gemiddelde  
= 2 x maximale waarde.

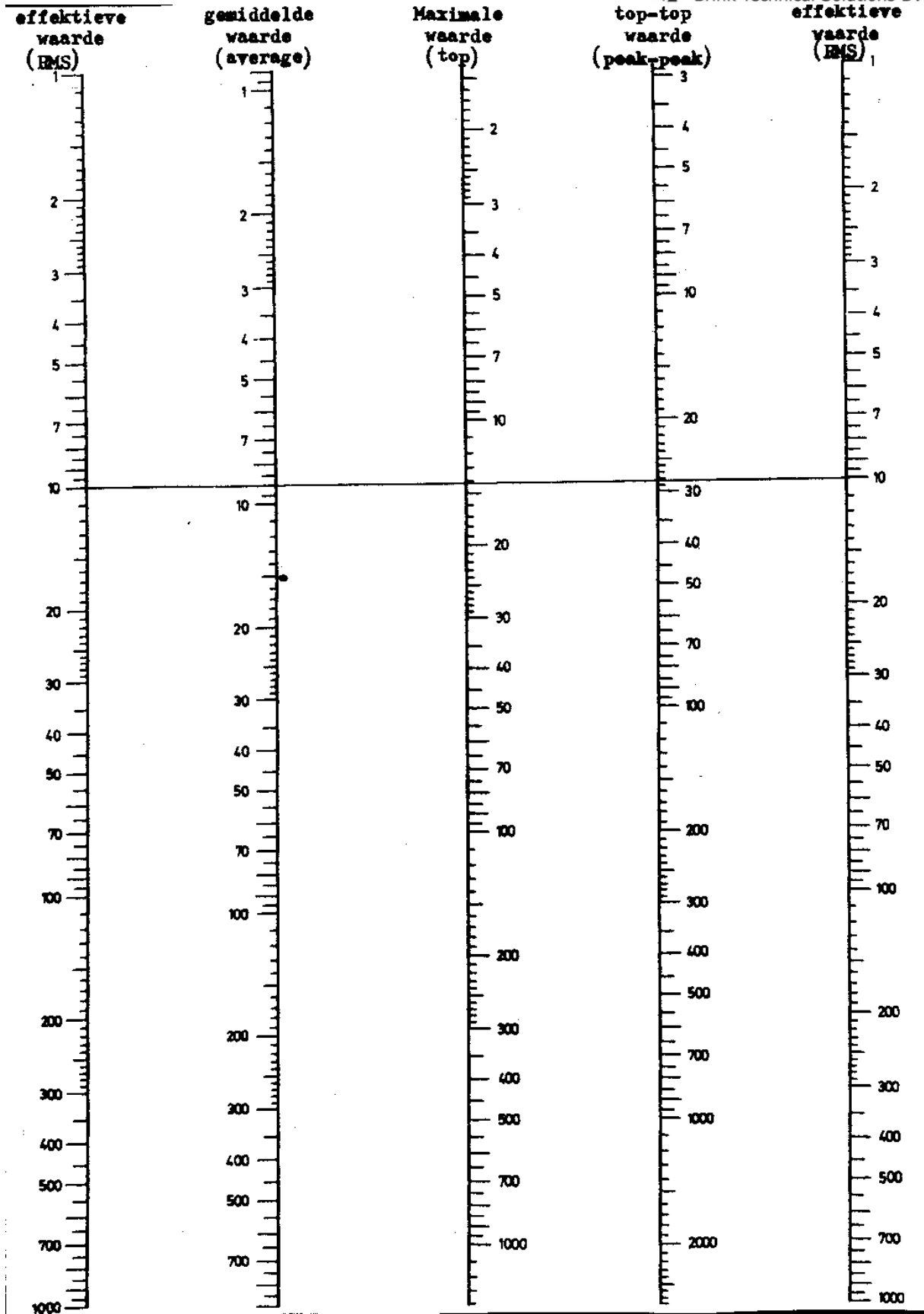
Let op: Worden waarden naar elkaar omgerekend dan moeten zij dezelfde eenheid bezitten. (bijv. mV, uA, V, A, enz)

Voorbeeld: Gegeven is een effectieve waarde van 10V.

In het op pagina 22 afgedrukte monogram, tekenen we een horizontale lijn door alle schaalverdelingen heen.

De schaalverdeling voor de effectieve waarden voor het gemak aan beide zijden aangebracht.

**We lezen nu 9V af voor de gemiddelde waarde, 14,1 V voor de maximale waarde** terwijl we 28,2 28,3 vinden voor de top-top waarde.



### 3. Weerstanden.

#### Soorten en constructies.

Een weerstand is een element dat de grootte van een stroom beperkt en/of bepaalt.



Er zijn diverse soorten weerstanden zoals:

Vaste weerstanden

Instelbare weerstanden (met instelbandje)

Regelbare weerstanden of potentiometers

Weerstanden met positieve temperatuurcoëfficiënt  
(P.T.C)

Weerstanden met negatieve temperatuurcoëfficiënt.  
(N.T.C)

Weerstanden die licht afhankelijk zijn.

(L.D.R) Light dependend resistor.

Weerstanden welke spannings afhankelijk zijn.  
(V.D.R.) Volt dependend resistor.

Soort	Constructie	Kenmerken	Stabiliteit	Nadeel
Draadgewonden weerstand	Isolator met daarop ontwikkeld weerstandsdraad	Geschikt voor grotere stromen/belastingen  Lage weerstandwaarden mogelijk	Goed  Goed	Niet geschikt voor: Hoge frequenties  Geen hoge weerstandwaarden
Koolfilm weerstand	Koollaagje op keramisch buisje. In de koollaag wordt een groef aangebracht.	Goedkoop  Veel toegepast in de elektronica	Goed	Grote toleranties
Compositie weerstand	Gebakken mengsel van kool/klei	Mechanisch sterk	Matig	
Metaalfilm weerstand	Metaallaagje opgedampt op een keramische buis	Precisie weerstand Geschikt voor hoge frequenties	Zeer goed	Relatief duur

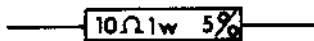
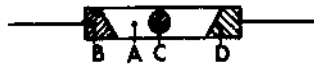
Wet van Ohm.

**De waarde van een weerstand wordt uitgedrukt in Ohm ( $\Omega$ )**

Voor grotere waarden gebruikt men

K. $\Omega$  = 1.000

M. $\Omega$  = 1.000.000



De waarde wordt aangegeven met gekleurde ringen of vlakken en is als volgt te bepalen: (zie tekeningen)

Kleur A geeft het eerste cijfer aan.

Kleur B geeft het tweede cijfer aan.

Kleur C geeft het aantal nullen aan.

Kleur D geeft de tolerantie aan.

Voorbeeld:

A = Bruin.

B = Zwart.

C = Oranje.

D = Zilver.

Kleurentabel.

Zwart = 0

Bruin = 1

Rood = 2

Oranje = 3

Geel = 4

Groen = 5

Blauw = 6

Violet = 7

Grijs = 8

Wit = 9

De waarde van deze weerstand is dan:

1 0 000 = 10.000  $\Omega$  = 10K. $\Omega$

A B C

De kleur zilver geeft de tolerantie aan.

Deze is dan 10%

Belastbaarheid:

Bij het bepalen van de juiste weerstand in een schakeling is het belangrijk te weten welke stroom maximaal door de weerstand zal gaan.

Deze is te berekenen met de formule.

$I = \frac{U}{R} = \dots \text{Amp}$

Goud - 5%

Zilver - 10%

Geen kleur - 20%

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

R

$U = I \times R = \dots \text{Volt}$

I

De belastingen waarvoor de weerstand geschikt moet zijn, kan nu berekend worden met de formule:

U = spanning in volt.

$W = U \times I$

I = stroom in ampere.

$W = I^2 \times R$

$R = \text{weerstand in } \Omega. W = \frac{U^2}{R}$

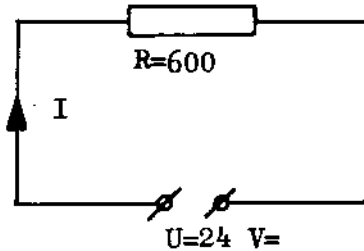
R

W = vermogen in Watt.

Voorbeeld: zie figuur

**Gevraagd: 1<sup>e</sup> stroom door de weerstand in A.**

2e vermogen van de weerstand in Watt



Oplossing:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{24}{600} = 0,04 \text{ Amp.}$$

$$W = U \times I = 24 \times 0,04 = 0,96 \text{ Watt}$$

$$\text{Of: } W = I^2 \times R = 0,04^2 \times 600 = 0,96 \text{ Watt}$$

$$\text{Of: } \frac{U^2}{R} = \frac{24^2}{600} = 0,96 \text{ Watt}$$

R 600

Voor deze schakeling dient dus een weerstand te worden gekozen van tenminste 1 Watt.

1/8 Watt.
1/4 Watt.
1/2 Watt.
1 Watt.
2 Watt.
5 Watt.
10 Watt.
20 Watt.

Hiernaast een tabel van de meest voorkomende belastbaarheidwaarden van weerstanden.

De eerste drie worden vooral in de elektronica toegepast.

Het vermogen van een weerstand wordt bepaald bij een temperatuur van 40°C.

Wanneer deze temperatuur wordt overschreden daalt de belastbaarheid van de weerstand.

## Weerstand reeksen.

De weerstandwaarden worden opgesteld volgens een aantal internationale standaardreeksen.

Veel voorkomende reeksen zijn:

E 12

E 24

Onderstaand van deze reeksen een tabel:

E12	E 24
1 $\Omega$	1,1 $\Omega$
1,2 "	1,3 "
1,5 "	1,6 "
1,8 "	2,0 "
2,2 "	2,4 "
2,7 "	3 "
3,3 "	3,6 "
3,9 "	4,3 "
4,7 "	5,1 "
5,6 "	6,2 "
6,8 "	7,5 "
8,2 "	9,1 "

Deze basiswaarden kunnen nu steeds met

10

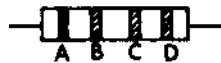
100

1.000

10.000

enz.

worden vermenigvuldigd om de volgende waarde te kunnen verkrijgen.



Voorbeeld:

***Uit de instructie set "Elektronik 1"***

A = rood

B = rood

C = zwart

D = zilver

Volgens kleurentabel is:

**A = 2**

B = 2

C = geen

D = 10%

***De waarde is dus 22  $\Omega$  – 1 Watt***

Deze weerstand komt dus uit de E 12 reeks.

### Opgaven.

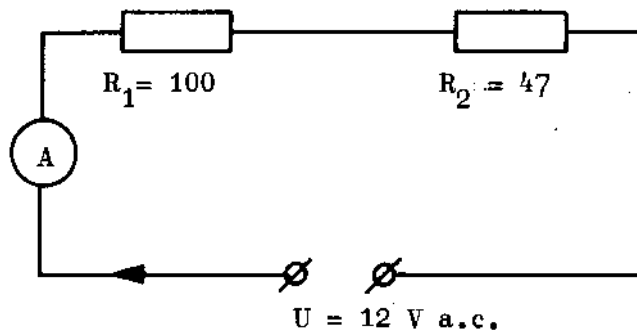
Geef de kleurringen aan van de weerstanden uit de instructie set Elektronik 1.

	Kleur A Rood	Kleur B Rood	Kleur C Zwart	Kleur D Zilver	Tolerantie 10%
1x 22 $\Omega$ - 1W					
1x 47 $\Omega$ - 1W					
1x 56 $\Omega$ - 1W					
2x100 $\Omega$ - 1W					
2x 220 $\Omega$ - 1W					
1x 470 $\Omega$ - 1W					
3x 1 K $\Omega$ - 1W					
1x 1,5 K $\Omega$ - 1W					
1x 2,2 K $\Omega$ - 1W					
1x 4,7 K $\Omega$ - 1W					
2x 10 K $\Omega$ - 1W					
1x 15 K $\Omega$ - 1W					
2x 22 K $\Omega$ - 1W					
1 x 3,3 $\Omega$ ca. 5W					
1x 10 $\Omega$ ca. 5W					
1x 22 $\Omega$ ca. 5W					
1x 68 $\Omega$ ca. 5W					
1x 100 $\Omega$ ca. 5W					
1x200 $\Omega$ ca. 5W					

Bovenstaande weerstanden behoren tot de E..... reeks.



### OPGAVE A.



Bereken R totaal

Bereken I.

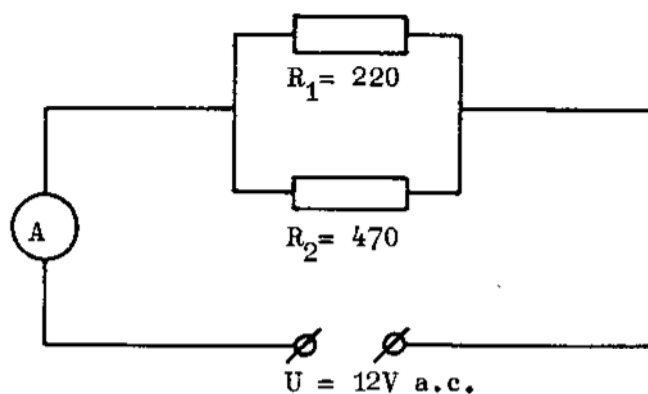
Bereken spanning over  $R = 100$

Bereken spanning over  $R = 47$

Bereken vermogen van de weerstanden

Stel deze schakelingen samen en meet deze waarden met een instrument.

### OPGAVE B.



Bereken R totaal

Bereken I totaal

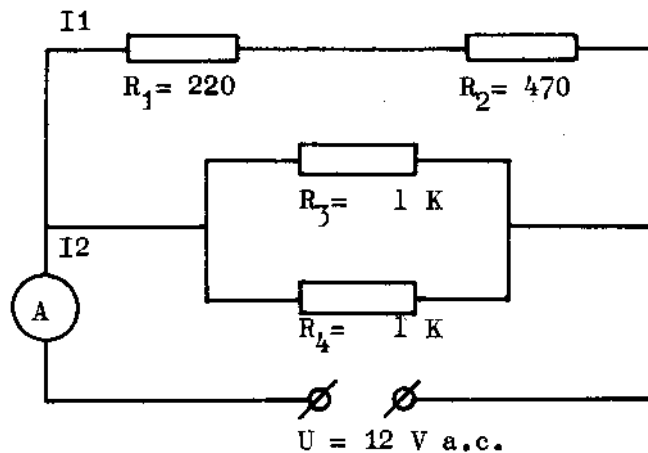
Bereken stroom door  $R = 220$

Bereken stroom door  $R = 470$

Bereken vermogen van de weerstanden.

Stel deze schakelingen samen en meet deze waarden met een instrument.

### OPGAVE C.



Bereken R vervinging.

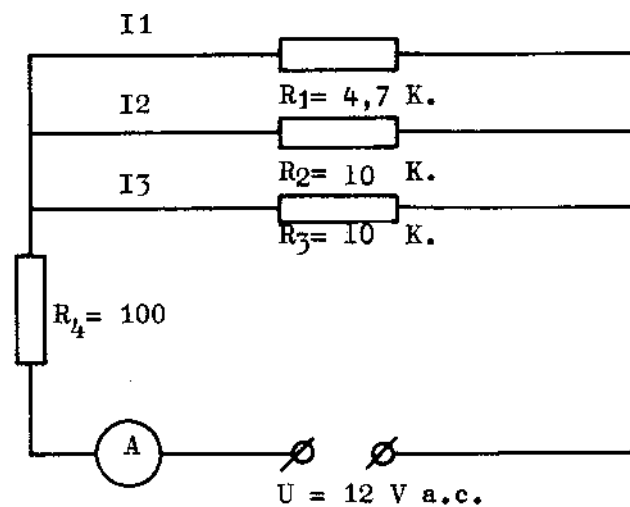
Bereken J totaal.

Bereken I1 en I2.

Bereken vermogen van de weerstanden.

Stel deze schakeling samen en meet deze waarden met een instrument.

### OPGAVE D.



Bereken R vervinging.

Bereken I totaal.

Bereken I1 – I2 en I3.

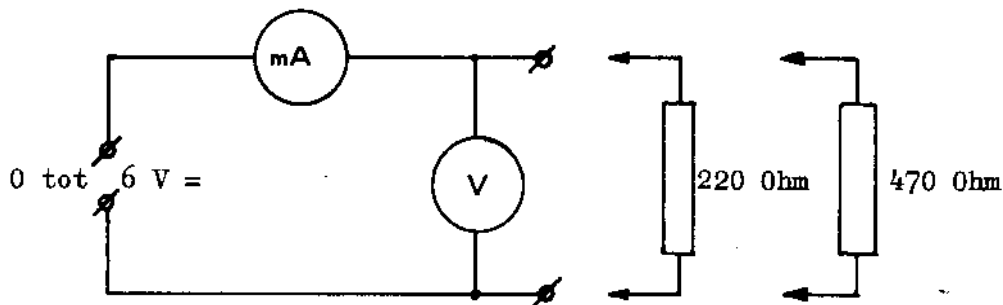
Bereken vermogen van de weerstanden.

Stel deze schakeling samen en meet deze waarden met een instrument.

Bepalen van U – I karakteristiek van een lineaire weerstand.

220 Ohm.		470 Ohm.	
U Volt	I m Amp.	U Volt	I m Amp.
1		1	
2		2	
3		3	
4		4	
5		5	
6		6	

Stel uit de instructie set Elektronik 1 de volgende schakeling samen;



Ga door meting na hoe groot de stroom is door elke weerstand bij de in de tabel aangegeven spanningen.

Teken op millimeter papier de uitkomsten van bovengenoemde metingen en stel de U-I karakteristiek samen door de diverse punten met elkaar te verbinden.

Deel de grafiek in als aangegeven op pagina 31 :

$I = f(U)$  hetgeen wil zeggen dat men de stroom uitzet op de verticale as.

(2 mA per cm) terwijl de spanning wordt uitgezet op de horizontale as.

(0,5 V per cm).

#### VRAGEN:

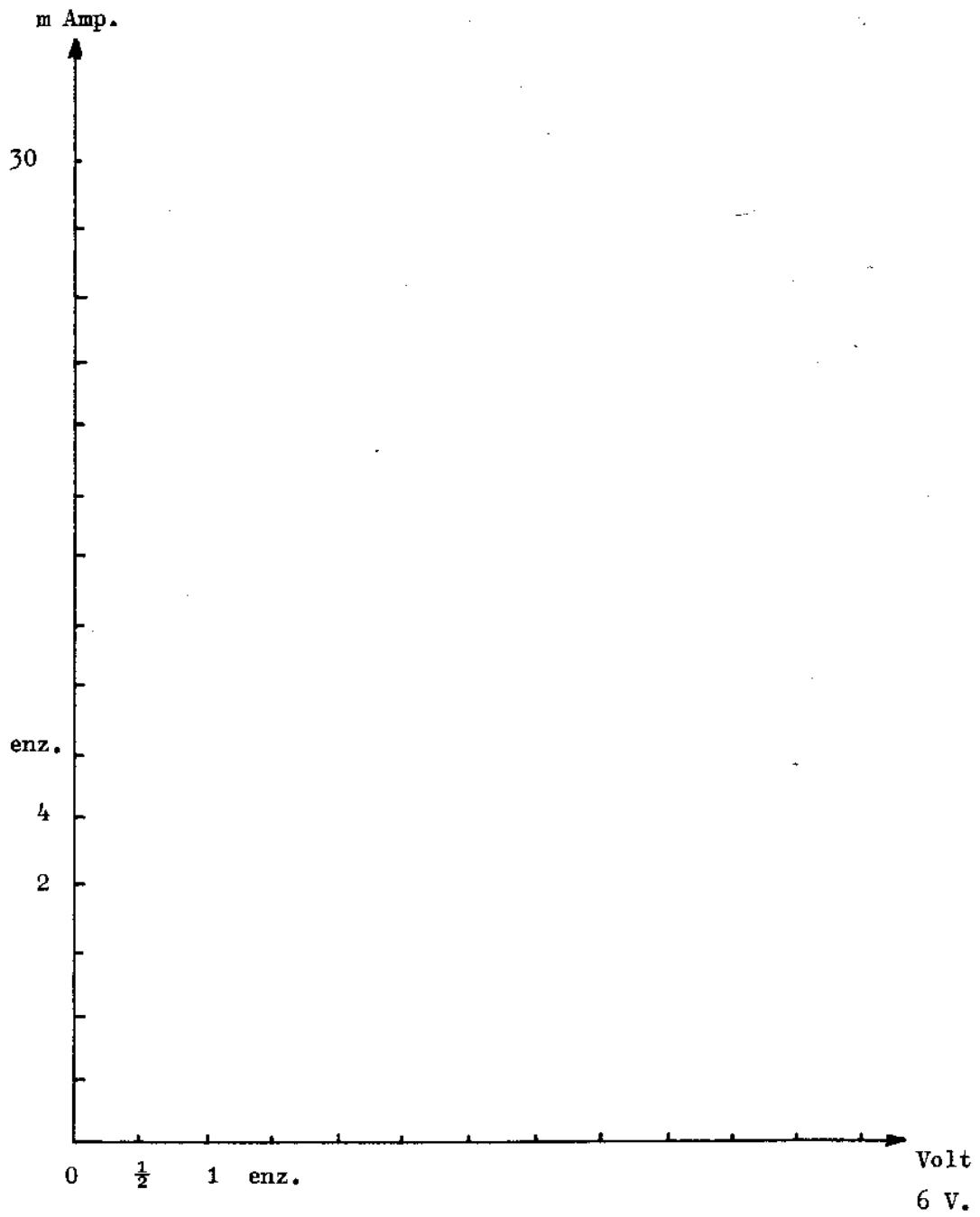
Welke vorm krijgt de curve?

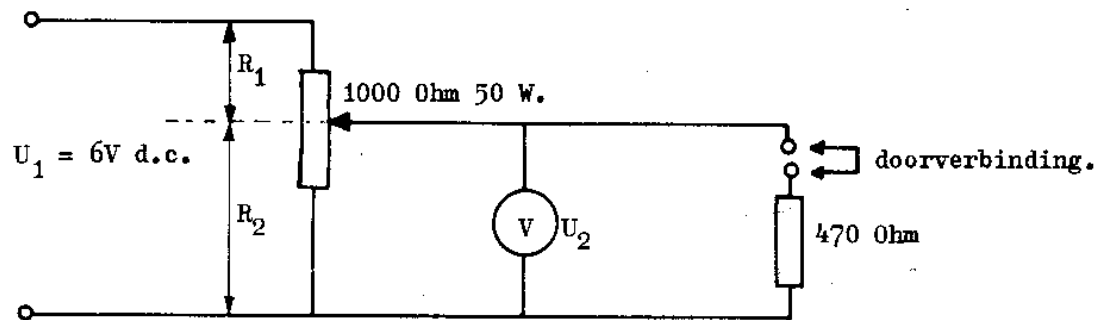
Wat bepaalt de helling van de grafiek.

#### CONTROLE:

Maak de controle berekening van de uitkomsten van de gemeten waarden van de 2 weerstanden. Denk eraan dat weerstanden een bepaalde tolerantie hebben.

Weerstanden karakteristiek





Onbelast. $U_2$ Volt	Bereken. $R_2$ Ohm	Belast. $U_2$ Volt
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		

Stel deze schakeling samen uit de instructie set Elektronik 1

Bereken de waarden  $R_2$  voor de diverse in de tabel aangegeven spanningswaarden van  $U_2$ , waarbij ervan wordt uitgegaan dat de spanningsdeler ( $R_1$  en  $R_2$ ) niet worden belast.

Sluit de schakeling aan op de 6V d.c. en stel vervolgens na elkaar de in de tabel aangegeven spanningen in.

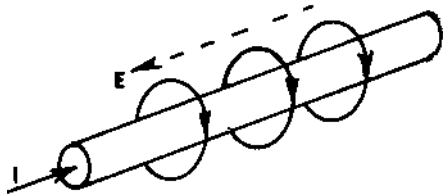
Belast na elke ingestelde waarde de spanningsdeler met de vaste weerstand en meet de spanning  $U_2$ .

Teken een grafiek op millimeter papier voor  $U_2$  in belaste en onbelaste toestand van de spanningsdeler beide als functie van  $R_2$  ( $R_2$  zijn de berekende waarden).

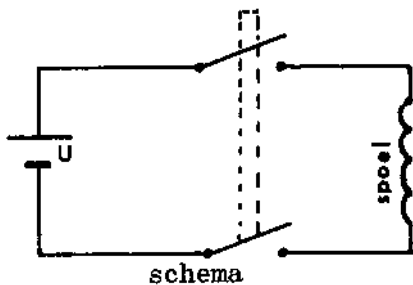
## 4. Spoelen.

### Zelfinductie.

Elke verandering van een magnetisch veld in b.v. een ijzerkern, waaromheen een geleider is aangebracht, b.v. een aantal windingen van geïsoleerd koperdraad, zal in deze geleider een spanning opwekken (induceren).



Wanneer deze geleider een gesloten kring vormt, zal bij verandering van het magnetisch veld eveneens een variërende stroom ontstaan. Omgekeerd zal, indien men door een geleider om een ijzerkern een stroom stuurt, om deze kern een geconcentreerd magnetisch veld ontstaan.



Gedurende de tijd dat het magnetisch veld worden opgebouwd, wordt er in de geleider een spanning respectievelijke stroom opgewekt, die het ontstaan van dit magnetische veld tegenwerkt. Dit verschijnsel wordt zelfinductie genoemd.

Door deze zelfinductie zal in een geleider waarop een spanning wordt aangelegd, de stroom niet onmiddellijk de maximale waarde bereiken.

Deze waarde wordt pas na zekere tijd bereikt, omdat door het opbouwen van het magnetische veld een

In tegenspanning ontstaat.  
verwaarloosbaar.

ins erg klein en

Echter in een geleider welke met veel windingen om een ijzerkern is aangebracht speelt deze tegenspanning ( zelfinductie) een grote rol.

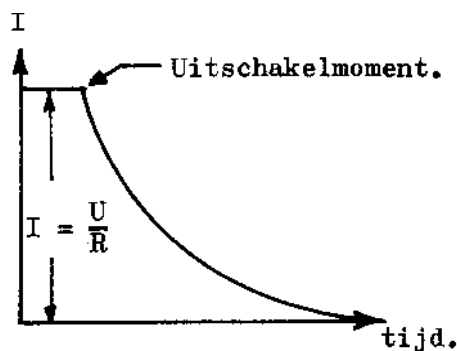
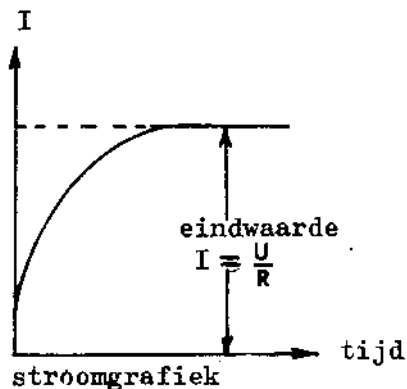
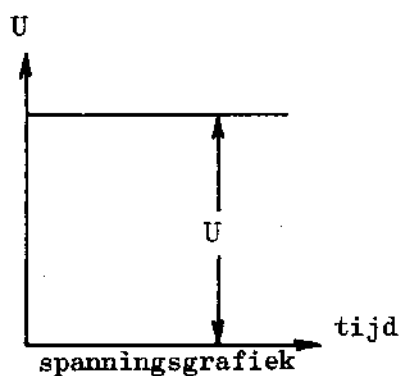
In het schema hierboven is een spoel via een schakelaar aangesloten op een gelijkspanning. Worden de contacten van de schakelaar gesloten dan staat de volledige gelijkspanning over de spoel en zal zich in deze spoel een stroom van plus naar min opbouwen.

Het verschijnsel zelfinductie wekt echter een stroom op welke tegengesteld gericht is aan de stroom van de aangelegde gelijkspanning.

Het zal dus enige tijd duren voordat de stroom door de spoel zijn maximale waarde bereikt heeft.

Afhankelijk van de  $\Omega$ se weerstand en aantal windingen van de spoel en de grootte van de ijzerkern kan het zelfs diverse seconden duren voordat de stroom zijn maximale waarde bereikt.

In de grafieken wordt het verband tussen aangelegde spanning en resulterende stroom afgebeeld.



Wanneer de stroom naar de spoel wordt onderbroken, dan wordt door het wegvallen van het magnetisch veld in de spoel een spanning respectievelijk stroom opgewekt welke zullen trachten het bestaande magnetische veld te handhaven zodat de spanning en de stroom niet onmiddellijk naar nul zullen dalen.

De inductiespanning en stroom zullen in tegendeel eerst stijgen en wel in gelijke richting als de spanning en stroom welke worden onderbroken, aangezien elke inductiespanning en stroom ontstaan tegenwerken.

De inductieve spanningswaarde hangt af van:

- Aantal windingen van de spoel.
- Grootte van de kern, materiaal en opbouw.
- Sterkte van het magnetisch veld.
- Stroomvariatie per tijdseenheid (frequentie).

De inductieve spanning heeft als formule symbool het teken  $U_L$ .

$$\text{Formule: } U_L = I \times 2\pi \times f \times L.$$

$U_L$  = Inductieve spanning

I = Stroom in ampère

$$2\pi = 2 \times 3.14$$

f = frequentie

L = aantal Henry

Doe in de formule genoemde  $L = \dots$  Henry is de coëfficiënt van zelfinductie van een spoel en heeft als symbool het teken H.

H = Henry

MH = Milli-Henry

uH = Micro-Henry

Wanneer in een spoel de stroom toeneemt of afneemt met een waarde van 1 ampère per seconde en daardoor een spanning induceert van 1 Volt, dan heeft de spoel een coëfficiënt van zelfinductie van 1 Henry.

Formule :  $U = L \times \frac{I}{T}$

Sluit men een spoel aan op gelijkspanning en de stroom blijft onveranderd, dan begrenst allen de  $\Omega$ se weerstand van de wikkelingen de stroom, aangezien er geen spanninginductie plaats vindt bij een onveranderlijke stroom.

### Spoelen aangesloten op wisselspanning.

Wordt een spoel met kern echter aangesloten op een wisselspanning dan levert deze tevens een inductie spanning op die de stroom t.o.v. de resulterende klemspanning en de  $\Omega$ se weerstand a.h.w. verlaagd zodat de spoel behalve een  $\Omega$ se weerstand ook een inductieve weerstand bezit.

Deze wordt reaktantie genoemd en wordt verder aangeduid met XL.

Hieruit komt het verschijnsel voort dat eenzelfde spoel aangesloten op wisselspanning een hogere weerstand vertoont dan voor gelijkspanning.

Deze inductieve weerstand van een spoel, kan worden opgevat als een bijzonder soort weerstand, aangezien ze niet direct aanleiding geeft tot energieverlies.

Formule:  $X_L = 2\pi f \times L$ .

$X_L$  = Inductieve weerstand

=  $2\pi$

$2 \times 3,14$

f = frequentie in Hertz

L = aantal Henry

Een spoel wordt aangesloten op een wisselspanning van 12V – 50 Hz.



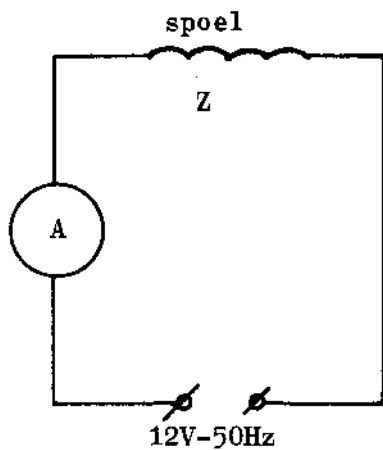
Voorbeeld:

Gegevens: • Spanning 12 V wisselspanning

frequentie : 50 Hz

Zelfinductie L = 0,05 Henry

$\Omega$ se weerstand spoel te verwaarlozen



Bereken:

$X_L =$  Reaktantie in  $\Omega$

**$I =$  stroomsterkte in Ampere**

Berekening:

$$X_L = 2\pi \times f \times L = 2 \times 3,14 \times 50 \times 0,05$$

$$X_L = \text{is dus } 15,7 \Omega$$

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{12}{15,7} = \text{ca. } 0,8 \text{ Amp.}$$

De stroom door een spoel met een bepaalde  $\Omega$ se weerstand aangesloten op een gelijkspanning blijft

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

Sluit men dezelfde spoel aan op een wisselspanning dan wordt deze stroom bepaald door  $\Omega$ se weerstand R en Inductieve weerstand XL zodat de stroom lager zal zijn dan bij aansluiting op gelijkspanning.

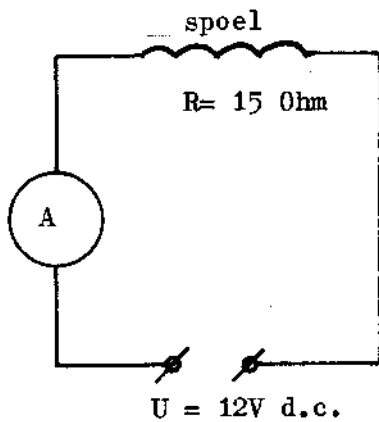
Deze weerstand R + XL bij wisselspanning noemt men impedantie en wordt aangeduid met de letter Z.

De stroomsterkte bij wisselspanning wordt da:

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

### OPGAVE A.

Een spoel met kern wordt aangesloten op gelijkspanning.



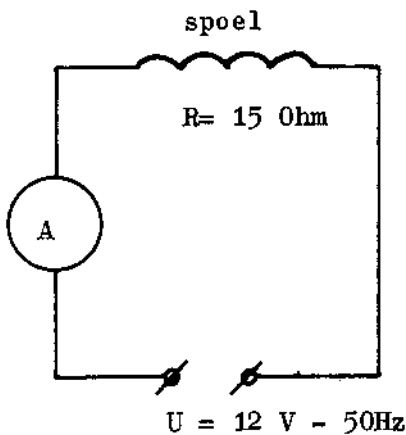
$$U = \text{spanning} = 12 \text{ V} =$$

$$R = \Omega \text{se weerstand} = 15 \Omega.$$

Bereken de stroom I door de spoel

### OPGAVE B.

Nu dezelfde spoel aangesloten is op 12 V wisselspanning 50 Hz.



$$U = \text{spanning} = 12 \text{ V wisselspanning.}$$

$$R = \Omega \text{se weerstad} = 15 \Omega.$$

$$f = \text{frequentie} = 50 \text{ Hz.}$$

$$L = \text{Zelfinductie} = 0,1 \text{ H.}$$

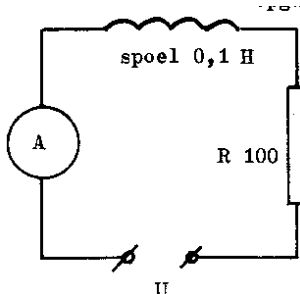
Bereken  $X_L =$  reaktantie in  $\Omega$ .

$Z =$  samengestelde weerstand.

$I =$  in ampère.

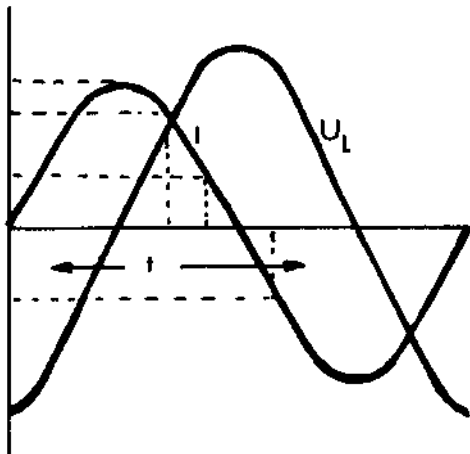
In de set Instructie set Elektronik 1 bevindt zich een spoel met kern (smoorspoel genoemd), waarvan de gegevens met de opgaven in A en B overeenkomen. Deze smoorspoel kan echter geen hogere stroom verdragen dan 0,15 Amp. Stel nu een schakeling met deze smoorspoel in serie met een weerstand samen volgens schema C.

### OPGAVE C.



- Bereken I totaal bij aansluiting op 12 V d.c.
- Bereken I totaal bij aansluiting.
- Meet deze waarden met een instrument.

Fase verschuiving.



Als een spoel met b.v. een ijzern kern wordt aangesloten op een wisselspanning wordt tevens een wisselende inductiespanning opgewekt en daardoor een wisselende stroom en een wisselend magnetisch veld.

Anders gezegd:

Bij : wisselende spanning

Een: wisselende inductiespanning

Een: wisselende stroom

En een: wisselend magnetisch veld.

De wisselende inductiespanning ( aangeduid als  $U_L$ ) zal bij:

Stijgende stroom dalen  
Dalende stroom stijgen

De inductiespanning  $U_L$  zal het hoogst zijn wanneer de stroom de nullijn passeert, aangezien de stroomverandering per tijdseenheid huist hier het grootst is.

De inductiespanning  $U_L$  zal het laagst zijn (=0) wanneer de stroom de maximale waarde juist passeert, aangezien de stroomverandering per tijdseenheid hier nihil (0) is.

De inductieve spanning  $U_L$  in een spoel is  $90^\circ$  verschoven t.o.v. de stroom door de spoel.

De op de spoel aangesloten spanning (aangeduid als  $U_R$ ) brengt een stroom voort welke hiermede in fase is, d.w.z. deze onmiddellijk volgt.

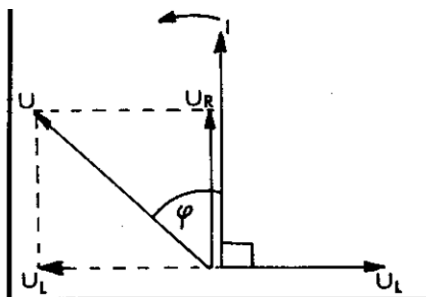
De inductiespanning  $U_L$  is echter  $90^\circ$  hiermede in fase verschoven.

D.w.z. dat  $U_L - 90^\circ$  loopt op  $U_R$ .

De resulterende spanning aan de aansluitklemmen van de spoel (aangeduid als  $U$ ) wordt op het ene moment door de inductiespanning  $U_L$  tegenwerkt, terwijl op het andere moment deze inductiespanning  $U_L$  juist helpt ( $U$ ) te blijven bestaan.

Anders gezegd: De stroom door een spoel is het resultaat van  $U_L$  en  $U_R$ .

In het vektordiagram is de plaats van de spanning aangegeven in relatie tot de stroom door een spoel met ijzern kern.

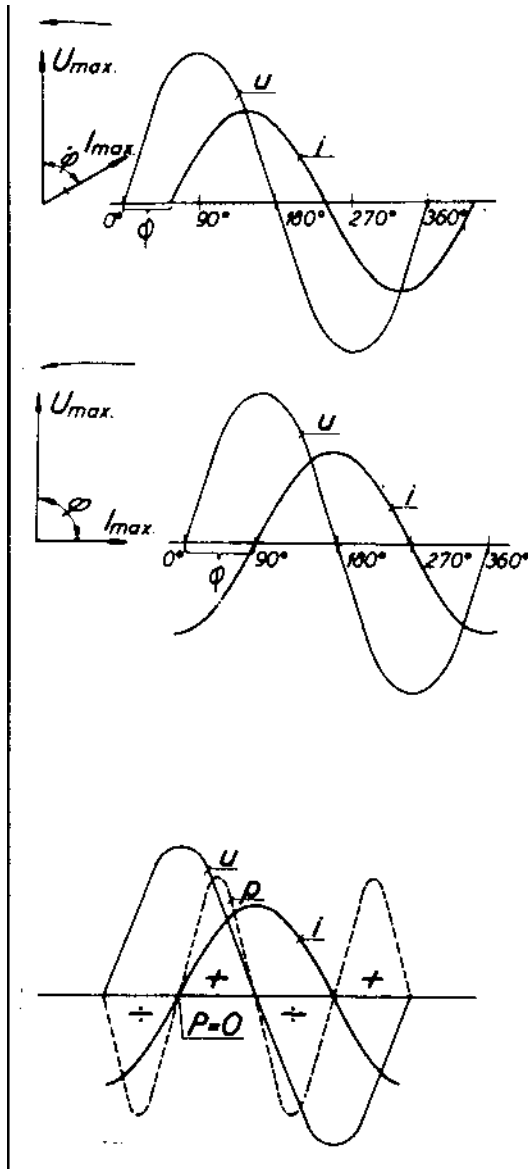


Uit tekenkundig oogpunt wordt  $U_L$  horizontaal gestippeld uitgezet en de stroom  $I$  loodrecht  $90^\circ$  hierop.

De inductiespanning  $U_L$  is dus  $90^\circ$  in fase verschoven met de stroom  $I$ .

Vectoren draaien altijd linksom.

Dus tegen de wijzers van de klok in.



Bij zuiver inductief gedachte belastingen, dus zonder  $\Omega$ se weerstand, is het energie verbruik in de tijd gezien nihil (0).

Een spanning of stroom welke in fase zijn verschoven kan worden getekend met vectoren welke met eenzelfde constante snelheid ronddraaien. Echter altijd onder dezelfde hoek als waarmede stroom en spanning met elkaar in fase zijn verschoven. Wordt een spoel met een ijzerkern, zoals b.v. in elektromotoren, aangesloten op een spanning, dan ontstaat een bepaalde mate van zelfinductie. Zou de belasting echter zuiver inductief zijn. D.w.z. zonder  $\Omega$ se weerstand, is echter niet te realiseren en is daarom ook uitsluitend bedoeld als denkwijze. Gaan wij echter theoretisch uit van een spoel met alleen een inductieve weerstand, dan zal op een willekeurig moment het energieresultaat gelijk zijn aan het product van de dan aanwezige spanning en stroom. Punt voor punt aangezet is een grafiek op te stellen van het energieverloop (aangeduid met een  $P$ ). Uit de grafiek blijkt dan dat de energie zowel positief + als negatief - is. Met andere woorden: Gedurende de helft van een halve periode neemt de spoel energie op welke in de daarop volgende halve periode weer wordt teruggeleverd.

Dit soort inductieve verschijnselen zijn daarom geen aanleiding tot energieverlies.

*Reactieve energie.*

Verwisselt men spanning en stroom welke  $90^\circ$  met elkaar in fase zijn verschoven, dan is het energieresultaat gelijk d.w.z. eveneens reactief.  
Deze vorm van energie wordt niet aangegeven in Watt maar in Var.

Wanneer een spoel wordt aangesloten op gelijkspanning dan wordt de stroom begrensd door alleen de  $\Omega$ se weerstand van de wikkeling.  
Warmte ontwikkeling in de spoel ontstaat in deze spoelen alleen wanneer deze wordt aangesloten op een te hoge spanning waardoor er een te hoge stroom gaat vloeien.  
Bij spoelen met een kern aangesloten op een wisselspanning ontstaat warmte ontwikkeling niet alleen door aansluiting op een te hoge spanning, doch ook door de wervelstroomverliezen, die bij spoelen met ijzernkernen zeer groot kunnen zijn t.o.v. spoelen zonder kern.  
Warmte ontwikkeling.

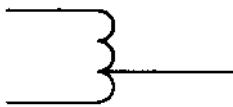
Er bestaan diverse uitvoeringen van spoelen b.v.:  
Laagfrequent spoelen.  
Laagfrequent transformatoren.

Deze zijn meestal uitgevoerd met ijzernkernen opgebouwd uit lamellen (dunne plaatjes).  
Hoogfrequent spoelen.  
Hoogfrequent transformatoren.

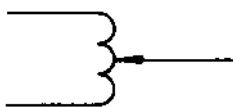
Deze zijn meestal uitgevoerd met een ferroxcube kern of een luchtkern.

Er bestaan vele soorten spoelen, onder te verdelen in:  
Vaste spoelen  
Instelbare spoelen

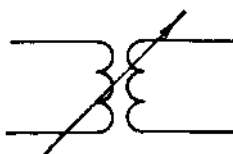
Variabele spoelen.



De zelfinductie van spoelen kan worden veranderd door de kern van de spoelen iets te bewegen of te verplaatsen.



Trafo zonder gescheiden wikkelingen.



Spoel met kern.

Trafo met gescheiden wikkelingen.

Regelbare trafo zonder gescheiden wikkelingen.

Regelbare trafo zonder gescheiden wikkelingen.

## 5. Condensatoren.

### Principe.

Een condensator bestaat uit 2 geleiders welke zijn gescheiden door een isolator. Deze isolator kan bestaan uit lucht, door b.v. de geleiders op een bepaalde afstand van elkaar te plaatsen, of uit een materiaal met een zeer hoge elektrische weerstand (isolator).

Deze lucht of isolerende materialen worden Diëlektricum genoemd.

Men kan een condensator enigszins vergelijken met een weerstand voor wisselstroom en met een "isolator" of accu voor gelijkstroom.

Een condensator kan een bepaalde hoeveelheid lading opnemen.

Deze hoeveelheid lading, capaciteit genoemd, wordt aangegeven in de eenheid.

F = Farad.

Deze eenheid is in het algemeen veel te groot. Daarom worden condensatoren dan ook aangegeven in:

Milifarad (mF) =  $10^{-3}$ F

Microfarad (uF) =  $10^{-6}$  F

Nanofarad (nF) =  $10^{-9}$ F

Picofarad (pF) =  $10^{-12}$  F

Wij zullen nu nagaan welke factoren de capaciteit van een condensator bepalen.

Wanneer men de afstand tussen 2 geleiders (condensatorplaten) halveert, dan is de condensator in staat een 2 x zo grote hoeveelheid lading op te nemen. Wordt de afstand tussen de condensatorplaten echter verdubbeld, dan kan de condensator nog maar de helft van de hoeveelheid lading opnemen.

Alles gemeten bij dezelfde spanning.

De capaciteit van een condensator is dus omgekeerd evenredig met de afstand tussen de platen.

Maakt men de platen 2 x zo groot dan kan de condensator ook 2 x zoveel lading opnemen.

De capaciteit van een condensator is dus evenredig met de oppervlakte van de platen.



Diëlektricum.

Een condensator zal op een bepaalde spanning aangesloten een grotere lading kunnen opnemen wanneer de ruimte tussen de platen in plaats van met lucht, met een isolerende stof wordt gevuld.

Stoffen zoals papier, mica, keramiek, polyester enz. geleiden beter elektrische krachtlijnen dan lucht.

Dit geleidingsvermogen voor krachtlijnen wordt diëlektriciteitsconstante genoemd, en wordt aangegeven met de Griekse letter

$\epsilon$  = Ipsilon.

$\epsilon$  = Ipsilon

is een waarde die aangeeft hoeveel maal de capaciteit van een condensator groter wordt door gebruik te maken van een isolerende stof in plaats van lucht.

Aangezien de diëlektriciteitsconstante een waarde is ten opzichte van de elektrische eigenschappen van lucht, (dus relatief is ten opzichte van lucht) spreekt men doorgaans ook van een relatieve diëlektriciteitsconstante.

De relatieve diëlektriciteitsconstante van enkele stoffen is.

Lucht	1	Mica	6 - 8
Papier	1,8-2,6	Caliet	6,5
Parafine	2,0-2,3	Ethylalcohol	25,8
Eboniet	2,5-3,5	Nitro benzol	37,8
Polystyrol	2,2	Kondensa N	40
Plexiglas	3,0-3,6	Kondensa C	80
Impr. pap.	2,2-6,0	Keramiek	64
Bakeliet	3 - 5	Rosalt 90	85-95
Celluloid	3,3-3,5	Rosalt 40	32-40
Kwarts	3,75	Geriumtitanaat	20
Glas	5 - 8	Water	81
Pertinax	4.4-5.5	Rutiel	110

### Indeling en toepassing.

Condensatoren kunnen in twee hoofdgroepen worden ingedeeld t.w.:

Vaste condensatoren.

Variabele condensatoren.

Variabele condensatoren worden vooral veel in de radio techniek en zwakstroom techniek toegepast.

De vaste condensatoren worden veelal geleverd in de volgende uitvoeringen:

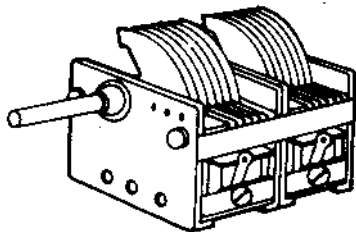
Elektrolytische condensatoren.(elco's).

Papier condensatoren.

Kunststoffolie condensatoren.

Mica condensatoren.

Olie gevulde condensatoren.

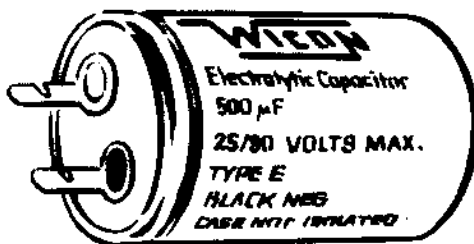


Variabele condensatoren worden veel in de radio techniek toegepast. Deze condensatoren zijn veelal opgebouwd uit een aantal vaste platen (statorplaten) en een aantal beweegbare platen (rotorplaten).

Tussen deze platen is een luchtruimte.

Door de rotorplaten te verdraaien tussen de statorplaten varieert de capaciteit.

Hoe verder de rotorplaten uit de statorplaten wegdraaien hoe kleiner de capaciteit wordt.



Elektrolytische condensator.

Deze condensator bestaat uit twee lagen aluminiumfolie waartussen een poreuze papierlaag is aangebracht.

In het poreuze papier wordt een vloeistof opgezogen.

Het geheel wordt als een rolletje opgewikkeld en in een cilindervormig busje opgeborgen.

In het deksel van dit busje is een geïsoleerd contact aangebracht wat inwendig is

aangesloten op de ene

laag aluminiumfolie, terwijl de andere laag aluminiumfolie is aangesloten op de bus zelf of op een 2<sup>e</sup> contact.

Voordelen:

Zeer grote capaciteit bij betrekkelijk kleine afmetingen.

Nadelen:

Uitsluitend geschikt voor lage gelijkspanning.

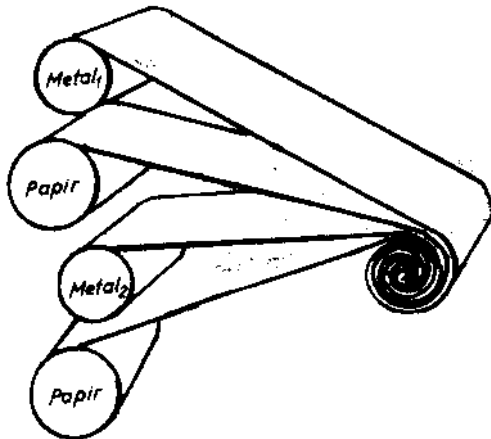
Zijn gepolariseerd, d.w.z. dat zij slecht in één richting op een spanning kunnen worden aangesloten.

De lekstroom is vrij groot ongeveer 0,1 tot 0,5 mA per nF.

Op de elektrolytische condensatoren zijn doorgaans 2 spanningen aangegeven.

Werkspanning is de laagste waarde. Deze mag continu op de condensator worden aangesloten.

Piekspanning is de hoogste waarde. Deze mag slechts gedurende korte tijd, b.v. bij inschakelen op de condensator komen.



De papier condensator bestaat uit twee lagen aluminiumfolie waartussen een dunne laag geïmpregneerd papier is aangebracht. Op elke laag aluminiumfolie wordt een aansluitdraad gelast waarna het geheel tot een rol wordt opgewikkeld en opgeborgen in een cilindervormig of rechthoekig busje.

Voordelen:  
 Vrij grote capaciteit t.o.v. de afmetingen.  
 Geschikt voor hoge spanning.  
 Niet gepolariseerd.

Nadelen:  
 Gevoelig voor vocht.  
 Vrij grote lekstroom

Een speciale uitvoering van de papier condensator is de gemetalliseerde papier condensator (MP).

Bij deze uitvoering wordt een laagje aluminium opgedampt op een papierlaag. Een groot voordeel van deze condensatoren is dat ze z.g. zelfherstellend zijn. Zelfherstellend wil zeggen dat wanneer doorslag plaats vindt dor het diëlektricum, waardoor aan beide zijden aluminium laag wegbrandt op diezelfde plaats de kruipweg over het papier voldoende groot is om opnieuw spanning te kunnen voeren. Afhankelijk van de grootte van de doorslag werkt de condensator weer normaal echter met een iets geringere capaciteit.

Voordelen:  
 Vrij grote capaciteit t.o.v. de afmetingen.  
 Geschikt voor hogere spanningen.  
 Niet gepolariseerd.  
 Zelfherstellend.

De constructie van deze condensatoren is vrijwel gelijk aan die van papier condensatoren.

De papierlaag is hier echter vervangen door een laag kunststoffolie. Een stof die zich uitstekend voor dit doel leent is polycarbonaat of polystyreen. Door de geringe verliezen en grote stabiliteit worden dit soort condensatoren op een breed gebied toegepast o.a. in de elektronica.

Voordelen:  
 Grote capaciteit t.o.v. de afmetingen.  
 Lage lekstroom  
 Grote stabiliteit  
 Leverbaar in toleranties kleiner dan 0,5%

Bij deze typen condensatoren word keramiek als diëlektricum gebruikt. De condensatoren bestaan in diverse vormen.



Dunne keramische plaatjes waarop aan beide zijden een tinlaag is aangebracht.  
Buisje van keramiek met een laagje tin aan de buitenzijde en een laagje tin aan de binnenzijde.

Schijfje keramiek met aan elke zijde aan  
laagje tin.

Na het opbrengen van de tinlaagje worden de condensatoren in een oven gebakken en voorzien van een aflaklaagje.

Voordelen:

Kleine afmetingen

Hitte bestendig

Kleine lekstroom

Nadelen:

Kleine capaciteit

Mechanisch kwetsbaar

Grote toleranties

Beïnvloeding van temperatuur op de capaciteitswaarde.

Bij deze condensatoren wordt mica als diëlektricum gebruikt. Aangezien mica moeilijk buigbaar is, worden de condensatoren meestal plat of rechthoekig gemaakt.

Als geleiders wordt verzilverd koperfolie gebruikt. Dit type condensator is geschikt voor zeer hoge frequentie en is zeer goed bestand tegen hoge temperaturen.

Vinden veel toepassingen in zendapparatuur.

Wanneer condensatoren voor zeer hoge spanningen en capaciteit geschikt moeten zijn wordt olie als diëlektricum toegepast. De afmetingen van deze condensatoren zijn zeer groot.

Condensatoren worden toegepast o.a. als:

Afvlak condensator in voedingsapparaten

Koppelement voor laag frequent signalen.

Ontkoppelement voor wisselspanningssignalen.

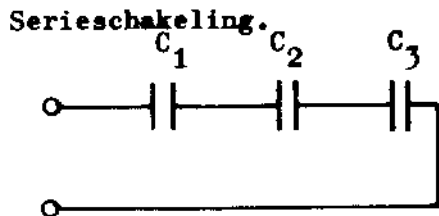
Frequentiebepalende filters.

Elektronische tijdschakelingen

En vele andere toepassingen in de Elektronica – Radio – Televisie en zendtechniek.

Voorbeelden.

Aangezien de wisselstroomweerstand, ook wel capacitantie genoemd, zich omgekeerd evenredig verhoudt met de capaciteit kan men niet de voor  $\Omega$ se weestand geldende rekenmethode voor serie en/of parallelschakelingen gebruiken.



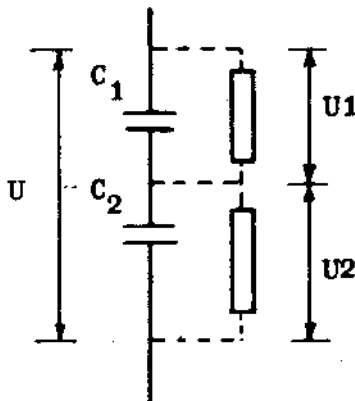
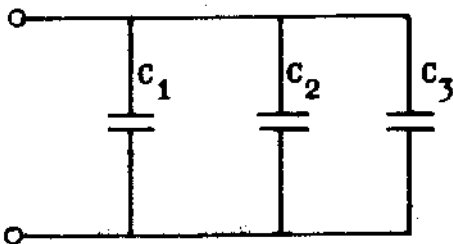
Men kan experimenteel vaststellen dat bij serieschakeling van condensatoren de uiteindelijke capaciteit gevonden kan worden door

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}.$$

Voor parallelschakeling vindt men:

$$C = C_1 + C_2 + C_3.$$

Bovenstaande formules kunnen uiteraard ook theoretisch bepaald worden



Bij serieschakeling verdeelt de spanning zich over de diverse condensatoren. Een dergelijke serieschakeling vormt een capacitieve spanningsdeler voor wisselspanningen. Wanneer de condensatoren dezelfde capaciteit bezitten staat in principe over elke condensator dezelfde deelspanning. Er moet wel rekening worden gehouden dat ook de isolatieweerstanden van de condensatoren werken als spanningsverdelers. Deze isolatieweerstanden moeten bij identieke capaciteiten eveneens even groot zijn, omdat anders niet gelijke spanningen over de condensatoren kunnen komen te staan. In de praktijk worden vaak parallel weerstanden welke kleiner zijn dan de isolatie weerstanden gebruikt om een juiste spanningsverdeling te verkrijgen. Wanneer de serie geschakelde condensatoren in capaciteit verschillen zal de condensator met de laagste waarde evenredig meer spanning opnemen, wanneer de ze worden aangesloten op wisselspanning. De toegestane werk-spanning mag

niet overschreden worden.

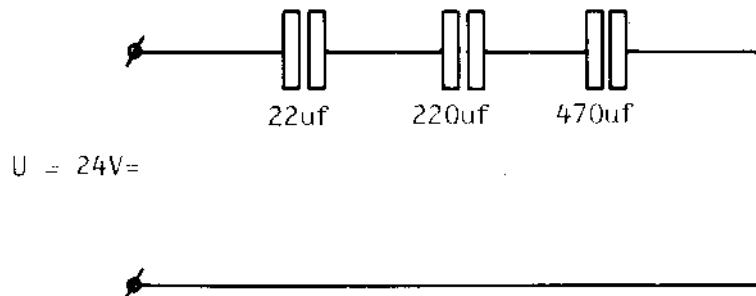
Bij parallelschakeling bepaald de condensator met de laagste werkspanning de toelaatbare aansluitspanning.



Elektrolytische condensatoren kunnen in wisselspanningscircuits toegepast worden in antiserie schakeling.

### OPGAVE A.

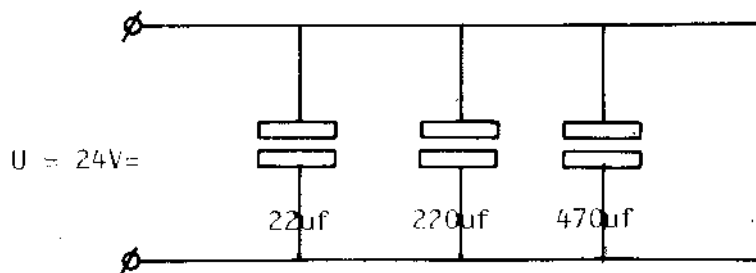
Serie schakelen.



Bereken de totale capaciteit van deze schakeling.  
Meet de spanning over elke condensator.

### OPGAVE B.

Parallel schakelen.



Bereken de totale capaciteit.  
De spanning over de condensatoren.

## 6. R.C. Lid.

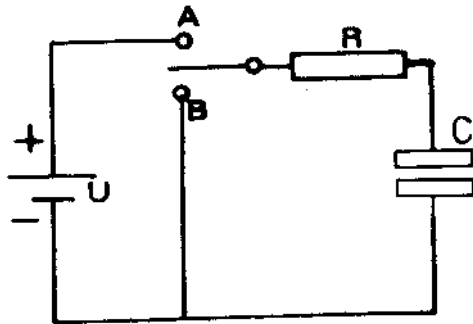
Op -en ontladen van condensatoren.

In elektrische schakelingen wordt vaak het R.C. of L.C. lid toegepast.

R.C. = een weerstand en condensator.

L.C. = een smoorspoel en condensator.

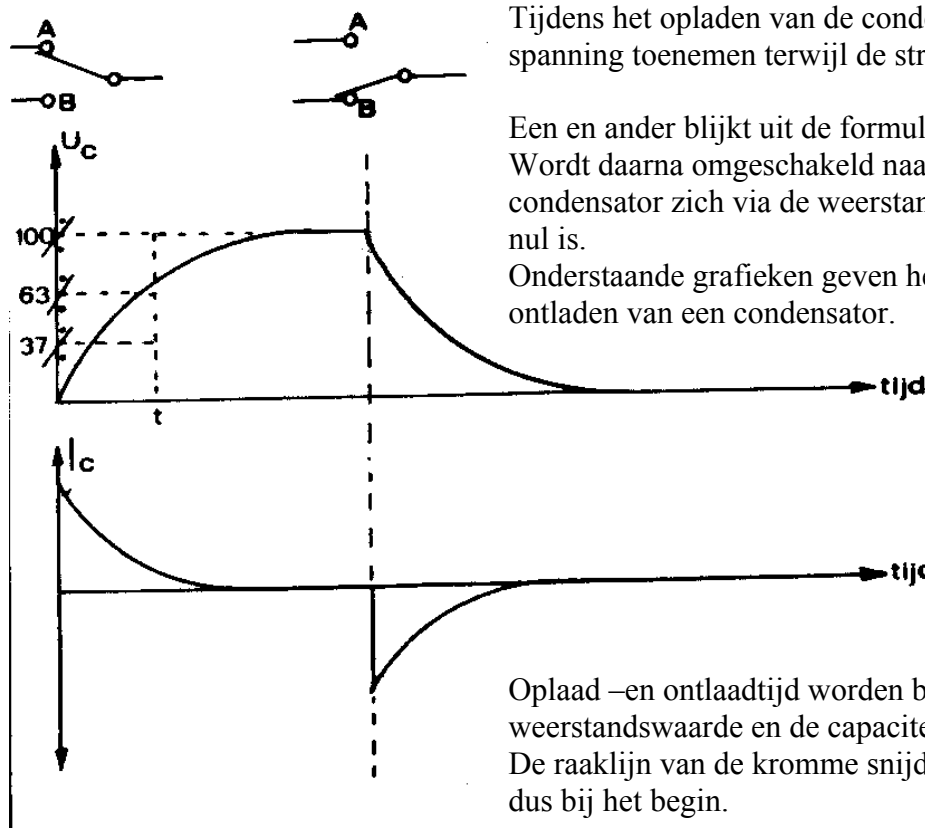
Hieronder volgt een toelichting op een R.C. lid en de eigenschappen hiervan.



In de afbeelding hiernaast is een R.C. lid getekend welke combinatie via een omschakelaar op een batterij kan worden aangesloten. In de stand A van de schakelaar zal de condensator worden opgeladen tot een spanning is bereikt welke gelijk is aan de batterijspanning U.

**De ladingsstroom welke naar de condensator vloeit kan worden berekend met de formule**

$$I_C = \frac{U - U_C}{R}$$



Tijdens het opladen van de condensator zal de  $U_C$  spanning toenemen terwijl de stroom  $I_C$  afneemt.

Een en ander blijkt uit de formule.

Wordt daarna omgeschakeld naar stand B dan zal de condensator zich via de weerstand R weer ontladen tot  $U_C$  nul is.

Onderstaande grafieken geven het verloop aan bij laden en ontladen van een condensator.

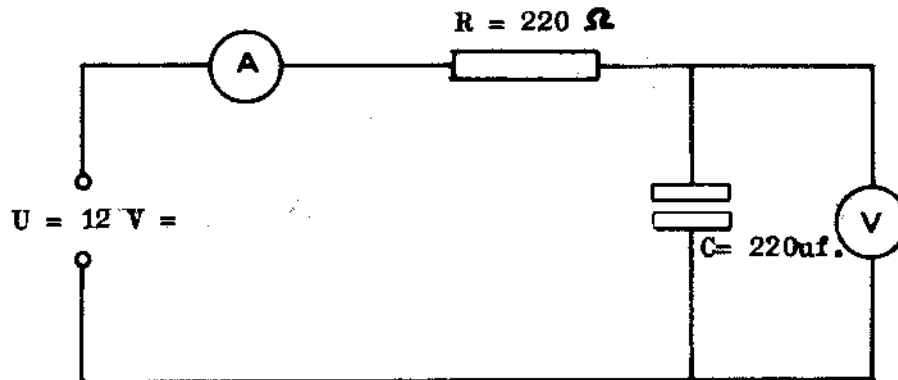
Oplaad -en onlaadtijd worden bepaald door de weerstandswaarde en de capaciteitswaarde.

De raaklijn van de kromme snijdt  $-t$  bij 100%, dus bij het begin.

De tijdconstante van een R.C. kan worden berekend met de formule :

$$T = R \times C$$

Met tijdconstante wordt bedoeld de tijd die nodig is om 63% van de aangelegde spanning te bereiken bij opladen, of 37% van de aangelegde spanning bij ontladen. Stel de volgende schakeling samen.



Bereken  $I_C$  bij inschakelen.

Bereken  $I_C$  bij 63% van  $U$ .

Meet de tijd die nodig is om 63% van  $U$  te bereiken.

Meet de tijd die nodig is om 100% van  $U$  te bereiken.

Zet punt voor punt een grafiek uit van de spanning  $U_C$  van 0 tot 100%.

Zet punt voor punt een grafiek uit van de stroom  $I_C$  tot  $I_C = 0$

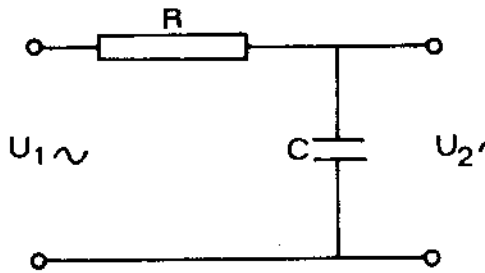
Maak dezelfde opgave maar nu met de schakeling:

$$R = 220 \Omega$$

$$C = 500 \mu F$$



## Laag doorlaat filter.



Een R.C. lid bestaat uit 2 geschakelde componenten (condensator + weerstand) waarvan de  $\Omega$ se weerstanden onafhankelijk van de frequentie altijd gelijk blijft.

De reactantie van een condensator wordt echter lager als de frequentie stijgt.

Lage frequenties kunnen daarom vrijwel ongehinderd passeren, terwijl hoge frequenties worden afgesneden.

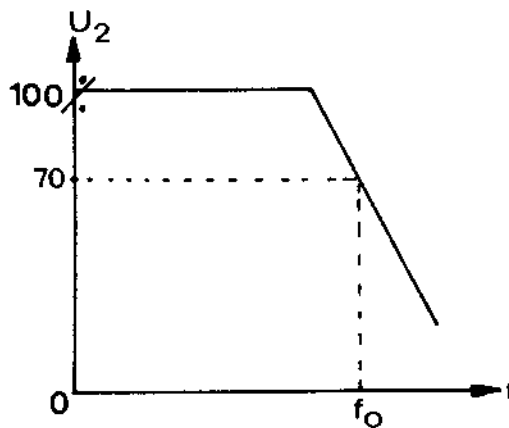
Aangezien deze afsnijding niet plotseling optreedt bij een zekere frequentie, maar geleidelijk over een zeker frequentiegebied, noemt men het punt waar deze afsnijding begint "grensfrequentie"

Deze wordt aangeduid met de letter  $f_0$ .

Als aan de laag doorlaat filter een lage sinusvormige spanning wordt toegevoerd en deze frequentie wordt gevarieerd dan meet men op punt  $U_2$  vrijwel gelijk waarden als op punt  $U_1$ . (zie schema hiernaast).

Voor hogere frequenties gaat echter de reactantie van een condensator dalen.

In dat geval zal ook  $U_2$  dalen..



De grensfrequentie  $f_0$  wordt gedefinieerd als frequentie waarbij  $U_R$  (spanning over de weerstand) gelijk is aan  $U_C$  (spanning over de condensator).

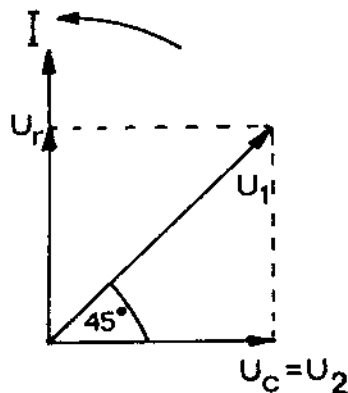
De spanning  $U_2$  is dan gelijk aan  $U_C$ .

Uit het vectordiagram blijkt echter dat  $U_1$  t.o.v.  $U_2$  met elkaar  $45^\circ$  in fase zijn verschoven.

Men kan  $U_2$  ook berekenen met de formule;

$$U_2 = U_1 \times 0,707$$

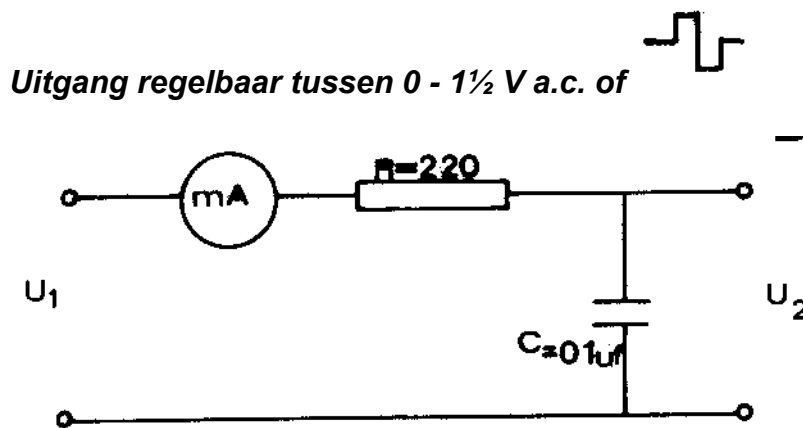
$U_1$  is dus ca. 70% van  $U_2$ .



De grensfrequentie  $f$  kan eveneens met een formule worden berekend en wel als volgt:

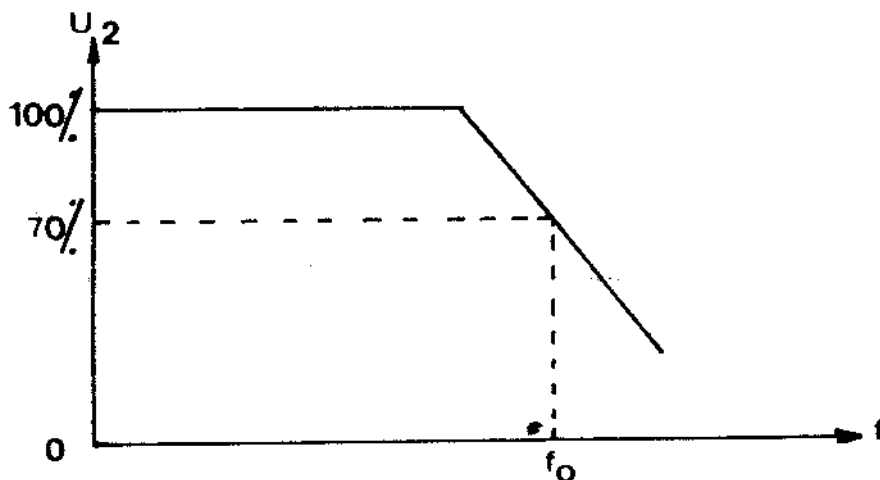
$$f_0 = \frac{1}{2 \times \pi \times R \times C}$$

Schakelingen met gebruikmaking van frequentie generator.



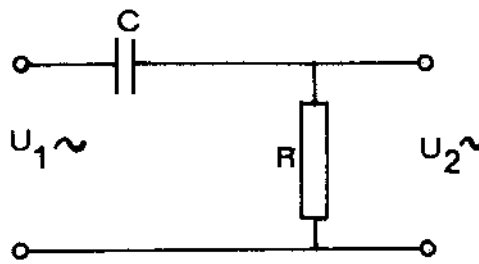
Bereken de stroom welke maximaal door dit filter mag gaan.  
Meet de spanning over U2 bij 200 Hz.

Meet bij welke frequentie de spanning daalt.  
Zet een grafiek uit als op pagina 52 is getekend en wel als volgt.



Laag doorlaat filters worden ook wel integrerende netwerken genoemd, aangezien hun werking associaties oproept met de wiskundige integratie bewerking.

## Hoog doorlaat filter.

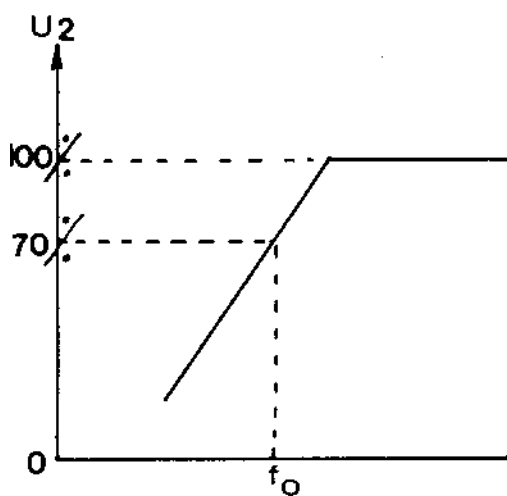


Verwisseld men de componenten van een R.C. lid zoals hiernaast is aangegeven, dan noemt men het een hoog doorlaat filter omdat het alleen de hoge frequenties laat passeren en de lage afsnijdt.

Voert men een sinusvormige wisselspanning aan een hoog doorlaat filter toe dan ziet men dat de uitgangsspanning  $U_2$  gelijk is aan  $U_1$ .

Men kan ook hier  $U_2$  berekenen met dezelfde formule

t.w.



$$U_2 = U_1 \times 0,707$$

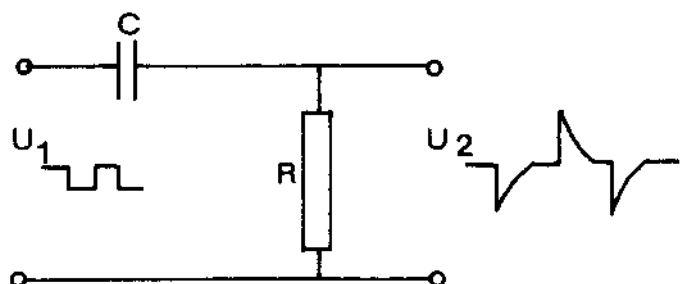
Eveneens zijn  $U_1$  en  $U_2$  met elkaar  $45^\circ$  in fase verschoven.

De grensfrequentie  $f_0$  kan ook hier worden berekend met de formule.

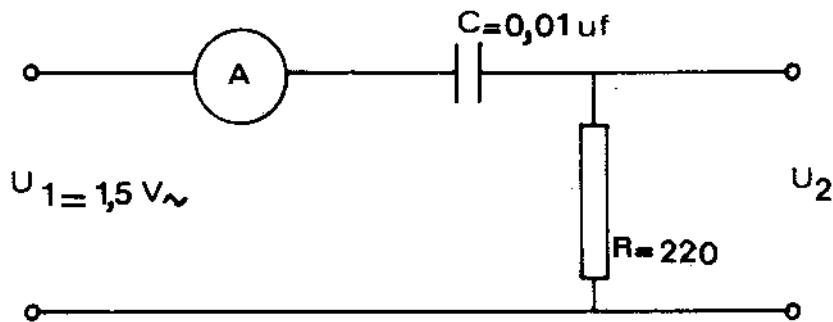
$$f_0 = \frac{1}{2 \times \pi \times R \times C}$$

Wanneer men een blokvormige frequentie op een hoog doorlaatfilter aansluit, worden aan de uitgang z.g. naaldimpulsen gevormd.

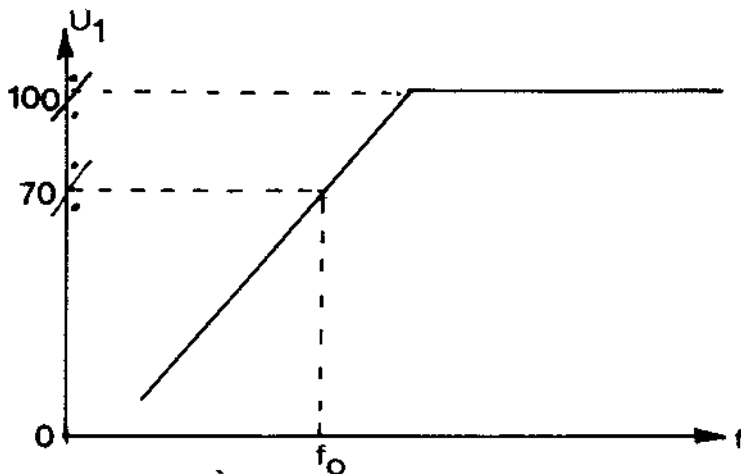
Deze naaldimpulsen worden b.v. gebruikt voor het aansturen van thyristors en in b.v. synchronisatie circuits.



Schakelingen met gebruikmaking van de frequentie generator.



Meet de vorm I door dit filter bij 200 Hz.  
 Meet de spanning U2.  
 Bij welke frequentie stijgt de spanning?  
 Zet een grafiek uit als volgt:



Welke frequentie heeft punt fo.

Hoog doorlaat filters worden ook wel differentiërende netwerken genoemd, aangezien hun werking associaties oproept met de wiskundige differentie bewerking.

## Capacitantie.

In circuits met condensatoren is de stroomsterkte afhankelijk van de capaciteit, de hoogte ervan de wisselspanning en de frequentie.

De wisselstroom weerstand van condensatoren noemt men capacatieve reactantie of capacitantie.

Capacitantie wordt uitgedrukt als:

$$X_C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times C}$$

$X_C$  = capacitantie in Ohm ( $\Omega$ ).

$C$  = capaciteit in farad (F).

$f$  = wisselstroom frequentie in Hz.

$2 \times \pi \times f = \omega$  (spreek uit omega).

$\omega$  = hoeksnelheid.

Wil men de capaciteit in uF uitdrukken dan wordt de formule:

$$X_C = \frac{10^6}{\omega \times C} \text{ Ohm.}$$

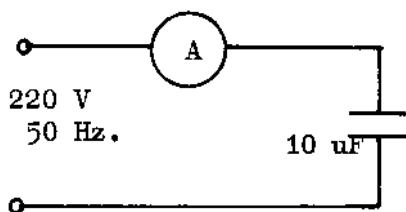
Stroom in deze circuits wordt berekend met de wet van  $\Omega$ :

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

Condensatoren nemen energie op en staan deze weer af, een verschijnsel dat wordt omschreven als capacatieve energie of reactieve energie.

$$P_R = U \times I_C$$

Waar  $I_C$  de stroom is welke vloeit in de aansluitdraden van de condensator.



Een papier condensator van 10 uF wordt aangesloten op een spanning van 220 Volt – 50 Hz.

Bereken:

De capacitantie

De stroomsterkte

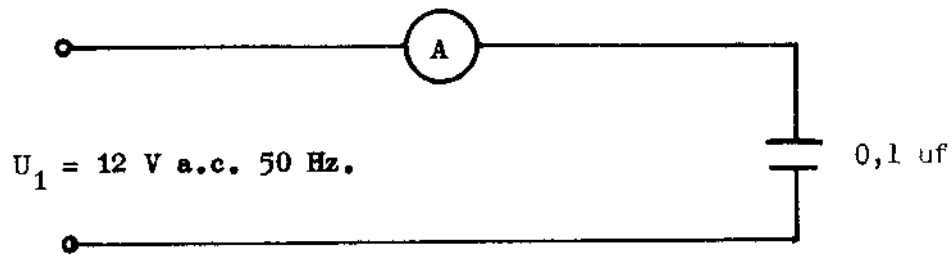
De reactieve energie.

$$1. X_C = \frac{10^6}{2 \times \pi \times f \times C} = \frac{10^6}{2 \times 3,14 \times 50 \times 10^{-6}} = 318,3$$

$$2. I_C = \frac{U}{X_C} = \frac{220}{318,3} = 0,691 \text{ A.}$$

$$3. P_R = U \times I_C = 220 \times 0,691 = 152 \text{ VAR.}$$

OPGAVE A.



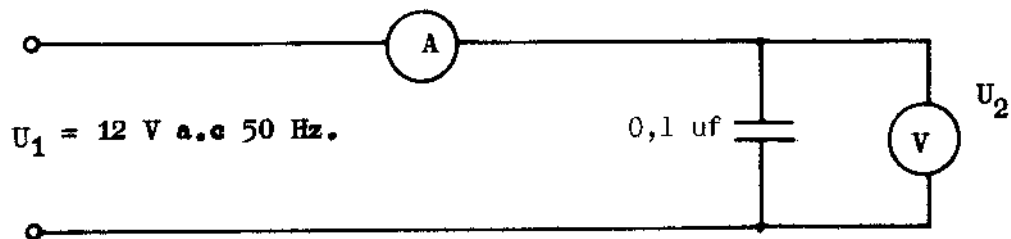
Stel deze schakeling samen en bereken:

$X_C$  = capacitantie in  $\Omega$

$I_C$  = stroom door de aansluitdraden. Amp.

$PR$  = reactieve energie (capacitantie) in VAR.

### OPGAVE B.

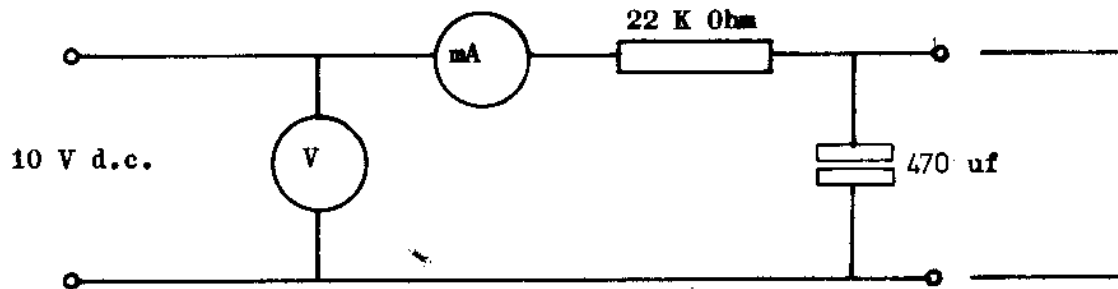


Stel deze schakeling samen en bepaal:

De tijd die nodig is voor  $U_2 = U_1$

$I$  tijdens het opladen van de condensator en zet deze waarde uit in een grafiek.

Bereken de stroom welke continu via dit filter mag worden afgenomen.



tijd sec.	I mA.	$U_c$ volt.
0		
5		
10		
15		
20		
30		
40		
60		
80		
100		

Stel deze schakeling samen uit de instructieset Elektronik 1.

Overbrug de condensator met een doorverbinding.

Verwijder de doorverbinding en meet de laadstroom precies op de in de tabel aangegeven momenten.

Bereken ook voor elk meetpunt de bijbehorende spanning over de condensator  $U_c$ .

Teken een grafiek op millimeterpapier voor  $U_c = f(t)$  en  $I_c = f(t)$

Bepaal de tijdconstante voor het R.C. lid enerzijds door berekening en anderzijds door dit af te lezen uit de grafiek  $t = R \times C$ .

## 7. Meetinstrumenten.

### Inleiding.

In de elektronica en veel elektronische circuits is het niet mogelijk om met een van onze zintuigen vast te stellen wat voor verschijnselen zich precies afspelen. Hierdoor is het noodzakelijk om de elektrische verschijnselen zichtbaar of hoorbaar te maken en wel op een dusdanige manier dat deze naar de gewenste nauwkeurigheid meetbaar worden. Alleen dan pas weten we of een circuit naar behoren functioneert en daarmee voldoet aan het doel waar het voor is opgebouwd.

Een enorm aantal meetinstrumenten is in de loop der jaren ontwikkeld en enkele van de meest voorkomende zullen wij in dit deel behandelen.

Uiteraard moet een meetprocedure correct zijn en het vaststellen van de meetwaarde accuraat, aangezien verkeerde meetresultaten verspilling van tijd kunnen zijn, maar ook van materiaal wanneer er dientengevolge iets fout gaat. Dat alles kan leiden tot kostbare en nare gevolgen, in het praktijklokaal, laboratorium of productieafdeling. Belangrijk is de juiste keuze van het meetinstrument voor een bepaalde meetopgave. Het staat zeker niet van te voren vast dat het duurste en meest uitgelezen apparaat wel het meest geschikt is voor een bepaalde meetopgave.

Moderne elektronica eist echter wel fijngevoelige instrumenten welke daardoor erg kwetsbaar zijn. Zorgvuldige behandeling is daarom geboden.

Een meetresultaat is vaak afhankelijk van de opbouw van een meetopstelling, de juiste manier van meten en het meest geëigende instrument. Voor een meting plaats vindt, dient men zich het volgende te realiseren:

Hoe werkt het betreffende circuit.

Welke resultaten verwacht men.

Welke meetinstrumenten kunnen worden gebruikt.

Hoe nauwkeurig moet men aflezen en wanneer heeft het nauwkeurig aflezen en wanneer heeft het nauwkeurig aflezen geen zin meer.

Op welke wijze moeten de instrumenten op het circuit worden aangesloten teneinde de resultaten niet te beïnvloeden.

Hoe noteren we de meetresultaten.

Is er risico voor overbelasting van de instrumenten

Kies altijd een meetbereik waarbij men de te meten waarde zo dicht mogelijk bij de eindwaarde van de schaal kan aflezen.

Begin altijd in te stellen op een hoog meetbereik en ga van daaruit naar een lager bereik.

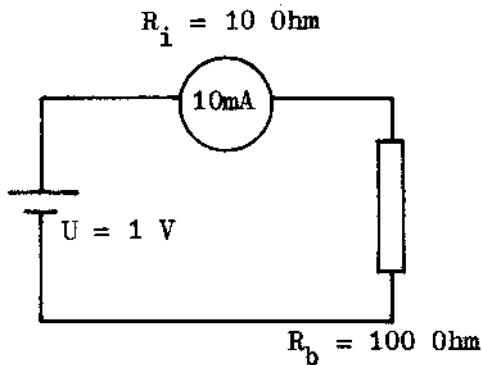


### Ampère metingen.

Voor stroommetingen wordt een Ampèremeter gebruikt.

Deze wordt in serie geschakeld met de belasting waarvan men de stroom wenst te bepalen.

Het is noodzakelijk dat een Ampèremeter een zo laag mogelijk inwendige weerstand heeft omdat er anders een te grote meetfout ontstaat.



In de hiernaast afgebeelde schakeling is de stroom zonder Ampèremeter.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{1}{100} = 0,01 \text{ Amp. Ofwel } 10\text{mA.}$$

Wordt een Ampèremeter waarvan de inwendige weerstand  $10 \Omega$  is met de belasting  $R_b$  in serie geschakeld dan wordt de totale weerstand.

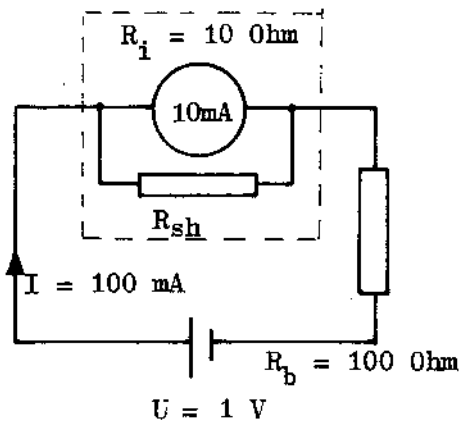
$$R_r = R_i + R_b = 10 + 100 = 110 \Omega.$$

De stroom door de schakeling wordt dan:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{1}{110} = 0,0091 \text{ Amp. Ofwel } 9,1 \text{ mA.}$$

Het verschil bedraagt dus  $0,9 \text{ mA}$  ofwel  $9\%$ .

Wanneer een Ampèremeter moet worden gebruikt voor het meten van een hogere stroom als welke op de eindwaarde van de schaal is aangegeven kan men gebruik maken van een shunt weerstand. Deze wordt dan parallel geschakeld met de Ampèremeter.



In de hiernaast afgebeelde schakeling wordt een ampèremeter toegespast met een meetbereik van  $10 \text{ mA}$  en een inwendige weerstand van  $10 \Omega$ . Men wil echter een stroom kunnen meten tot  $100\text{mA}$ .

Eerst moet dan het spanningsverlies over het instrument worden berekend en wel als volgt:

$$U_{\text{instr.}} = I \times R = 0,01 \text{ A} \times 10 \Omega = 0,1 \text{ Volt.}$$

$$\text{Ofwel } (10 \times 10^{-3} \times 10)$$

$$I_{\text{shunt}} = \frac{U_{\text{instr.}}}{R_{\text{shunt}}} = \frac{0,1}{0,09} = 1,11 \Omega$$

### Voltmetingen.

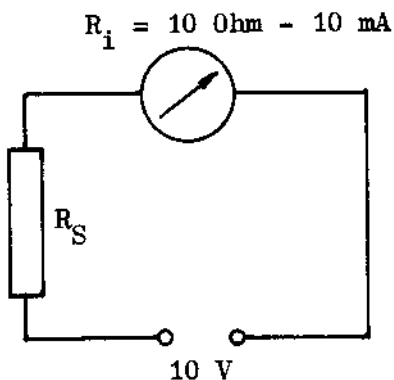
Zoals uit het voorbeeld op pagina 60 blijkt, is de spanningsval over het instrument 0,1 Volt of 100mV bij volle schaaluitslag.

D.w.z. dat het instrument gebruikt kan worden voor spanningen tot 100 mV. Voor het meten van hogere spanningen kan men nu in serie met het instrument een weerstand schakelen welke een zodanige waarde moet hebben dat het teveel aan spanning over de serieweerstand staat.

Wil men b.v. hetzelfde instrument gebruiken voor het meten van een spanning van 10 V bij volle schaaluitslag, dan wordt de serie weerstand als volgt berekend:

$$R_I = \frac{10}{0,01} = 1000 \Omega \text{ (meter 10 mA volle schaal).}$$

Omdat de inwendige weerstand van het instrument 10  $\Omega$  is, moet de voorschakelweerstand een waarde hebben van:



$$R_S = 1000 \Omega - 10 \Omega = 990 \Omega$$

De spanningsval over de weerstand is dan:

$$U = I \times R = 0,01 \times 990 = 9,9 \text{ Volt.}$$

Voor het instrument blijft nu over:

$$10 \text{ V} - 9,9 \text{ V} = 0,1 \text{ Volt.}$$

Hetgeen een volle uitslag zal opleveren.

Bij het serie of parallelschakelen van weerstanden met meetinstrumenten is het belangrijk de juiste belastingwaarde van de weerstand te berekenen en een weerstand te kiezen welke geschikt is voor de vereiste belasting en e vereiste spanning.

De weerstand zou anders veel te warm worden en dientengevolge kunnen verbranden.

**Het hiervoor beschreven instrument met een volle uitslag van 10V heeft een inwendige weerstand van 1000 Ω, ofwel 100 Ω per Volt.**

Om een meting correct uit te voeren, moet een eigen verbruik van het instrument zo klein mogelijk zijn, zeker in vergelijking met het verbruik van het meetobject.

Wanneer het instrument spanning moet meten over een 1000 Ωs weerstand welke in een bepaalde keten is opgenomen en we nemen aan dat er een stroom van 10 mA door de weerstand vloeit, dan zal deze stroom na het aansluiten van het meetinstrument zich gelijkmatig verdelen tussen de weerstand en het instrument (5 mA elk) en het resultaat zal zijn dat de gemeten spanning 5V is, ofwel exact de helft van de oorspronkelijke spanning over de weerstand. Hieruit blijkt duidelijk dat de meterweerstand veel groter had moeten zijn, maar hoe bereikt men dat.

Er is een mogelijkheid, namelijk een instrument te kiezen met een dienovereenkomstige grotere stroomgevoeligheid zodanig dat de serieweerstand groot is t.o.v. de te meten weerstand, waardoor de spanningsdaling t.g.v. het aansluiten van het instrument verwaarloosbaar is t.o.v. de gewenste meetnauwkeurigheid. Uiteraard is het mogelijk, wanneer men de inwendige weerstand van de meter kent en die van het meetobject, de aflezing te corrigeren d.m.v. een rekensommetje, echter is dit voor een snelle nauwkeurige meting tijdrovend werk. Een voltmeter kenmerkt zich door het aantal Ωs per Volt.

Een instrument met een gevoeligheid van 100 microampère zal bijv.:

$$\frac{1}{100 \times 10^{-6}} = 10.000 \text{ } \Omega \text{ per volt bezitten}$$

Wanneer dit instrument wordt ingezet als voltmeter met meerdere meetgebieden, kunnen we de volgende tabel opstellen voor de inwendige meterweerstand voor de diverse meetgebieden.

gebied	Ohm/volt	Instrumentenweerstand Ohm.
100 uV	10.000	1
1 mV	10.000	10
10 mV	10.000	100
100 mV	10.000	1.000
1 V	10.000	10.000
10 V	10.000	100.000

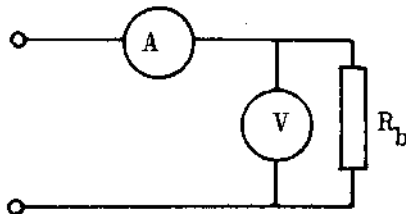
Volt en ampère metingen.

Veel meetproblemen vragen een gelijktijdige meting van stroom en spanning en hier dient zich een nieuwe moeilijkheid aan.

De te gebruiken instrumenten kennen een bepaald eigen verbruik, dat een grote rol speelt in het meetresultaat.

Tevens blijkt dat de ampère –en voltmeter verschillend moeten worden aangesloten.

#### Werkelijke spanning.

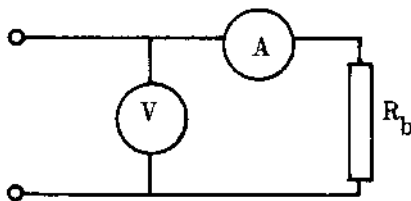


De hiernaast getekende opstelling laat een voltmeter zien, welke de werkelijke spanning meet over  $R_b$ , terwijl de ampèremeter zowel de stroom door  $R$  als door de voltmeter meet. Wat de inwendige weerstand van de voltmeter ook mag zijn, de aanwijswaarde komt overeen met de spanning welke op dat moment ook over het meetobject staat.

Indien de stroom door de voltmeter relatief groot is, op grond van een lage inwendige weerstand, is de gemeten stroom door de ampèremeter niet alleen de stroom door het meetobject maar deels ook die door de voltmeter, zodat men hier kan spreken van een zekere fout. De meting wordt daarom "echte spannings methode" genoemd.

De opstelling hiernaast meet de werkelijke stroom via de ampèremeter door het meetobject terwijl de spanningsmeter een spanning aangeeft welke gelijk is aan de spanning over de belasting plus het spanningsverlies over de ampèremeter zodat voor de spanningsmeting een zekere fout wordt geïntroduceerd.

#### Werkelijke stroom.



#### Keuze van een meetmethode.

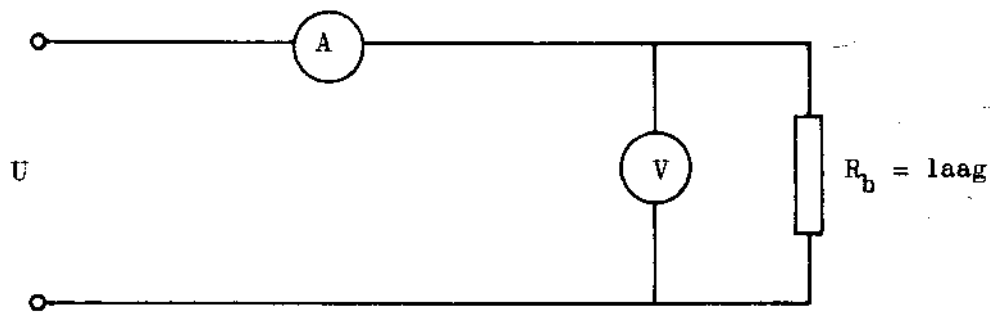
Men ziet dat bij gelijktijdige meting van stroom en spanning altijd een fout optreedt.

Wanneer de inwendige weerstanden bekend zijn van de instrumenten kan de optredende fout worden gecorrigeerd door terugberekening, zodat de beide werkelijke waarden gevonden kunnen worden. Natuurlijk kan men door een goede instrumentkeuze de fout zo klein houden, zodat deze verwaarloosbaar is, d.w.z. kleiner dan de nauwkeurigheid welke nodig is. Wanneer  $R_b$  klein is, loopt er een grote stroom en zal de stroom door de voltmeter in de aflezing van de ampèremeter nauwelijks meer waarneembaar zijn.

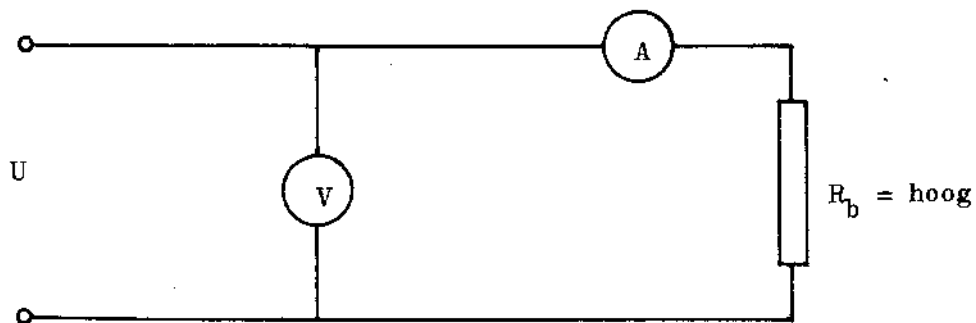
Voor stroom en spanning verkrijgt men zodoende de beste meetresultaten via de werkelijke spanningsmethode.

Wanneer  $R_b$  echter erg groot is, zal de stroom dienovereenkomstig laag zijn en het aandeel van de voltmeterstroom in een werkelijke stroommeting uitkomst, aangezien de spanningsval over de ampèremeter relatief klein zal zijn t.o.v. de spanning over de weerstand.

Echte spanningsmethode toe te passen bij grote stroom door  $R_b$ .

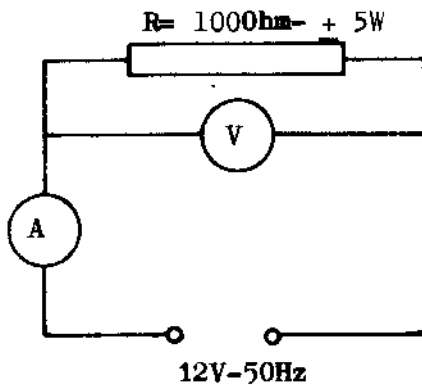


Echte stroommethode toe te passen bij kleine stroom door  $R_b$ .



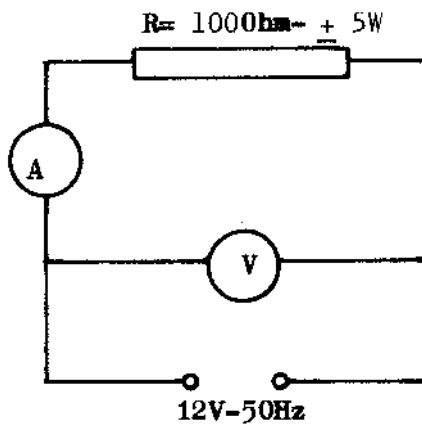
Stel uit de set Elektronik 1 de volgende schakeling samen.

**OPGAVE A.**



Meet de stroom  
Meet de spanning over de weerstand

**OPGAVE B.**



Meet de stroom door de weerstand  
Meet de spanning.

Vraag:

Hoe noemt men de methode van meten bij opgave A?

Hoe noemt men de methode van meten bij opgave B?

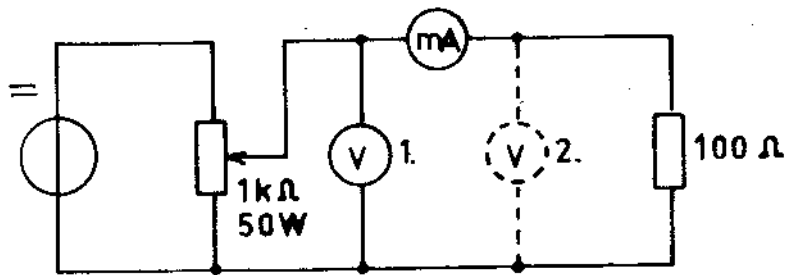
Welke verschillen zijn er in spanning bij methode A en B?

Welke verschillen zijn er in stroom bij methode A en B?

Hoe groot is de spanningsval over de Ampèremeter?

Hoe groot is de stroom door de Voltmeter?

Bepaal nu de inwendige weerstand van de gebruikte instrumenten.



meetgebied A-meter	werkelijke stroom			werkelijke spanning		
	Uv	I mA	R Ohm	Uv	I mA	R Ohm
0-0,5 mA						
0-2,5 mA						
0-250 mA						

### OPGAVE.

Zie achter de waarde van een weerstand te komen door tegelijk met een volt –en een ampèremeter de respectievelijke waarden te meten.

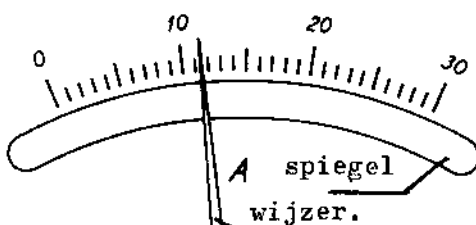
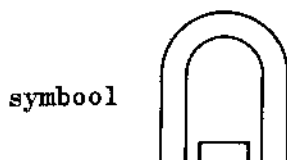
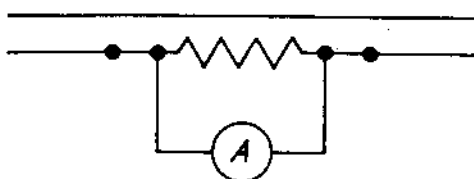
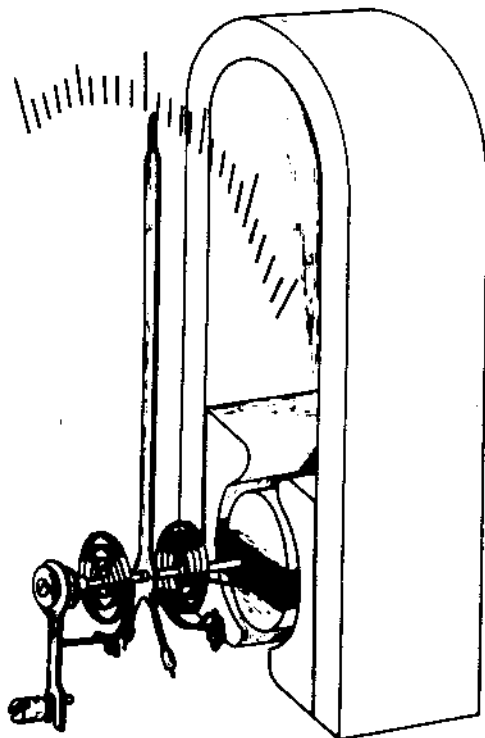
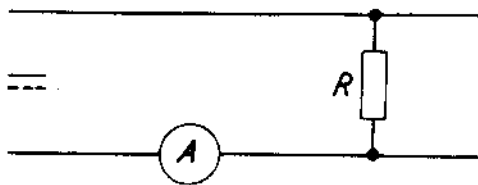
Pas eerst de “werkelijke stroommethoden” toe en daarna de “werkelijke spanningsmethode”.

Kies achtereenvolgens de gegeven meetbereiken waarbij de ampèremeter op volle schaaluitslag wordt geregeld met de potentiometer.

Gebruik hierbij een instelbare spanningsbron en gebruik de potentiometer voor fijnregeling, door deze in eerste instantie op ca. 50% in te stellen, waarna met de voedingsbron ongeveer de goede stroom wordt ingesteld en daarna met de potentiometer nauwkeurig wordt ingeregeld.

Herhaal bovenstaande metingen met een 22 K Ω weerstand.

## Draaispoelmeters.



Wanneer men nauwkeurige metingen wil verrichten gebruikt men daarvoor veelal een draaispoelmeter.

Het principe van de draaispoelmeter is als volgt:

Hiernaast is een permanente magneet afgebeeld met op beide polen speciaal gevormde poolschoenen, waartussen een vaste cilindrische ijzerkern is aangebracht. In de ruimte tussen de poolschoenen en de ijzerkern, de z.g. luchtspleet, heerst een sterk gelijkmatig (homogeen) magnetisch veld. Een rechthoekig spoeltje is draaibaar opgesteld in de luchtspleet en drijft een uitgebalanceerde wijzer aan.

Normaliter wordt de spoel op zijn plaats gehouden door twee spiraalveren, waarvan elk met een van de uiteinden van de spoel is verbonden en als stroomafnemers dienen. Hiermede is de wijzer ook op de nulstand te corrigeren, door verdraaien van de ophangpunten van een spiraalveer. Wanneer er stroom door de spoel wordt gestuurd, dan zal de spoel een eigen magneetveld opbouwen, waardoor de spoel in een andere richting gaat. Deze richting is zo gekozen dat de spoel zich tegen de veerspanning van de spiraalveren in tracht te verdraaien, en de wijzer zal afhankelijk van de stroomsterkte, zodat de schaalverdeling eveneens lineair is. Normale draaispoelinstrumenten kunnen slechts gebruikt worden voor een stroomrichting d.w.z. alleen voor gelijkstroom. De aansluitklemmen zijn daarom in de regel dan ook gemerkt met + en - .

Een precisie draaispoelmeter moet een zo gering mogelijke energie opname hebben en een zo klein mogelijke wrijvingsweerstand van de beweegbare delen.

De spoel zal in het algemeen een groot aantal wikkelingen moeten hebben. Tijdens de transport wordt de meter meestal kortgesloten om een zo groot mogelijke demping te verkrijgen.



Deze demping wordt ook verkregen door de spoel geïsoleerd om een lijst van aluminium of koper te wikkelen. Deze lijst gedraagt zich dan als een kortsluitwinding waardoor de wijzer bij uitslag een rustig verloop krijgt. Veranderingen in het magneetveld leveren in de kortsluitwinding tegengestelde reacties op wat resulteert in een zekere traagheid van de wijzer.

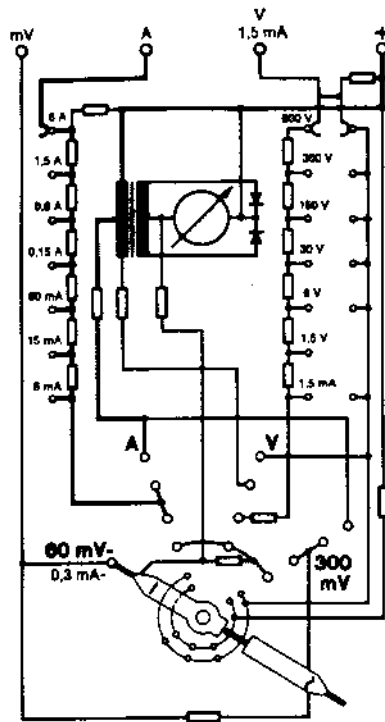
Het symbool voor draaispoelinstrument is hiernaast afgebeeld.

Als precisie-instrument uitgevoerd wordt de schaal voorzien van een spiegel. Deze bestaat uit een smalle spiegelende boog waarin men de wijzer eveneens kan zien. Nu is het de bedoeling dat de wijzer en het spiegelbeeld tijdens het aflezen over elkaar vallen, d.w.z. de wijzer dekt het spiegelbeeld af. Op deze wijze men zeker dat loodrecht op de schaal wordt afgelezen, waardoor afleesfouten worden vermeden.

Men zegt wel dat hiermee een parallax vrije aflezing wordt verkregen.

Vaak is een parallax vrije aflezing alleen in laboratoria interessant waar een zeer hoge nauwkeurigheid vaak noodzakelijk is.

## Universeel meet-instrumenten.



Met universeelmeters kan men met behulp van een omschakelaar diverse serie –en shuntweerstand op het draaispoelinstrument aanbrengen. Voorts kan op een gelijkspanningsgebied direct of een wisselspanningsgebied via gelijkrichtschakeling worden ingesteld. Ook weerstandmeting is mogelijk via een ingebouwde batterij welke in serie met de draaispoelmeter wordt opgenomen via de omschakelaar naar het weerstand meetgebied. Bij het gebruik van universeel meetinstrumenten moet men op het volgende letten:

Eerst het gewenste meetgebied inschakelen, daarna pas het instrument aansluiten.

Is er twijfel over de te verwachten meetwaarde, dan begint men in een hoger meetgebied – eventueel het hoogste- waarna men kan dalen naar de lagere voor een redelijk grote wijzeruitslag.

De positieve klem is bij weerstandmeting negatief en de minusklem positief. Belangrijk voor bepaalde metingen aan halfgeleiders bijv.: diode.

Men moet er rekening mee houden, dat dit type instrumenten in de wisselstroomgebieden de gemiddelde waarde van de aangelegde spanning aangeven. Voor zover de schaalverdeling de effectieve waarde aangeeft ( $= 1,1 \times$  gemiddelde waarde) geldt dit slechts voor sinusvormige wisselspanningen en stromen. Het is zodoende niet mogelijk om de effectieve waarde van niet sinusvormige wisselspanningen te meten met een universeelmeter; er kan in dit geval slechts sprake zijn van een benaderende meting.

Toepassing van elektrobuizen (versterker-triode) of transistoren (FET = filed effect transistor) geeft een voltmeter nieuwe mogelijkheden. Bezien we de meest voorkomende universeelmeters dan ontdekt men dat de gevoeligheden variëren van ca.  $1 \text{ K}\Omega$  per Volt tot ca.  $100 \text{ K}\Omega$  per volt, zodat de inwendige weerstanden op de diverse meetgebieden nog een meetfout kunnen geven. Normaliter is men tevreden met een inwendige weerstand welke voor een bepaalde meting 5-100 maal meer is dan de weerstand van het meetobject. Toch treffen we in elektronische circuits vaak een weerstand van  $1 \text{ M}\Omega$  of meer aan, waardoor duidelijk wordt dat een universeelmeter aanleiding zal geven tot onzuivere meetresultaten, terwijl het elektronisch circuit eveneens beïnvloed wordt. Waar mogelijk gebruikt men buis –of transistorvoltmeters waarvan de belangrijkste eigenschap de zeer hoge gevoeligheid is t.w. 1 tot  $100 \text{ M}\Omega$  per volt. Doorgaans geeft men de gevoeligheid van een buisvoltmeter niet aan per volt, maar met de ingangsweerstand welke voor de spanningsgebieden vaak gelijk is.

Ook kan men in een zeer groot frequentiegebied wisselspanningen meten bijv. 10 Hz – 500 MHz in vergelijking met draaispoelmeetinstrumenten, die door hun inductiviteit normaliter niet verder gaan dan ca. 10 KHz.

Het voert te ver de diversiteit aan elektronische voltmeters hier te bespreken, daarom zullen slechts een paar typen de revue passeren, waarvan de technische gegevens en de toepassingsmogelijkheden behandeld worden.

Een heel gebruikelijke type buisvoltmeter is de universeel buisvoltmeter voor het meten van gelijk –en wisselspanningen. De meeste typen zijn tevens in staat weerstanden te meten, gelijk –en eventueel wisselstroom en sommige zijn eveneens bruikbaar om opgenomen te worden in een brug van wheatstone als 0-punt detector. Buisvoltmeter bestaan in principe uit een gelijkspanningsversterker waarin een draaispoelmeter is opgenomen. Voor wisselspanningen wordt deze voorafgegaan door een wisselstroom voorversterker met een gelijkgerichte uitgangsspanning. Voor weerstand meting wordt van een gestabiliseerde spanning gebruik gemaakt, welke genomen bekende weerstand wordt aangebracht.

De spanning over de onbekende weerstand wordt gemeten met de gelijkspanningsversterker en het resultaat is zichtbaar op de draaispoelmeter, waarvan voor dit doel de betreffende schaal in  $\Omega$ s is onderverdeeld. Aangezien een buisvoltmeter een groter gebied aan spanningen kan meten is ook het weerstandgebied groot, zodat weerstandwaarden van  $0,1 \Omega$  tot  $1000 M.\Omega$  gemeten kunnen worden. Op het gevoeligste gebied komt een buisvoltmeter tot ca. 1 à 1,5 Volt bij volle schaal uitslag en op het hoogste gebied ligt de grens doorgaand op 1000-1500 volt. De ingangsimpedantie ligt gewoonlijk in de grootte van 10-50 M $\Omega$  en de meetnauwkeurigheid gaat zelden verder dan 2-3% van een waarde bij volle schaal uitslag. Deze relatief geringe nauwkeurigheid heeft te maken met de gelijkspanningsversterker (DC-ampl.). Het is namelijk een gecompliceerde opgave een volkomen stabiele DC-versterker te bouwen zonder nulpuntschrift.

Teneinde de nulpuntsdrift te compenseren, is de buisvoltmeter uitgerust met een balanceknop voor het herinstellen van het nulpunt. Dit wordt gedaan voor het begin van metingen en het is de moeite waard te weten dat een buisvoltmeter een lange opwarmtijd nodig heeft voordat een redelijk gering verloop in het nulpunt wordt bereikt. Bovendien moet na iedere keuze van een nieuw meetgebied de nulpuntinstelling opnieuw worden gecontroleerd.

Deze naam kan men geven aan typen, welke in tegenstelling tot de buisvoltmeter zijn uitgerust met een pure wisselspanningsversterker (AC-ampl).

Een AC-versterker kan vrij probleemloos stabiel gemaakt worden, zelfs bij een zeer grote versterking. De grootste gevoeligheid is al vaak 1mV volle schaal en het hoogste spanningsgebied 300-500 Volt. De ingangsimpedantie ligt in de orde van grootte van 1 M  $\Omega$  tot 10 M  $\Omega$ . De uitvoering van de ingangsklemmen is vaak aangepast voor het meten bij hoge frequentie (bijv. coaxiaal). De frequentie karakteristiek is gemiddeld 5 Hz.- 1 MHz en in uitzonderingsgevallen tot 500 MHz. Identiek aan buisvoltmeters is de meteruitslag een afhankelijke van de gemiddelde spanning.

Het instrument is uitgerust met een schaalverdeling met effectieve waarden voor sinusvormige spanningen. Er bestaan speciale uitvoeringen voltmeters, welke de effectieve waarde meten ongeacht de spanningsvorm.

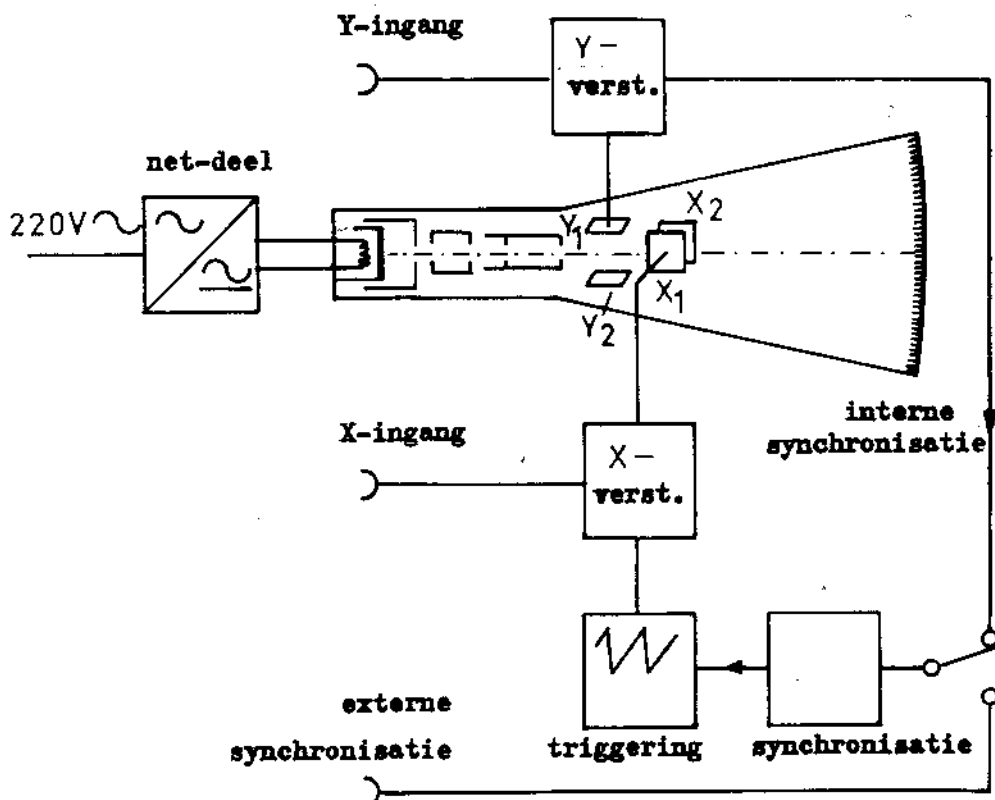
Het werken met gevoelige instrumenten als bijv. buisvoltmeters, welke eveneens een hoge ingangsimpedantie bezitten, levert al vaak afschermingsproblemen op met meetleidingen. Lange meetleidingen pikken namelijk gemakkelijk spanningen op uit circuits in de nabijheid van de meetplaats en deze (stoor)spanningen worden gelijktijdig meegemeten en leiden tot een verminkt meetresultaat.

Het is daarom belangrijk deze spanningen af te schermen van de te meten spanningen door het gebruik van een metalen mantel rond de meetleidingen. Vooral bij lage spanningen is een afgeschermd kabel onontbeerlijk. Hoe korter de meetleidingen, hoe minder stoorspanningen hun invloed kunnen doen gelden en hoe geringer de meetleidingscapaciteit welke ook al invloed uitoefent op het meten van wisselspanningen. Een meetlijncapaciteit van 100 pf, overeenkomende met een lengte van ca. 2 meter zal bij een frequentie van 15 KHz al een impedantie opleveren van 100 K  $\Omega$  hetgeen al laag is in vergelijking met ingangsimpedantie van het meetinstrument zelf, zodat ook hier de meetresultaten fouten kunnen laten zien, wanneer het meetobject te zeer belast wordt.

### Katodestraalbuis of Oscilloscoop.

De naam oscilloscoop is ontleend aan het Latijnse woord *ascillare* = trillen en het Griekse woord *skopein* = zien (onderzoek) zodat de letterlijke betekenis wordt "trillingsonderzoeker". Zoals uit de naam valt af te leiden is de oscilloscoop een instrument waarmee men trillingen, in dit geval elektrische, zichtbaar kan maken t.b.v. onderzoek.

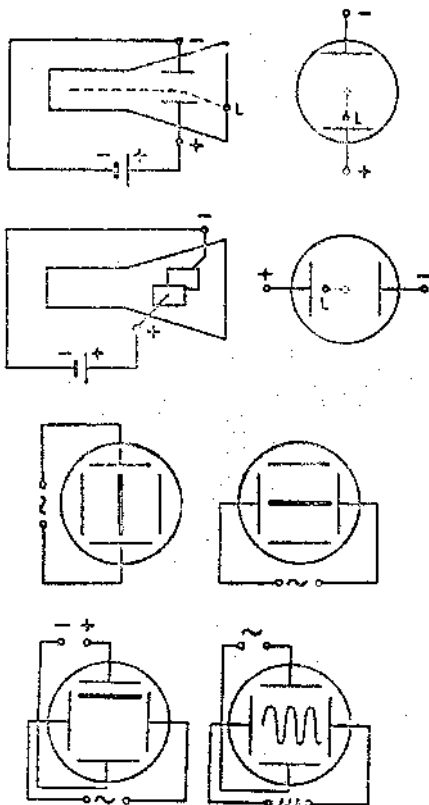
Men benut het instrument voor het controleren van **curven**, het doen van tijdmetingen, het meten van frequenties en spanningen, kortom voor het zichtbaar maken van en het meetbaar doen maken van elektrische verschijnselen.



De katodestraalbuis is het belangrijkste deel van een oscilloscoop. Deze bestaat uit een glazen kolf welke vacuüm is gepompt. De hals van de kolf is dichtgesmolten en een aantal speciale draden zijn naar buiten gevoerd in de vorm van contactpennen. De contactpennen staan cirkelvormig opgesteld zoals bij andere elektronenbuizen en vormen de buisvoet. In het bodemdeel van de kolf is het fluoriserende scherm

aangebracht. Binnen in het uiteinde van de hals bevindt zich het elektronenkanon waarna in de richting van het scherm de afbuigplaten zijn aangebracht gevolgd door de naversnellingselektrode. Het elektronenkanon bestaat uit een gloeidraad die een katode opwarmt, waardoor elektronen worden vrijgemaakt en een aantal cilindervormige metalen elektroden waarmee de elektronen op snelheid worden gebracht.

Het elektronenkanon zorgt er tevens voor dat de elektronen als een smalle bundel in de richting van het scherm bewegen. De negatief geladen elektronen worden onder invloed van de positief geladen naversnellingselektrode tot zeer grote snelheden gebracht.



Tussen het elektronenkanon enerzijds en het scherm anderzijds zijn 2 paar afbuigplaten achter elkaar aangebracht. Elke paar bestaat uit twee plaatvormige elektroden welke op zekere afstand van elkaar staan opgesteld. Het voorste paar is t.o.v. het andere stel  $90^\circ$  verdraaid gemonteerd. De functie van een plaatpaar is het veranderen van de richting van de elektronen-bundel door het aanbrengen van een spannings-verschil tussen elke plaat, waardoor de negatief geladen straal een richtingsverandering ondergaat. Het ene plaatpaar kan een afbuiging teweeg brengen in het horizontale vlak. Dit type afbuiging wordt elektro-statische afbuiging genoemd. Een plaatpaar is horizontaal aangebracht en kan de straal in verticale richting laten bewegen. Dit is de Y-afbuiging en de platen worden hiernaast genoemd als Y1 en Y2 plaat.

De horizontale afbuiging komt tot stand door het verticaal opgestelde plaatpaar X1 en X2 en is de X-afbuiging. Wordt er geen spanning op de platen aangelegd, dan treft de straal het

middelpunt van het scherm. Met behulp van stuurspanningen op de X en Y platen kan de straal op elk willekeurig punt van het scherm worden gericht.

De elektronenstraal treft het scherm met hoge snelheid en veroorzaakt op het inslagpunt een lichtverschijnsel. Het treffen van het scherm gaat met dusdanig geweld dat daaruit opnieuw elektronen worden vrijgemaakt. Deze zogenaamde secundaire elektronen bewegen zich naar het hoogste spanningsgebied van de buis en sluiten daarmee de stroomkring. Het scherm bestaat uit een laag fluoriscens (oplichtende stof) dat is aangebracht aan de binnenzijde van de buis op de bodem van de eerder genoemde kolf. Deze stof heeft de eigenschap zichtbaar licht uit te zenden wanneer het met elektronen wordt gebombardeerd. Er zijn diverse soorten fluoriscentie stoffen welke zich onderscheiden in lichtopbrengst, nalichttijd en kleur.

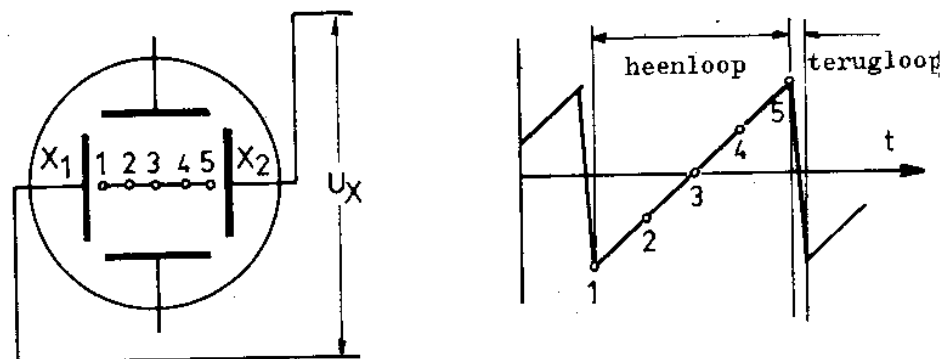
Meestal worden groen oplichtende stoffen gebruikt als fluorescentielag van het scherm, aangezien het menselijk oog juist zeer gevoelig is, is voor groenlicht.

Zoals uit de blokschematische opbouw van de oscilloscoop op pagina 71 blijkt, bestaat deze uit een transformator, gelijkrichter, filters en schakelingen welke de diverse spanningen opleveren voor de versterkerbuizen en de katodestraalbuis. (1000-4000 Volt).

De helderheid (intensiteit) van het lichtbeeld wordt door een negatieve spanning gestuurd welke op de zogenaamde Wehnelt-cilinder staat. Dit is de elektrode welke zich in de onmiddellijke omgeving van de katode bevindt. De cilinder heeft de vorm van een dop met in de bodem een klein gaatje. De dop is over de katode geplaatst. Heeft de Wehnelt-cilinder een negatieve spanning t.o.v. de katode dan kunnen de elektronen niet passeren. Elektronen welke door de katode worden uitgezonden kunnen zich via het gaatje verder de buis in begeven wanneer de cilinderspanning minder negatief wordt gemaakt. De andere elektroden van het kanon zijn verantwoordelijk voor het vormen van een smalle bundel. Hoe smaller de bundel, hoe fijner de lichtstip op het scherm en des te fijner het beeld dat men verkrijgt. Deze beeldscherpte wordt beïnvloed door een regelspanning op de elektroden, welke instelbaar is. Men noemt dit focusering.

Via de afbuigplaten kan de straal over het scherm bewogen worden door hierop de juiste spanningen te zetten. Om een straal 1 cm. Over het scherm te verplaatsen is een spanning van 10 à 25 Volt nodig op de afbuigplaten, afhankelijk van het type oscilloscoop. In de praktijk van de elektronica moet met veel geringere spanning een verplaatsing worden uitgevoerd zodat de oscilloscoop is uitgerust met versterkers. Aan deze versterkers worden hoge eisen gesteld, aangezien de grote versterking niet mag leiden tot vermindering van de spanningsvorm van het zichtbaar te maken signaal. Verder moet de versterking in een gebied van groot frequentieverschil (5 Hz – 10MHz) overal even groot zijn.

Met oscilloscopen kunnen periodiek verlopende verschijnselen worden onderzocht, zoals b.v. wisselspanningen. De spanning welke men zichtbaar wenst te maken wordt versterkt in de Y-versterker en daarna toegevoerd aan de Y-platen van de katodestraalbuis. Gelijktijdig wordt de straal met de constante snelheid van links naar rechts bewogen in horizontale richting.



Zoals uit de figuur blijkt, is het teruglopen van de straal vele malen sneller gaat dan de heenloop. Tijdens het teruglopen wordt de straal gelijktijdig onderdrukt met een

sterke negatieve spanning op de Wehnelt-cilinder. Op deze wijze wordt voorkomen dat een extra lichtstreep getrokken wordt tijdens de terugslag. Kiest men een instelling gelijk aan de frequentie van de te meten spanning dan wordt op het scherm hiervan juist 1 periode afgebeeld. In deze situatie springt de straal telkens terug aan het eind van een periode om weer aan het begin van de kromme te beginnen om dezelfde vorm af te beelden. Het menselijk oog ziet door de traagheid daarvan ogenschijnlijk een stilstaand beeld.

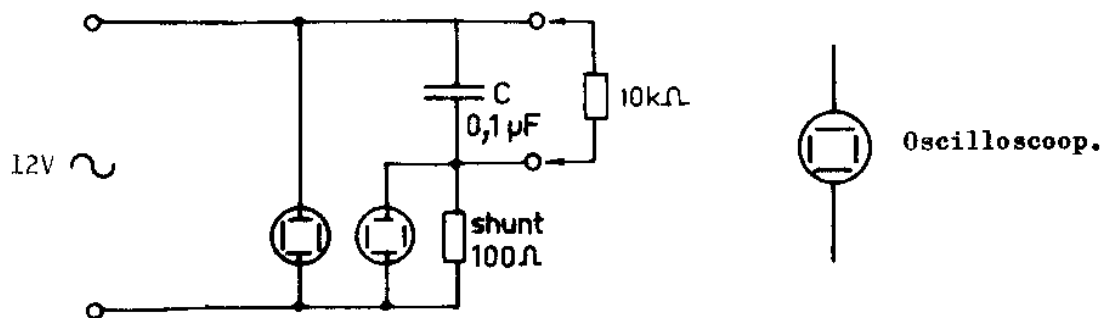
Wanneer de instelling een 2x lagere frequentie heeft als de frequentie van de te meten spanning, dan ziet men op het scherm 2 perioden.

De straal wordt gedwongen telkens op hetzelfde punt van een afgebeelde kromme te beginnen en daartoe is de oscilloscoop voorzien van een synchronisatie inrichting. Op deze wijze blijft de kromme op het scherm stil staan en gaat niet aan de wandel.

Alle oscilloscopen bezitten een aantal dezelfde instelmogelijkheden op de frontplaat. De netschakelaar is vaak gekoppeld aan de potentiometer voor de lichtsterkte (intensiteit). Wanneer men met de oscilloscoop gaat meten, dan begint men na ca. 2 minuten opwarmtijd de lichtsterkte voldoende groot te maken. Na enige tijd wordt op het scherm een rechte lijn zichtbaar. Daarna regelt men de lichtsterkte zodanig dat de lijn nog juist goed zichtbaar is. Bij een te grote lichtsterkte kan de fluoriserende laag van het scherm bedorven worden door de elektronenbundel die dan de lijn op het scherm inbrandt, zodat op deze plaatsen na verloop van tijd geen licht meer ontstaat. De horizontale lijn kan daarna horizontaal en verticaal bewogen worden met respectievelijk de X-“shift” en de Y-“shift” en op het gewenste deel van het scherm ingesteld.

Uiteindelijk kan met de “Focus” knop de breedte van de lijn worden ingesteld. Met een instelschakelaar kan men de oscilloscoop op de gewenste spanningshoogte instellen. Bij deze schakelaar is aangegeven het aantal Volt –en /of Milivolt / cm. Het scherm is voorzien van een ruitenpatroon van 1 x 1 cm.

De oscilloscoop wordt veel toegepast voor metingen aan elektronische circuits.



Stel deze schakeling samen uit de instructieset Elektronica 1.

Meet met een oscilloscoop de spanning over de condensator en de stroom via de shunt weerstand.

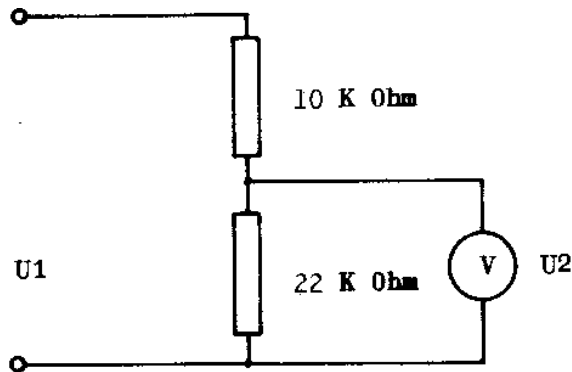
$$U = \quad \quad \quad I = \frac{U_{\text{shunt}}}{R_{\text{shunt}}} =$$

Bereken met behulp van de gevonden waarden

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

Sluit een 10 K  $\Omega$  weerstand parallel aan over de condensator en kijk op het scherm van oscilloscoop naar de invloed.





meetgebied U1	U2 Volt
24 V	
18 V	
12 V	
6 V	
meetinstrument	20 K Ohm

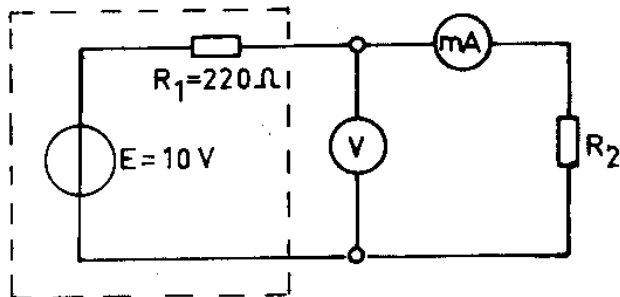
meetgebied U1	U2 Volt
24 V	
18 V	
12 V	
6 V	
meetinstrument	1 Meg Ohm

Stel deze schakeling samen uit de instructieset Elektronik 1.

Stel de spanning U1 in volgens tabel en meet de vaste spanning U2 met een instrument van b.v. 20K  $\Omega$ / Volt. Noteer de gevonden waarden in tabel 1.

Gebruik nu een instrument (buisvoltmeter of transistor voltmeter) van b.v. 1 Meg  $\Omega$  of hoger. Noteer de gevonden waarden in tabel 2.

Vraag: Wat is de oorzaak van dat de gemeten waarden verschillen.



Schema

$R_2$ $\Omega$	$\frac{R_2}{R_1}$	$I_2$ mA	$U_2$ V	$P_2$ mW
47	$\frac{1}{4}$ (ca)			
100	$\frac{1}{2}$ (ca)			
220	1			
470	2 (ca)			
1000	4 (ca)			

Tabel.

Bij deze proef moet men zich voorstellen dat de gestabiliseerde voeding en de weerstand  $R_1$  tezamen een spanningsbron vertegenwoordigen, waarbij  $R_1$  hiervan de inwendige weerstand is.

$R_1$  moet bij deze proef gemakshalve worden toegevoegd omdat de inwendige weerstand van een goede gestabiliseerde voeding zeer laag is.

$R_2$  vertegenwoordigt de eigen belasting van de samengestelde spanningsbron. De gestabiliseerde voeding wordt ingesteld op 10 Volt, welke spanning de E.M.K. (elektromotorische kracht) voorstelt.

#### OPGAVE 1.

Meet de door de samengestelde spanningsbron afgegeven spanning  $U_2$  (spanning over  $V$ ) en de stroom  $I_2$  bij diverse weerstand belastingen, e.e.a. volgens de in de tabel aangegeven waarden..

#### OPGAVE 2.

Bereken voor elke belasting het door de samengestelde spanningsbron afgegeven vermogen en teken hiervan een grafiek als aangegeven op pagina 77.

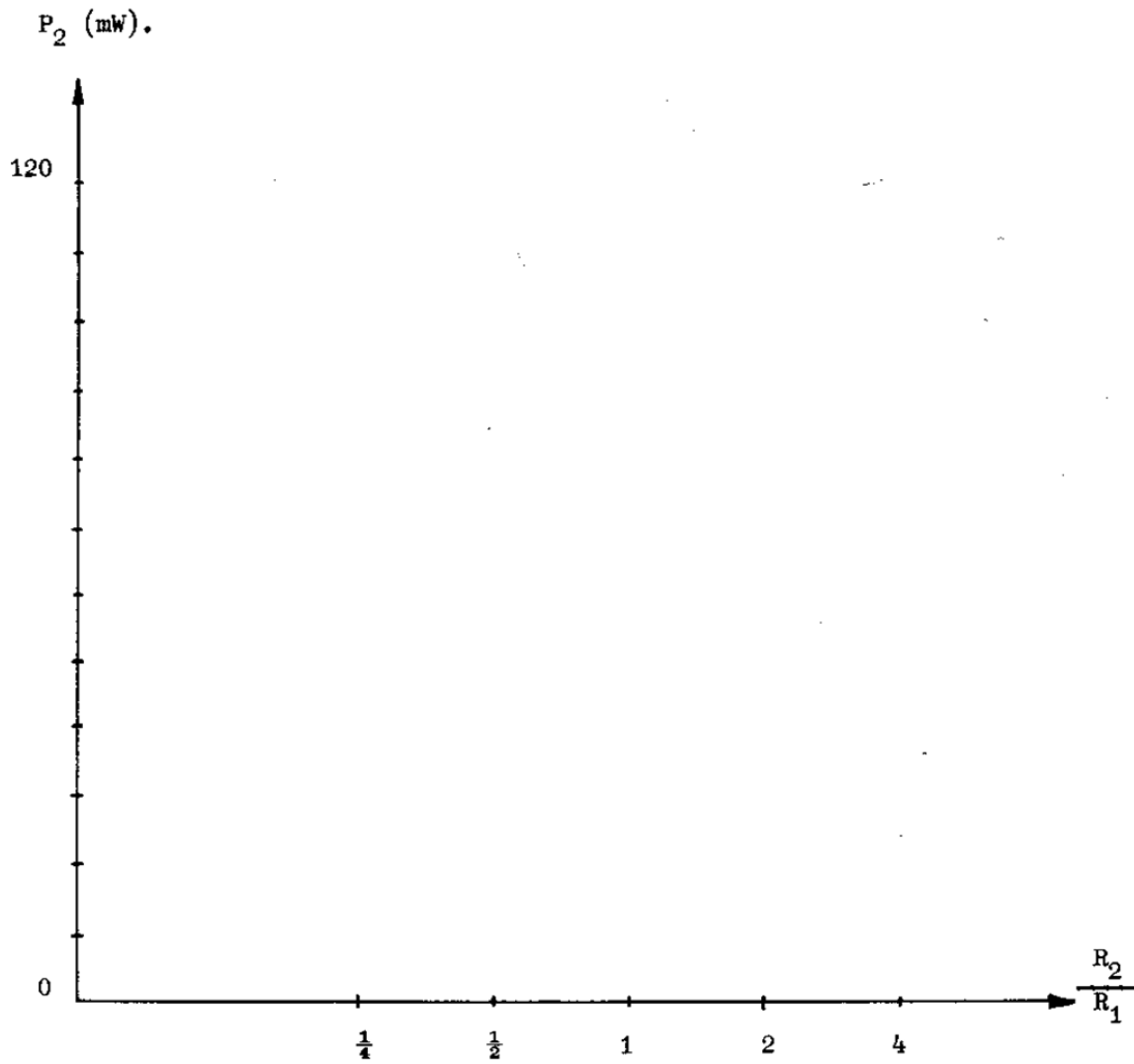
$$P_2 = U_2 \times I_2$$

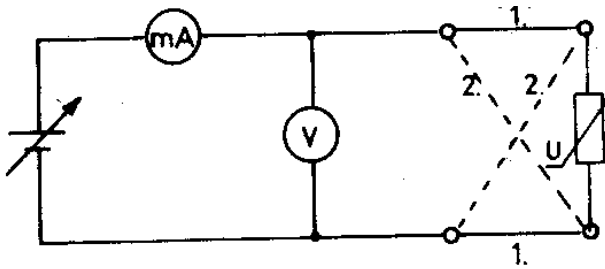
#### OPGAVE 3.

Bij welke verhouding van  $R_1$  en  $R_2$  kan de samengestelde spanningsbron het grootste vermogen leveren.



Teken deze grafiek op millimeterpapier.





Schema

stroomrichting 1		stroomrichting 2	
$I_1$ mA	$U_1$ V	$I_2$ mA	$U_2$ V
2		2	
5		5	
10		10	
20		20	
30		30	
40		40	

Tabel.

## OPGAVE 1.

Neem de karakteristiek op van een V.D.R. "weerstand" in beide stroomrichtingen en hanteer daarvoor de  $I$  waarden in bovenstaande tabel. Deze stromen moeten worden ingesteld met een variabele spanningsbron.

## OPGAVE 2.

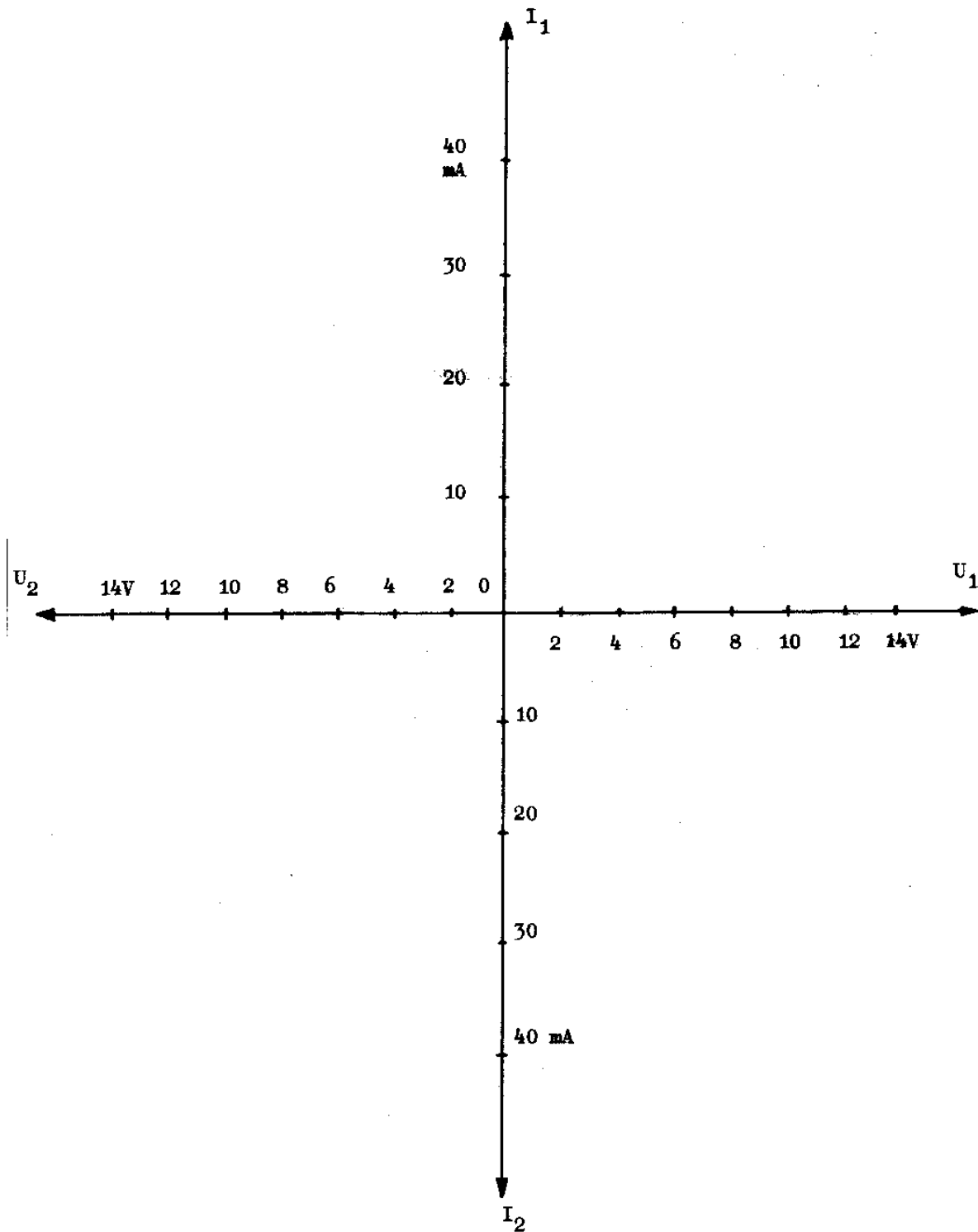
Welke weerstand waarde heeft de V.D.R. "weerstand" bij 5 V en bij 10 V?

## Opgave 3.

Welk vermogen wordt bij 10 V in de V.D.R. ontwikkeld?

De noodzakelijke gegevens voor opgave 2 en 3 kunnen uit de curve op pagina 80 worden afgelezen.

Teken deze grafiek op millimeterpapier.

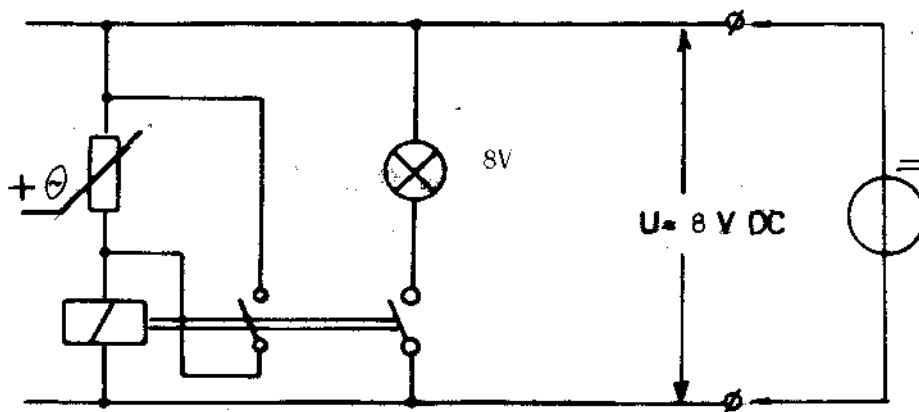


Tijdvertraging met P.T.C. weerstand.

OPGAVE.

Bouw onderstaande schakeling op, waarbij de voedingsspanning van 8 Volt via een schakelaar kan worden aangelegd. Ga nu met een horloge of stopwatch na wat de inschakelvertraging van het relais is nadat de voedingsspanning is aangelegd.

De inschakeltijd is ongeveer ..... seconden.

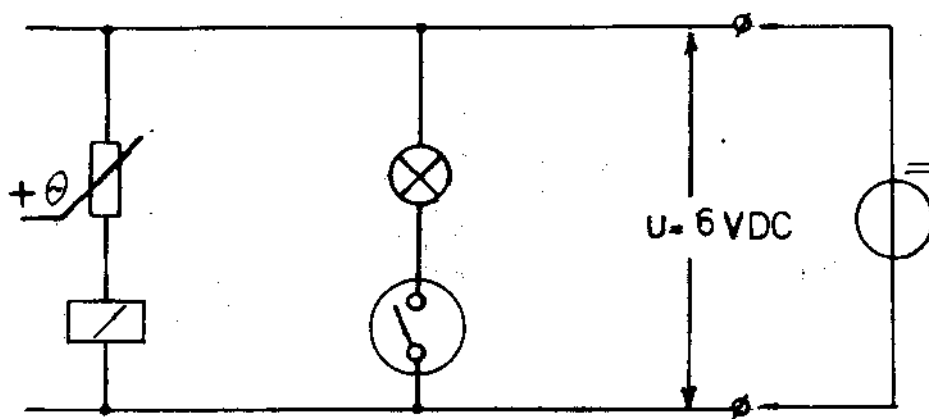


Let op: Het relais mag in deze schakeling niet langer dan 1 minuut a het inkomen van de contacten op 8 Volt voeding aangesloten blijven in verband met een te hoge warmte ontwikkeling in de spoel.

## OPGAVE.

Bouw onderstaande schakeling op, waarbij de voedingsspanning van 6 Volt via de schakelaar kan worden aangelegd.

Direct na het aanleggen van de voedingsspanning zal het relais inschakelen.



Vragen:

De schakeltijd is ongeveer..... seconden na het opwarmen van de P.T.C. weerstad.

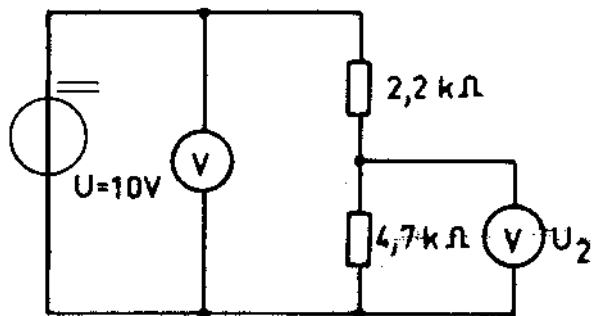
Wat gebeurt er met de weerstandswaarde van de P.T.C. als deze wordt verwarmd?

Wat gebeurt er met de weerstandswaarde van de P.T.C. als deze wordt afgekoeld?

## OPGAVE 1.

Bereken de waarde van  $U_2$  uit onderstaande schakeling. Houdt hierbij geen rekening met de  $R_i$  van de voltmeters.

Meet de waarde van  $U_2$  in de proefopstelling.



Resultaat  $U_2$  (berekend) = .....V

$U_2$  (gemeten) = .....V

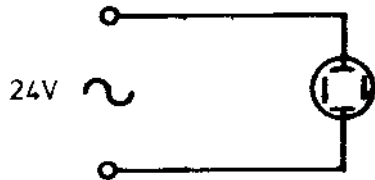
## OPGAVE 2.

Herhaal bovenstaande opgave nogmaals, maar nu met een 10 K  $\Omega$  weerstand als belasting op de spanningsdeler.



## OPGAVE 1.

Meet met de oscilloscoop de periode tijd van de netspanning via een transformator van 24 V / sec (zie afbeelding hieronder).

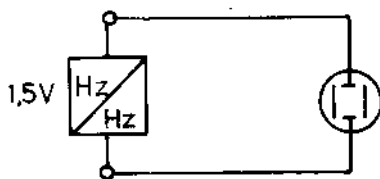


$T =$                       m / sec.

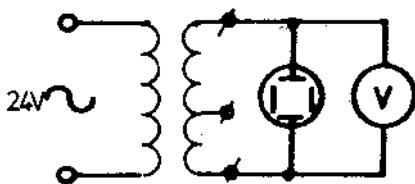
En bereken de frequentie d.m.v.:

$$f = \frac{1000}{t \text{ (m.sec)}}$$

Herhaal de proef eventueel door van een toongenerator een willekeurige frequentie te meten.



$$T \text{ (m.sec)} = \frac{1000}{F}$$



## OPGAVE 2.

Sluit de universeel trafo uit de set Elektronik 1 primair aan op de 24V. Meet nu aan de secundaire kant van deze transformator.

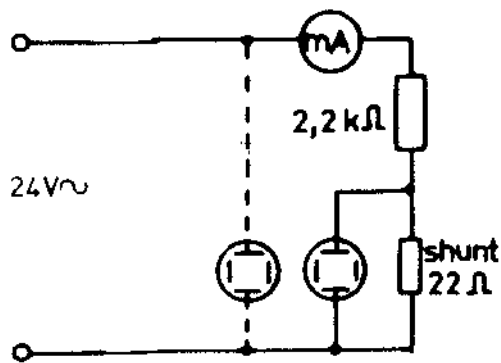
via de oscilloscoop de maximale waarde van de spanning  $U_{max}$ . .....V

met een universeelmeetinstrument de effectieve waarde van de spanning  $U_{eff} =$

c. Bereken de verhouding tussen a en b;

$$U_{eff} =$$

$$U_{max}$$



### OPGAVE 3.

Meet met de oscilloscoop e een universeelmeter de stroomwaarde door een 2,2 K  $\Omega$  weerstand. (Zie afbeelding hierboven).

Bereken de verhouding tussen I gemeten met de Universeelmeter.

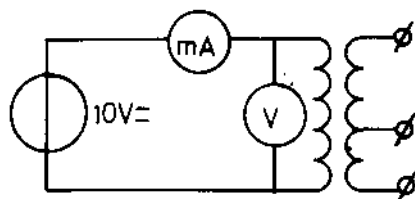
En  $I_{max} = \frac{U_{SHUNT}}{R_{SHUNT}}$  gemeten met de oscilloscoop.

I =  
I-max

### OPGAVE 4.

Bepaal de faseverschuiving tussen U en I volgens de schakeling bij opgave 3.

## OPGAVE 1.

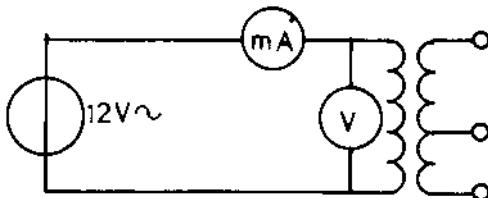


Bepaald de  $\Omega$ se weerstand van de primaire wikkeling van de universeeltrafo uit de Elektronik 1 set als in het schema aangegeven.

$$\begin{aligned} \text{UDC} &= V \\ \text{IDC} &= \text{Ma} \\ \text{RP} &= \underline{\text{UDC}} \end{aligned}$$

IDC

## OPGAVE 2.



Maak nu de schakeling zoals hiernaast getekend en bepaal de impedantie van de spoel aangesloten op een wisselspanningsbron van 50 Hz. Meet hiertoe U en I;

$$\begin{aligned} \text{UAC} &= V \\ \text{IAC} &= \text{Ma} \end{aligned}$$

$$Z = \underline{\text{UAC}}$$

IAC

## OPGAVE 3.

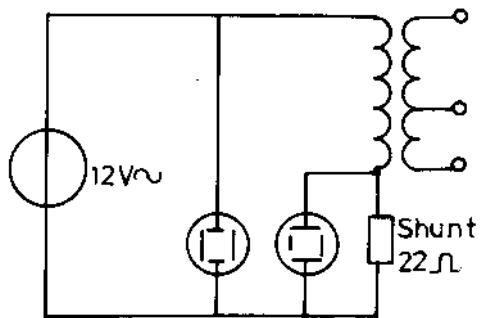
Bereken verder :

$$\text{Reaktantie } X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

$$\text{Zelfinductie } L = \frac{L}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

## OPGAVE 4.

Verbind volgens onderstaande schakeling de primaire wikkeling in serie met een 22  $\Omega$ s weerstand aan de wisselspanningsbron en bepaal;



$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

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

$$\cos \phi = \frac{R}{Z}$$

$$\text{hoek } \phi =$$

OPGAVE 5.

Ga u door meting na de stroom en de fasehoek.

IGEMETEN =

Hoek  $\phi$  GEMETEN =

d.m.v. constructie kunnen de gevraagde waarden eveneens worden gevonden.

## 8. Halfgeleider theorie.

### Atomen.

Stoffen kennen drie fase toestanden:

Gasvorm

Vloeistofvorm

Vaste vorm

Stoffen uit elk der 3 fasen worden in elektrotechnische toepassingen gebruikt b.v.:

Neon in lampen

Olie in transformatoren

Koper voor geleiders.

Elektrisch kan men de stoffen als volgt indelen:

Goede geleiders

Half geleiders

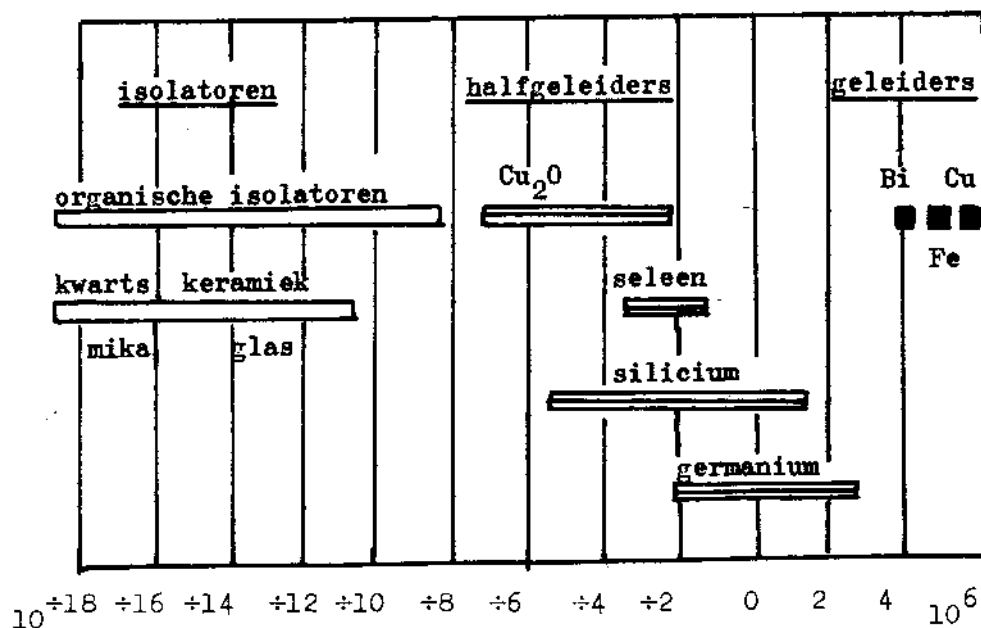
Isolatoren.

Er zijn echter geen grenzen tussen deze groepen aan te geven. Tot welke groep een stof behoort wordt bepaald door het specifieke geleidingsvermogen dat in Siemens per cm. Wordt uitgedrukt.

Men bepaalt het geleidingsvermogen of geleidbaarheid aan een dobbelsteen van de betreffende stof met een afmeting van 1 x 1 x 1 cm. Waarbij tussen twee eindvlakken het resultaat gemeten wordt.

$$\text{Geleidbaarheid in Siemens} = \frac{1}{\text{Weerstand in } \Omega} =$$

Specifieke geleidingsvermogen in Siemens per cm.



Teneinde enig begrip te krijgen van het bovenstaande overzicht moet men kennis nemen van een stukje atoomtheorie.

Alle stoffen zijn uit zeer kleine deeltjes opgebouwd, de z.g. moleculen. Moleculen zijn op hun beurt opgebouwd uit atomen. Een atoom bestaat uit een kern welke positief is geladen en een of meer elektronen die daarom heen cirkelen zoals de planeten om de zon.

Het elektron is negatief geladen.

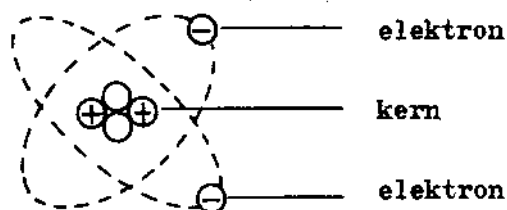
Ondanks het feit dat zowel de atoomkern als de elektronen daaromheen elektrische ladingen bezitten, zal het atoom voor zijn omgeving geen elektrische kenmerken bezitten, omdat de positieve lading van de kern gelijk is aan de som van de negatieve ladingen van zijn elektronen zodat men het atoom neutraal mag noemen.

De elektronen worden in hun baan gehouden door de aantrekkingskracht van de atoomkern waartoe zij behoren, welke kracht naar elkaar uit te oefenen. Na onderzoek is vast komen te staan, dat de elektronen in een aantal verschillende banen om de kern draaien, met dien verstande dat er per baan afstand gerekend meerdere elektronen zich in een zelfde baan kunnen bevinden.

Men stelt zich hierbij voor dat de kern gelegen schil nooit meer dan 2 elektronen bevat.

Bezit een atoom meerdere elektronen, dan lopen deze in een tweede schil, welke nogmaals 8 elektronen kan bevatten, een eventuele derde schil 18 en een vierde schil 32 elektronen. De grootste interesse gaat uit naar de laatste schil van de atoom. Het aantal elektronen hierin of het aantal nog vrije plaatsen bepalen de z.g. valentie van het atoom, hetgeen wil zeggen dat hierdoor een stof in staat is, een binding aan te gaan met een andere chemische stof welke voor aanvulling kan zorgen. De elektronen in de laatste schil zijn tevens bepalend voor de elektrische eigenschappen van de stof.

Heliumatoom.



## Geleiders.

Materialen die men kent als elektrische geleiders, hebben als kenmerkende eigenschap dat de elektronen in de buitenste schil een vrij losse binding hebben met de atoomkern. Daardoor gebeurt het al gauw dat zij hun baan verlaten en de baan kiezen van een naastbij gelegen atoom om ook daaruit al gauw verder te zwerven. Deze elektronen noemt men naar hun aard "vrije elektronen". Legt men een elektrische spanning op een dergelijke stof aan, dan kunnen de vrije elektronen op deze wijze huppelend van atoom naar atoom zich in de richting van de pluspool bewegen. Een beweging van elektrische lading in een richting is een elektrische stroom. Telkens wanneer een elektron een schil verlaat en zich in de richting van de positieve pool begeeft komt er een plaats vrij. Men zegt dan dat de lege plaatsen ogenschijnlijk een beweging uitvoeren in de tegenovergestelde richting, namelijk naar de positieve pool.

Deze vrije plaatsen of gatenstroom, zoals ze wel genoemd worden, is de stroom welke men kent als de stroom van + naar -. Op deze wijze komt een stroom tot stand in een richting wanneer een spanning op een geleidende stof wordt aangelegd.

Hoe meer vrije elektronen een stof bevat, hoe beter de stof functioneert als de elektrische geleider. Een andere factor, die de geleidbaarheid bepaald, is de ligging van atomen in een stof ofwel de structuur hiervan.

Regelmatige patronen leveren de grootste geleidbaarheid op en daarmee de geringste weerstand aan de bewegingsvrijheid van de elektrische ladingsstroom. Men moet zich bij dit alles voorstellen dat het elektron zich voelt als een vlieg in een grote kerk voor wat betreft de ruimte in een stof.

De beste geleiders vindt men onder de metalen.

Bekend zijn bijv.:

Fe-ijzer.

Cu-koper.

Koper wordt voornamelijk gebruikt voor elektrische leidingen en kabels. IJzer wordt ondermeer gebruikt in legeringen voor weerstandsmaterialen. Zo speelt aluminium nog een grote rol bij halfgeleider contacten en geleidende lagen bij o.a. folie condensatoren.

## Isolatoren.

De ideale isolator is het materiaal dat de elektrische stroom niet kan geleiden. Een dergelijke stof bevat dan geen vrije elektronen, wat zou betekenen dat de elektronen in de buitenste schil een onverbreekelijke kracht van de kern ondervinden. In wezen hebben ook de bekende isolatiestoffen een zeker geleidingsvermogen. Zelfs kan men ze geleiden maken onder invloed van hoge temperaturen, hoge spanningen en verontreiniging door vocht of andere stoffen. Stelt men een isolator aan hoge spanningen bloot, dan kan deze plotseling geleidend worden een zogenaamde doorslag vertonen, waarbij vaak het materiaal een blijvende verandering ondergaat, zodat het als goede isolator niet meer geschikt is. De toepassingsmogelijkheden voor de diverse materialen worden bepaald door hun bestandheid tegen elektrische, thermische en mechanische verschijnselen.

De volgende elektrische eigenschappen kunnen worden onderzocht:

Kruipstroom (langs de oppervlakte).

Doorslagspanning.

Elektrische weerstand.

Diëlektriciteits constante.

Diëlektrische verlies-factor.

Lichtboog spanning.

De isolatiematerialen worden als volgt ingedeeld:

organische

anorganisch (niet organisch)

Organische isolatiematerialen:

Natuurlijke isolatiestoffen.

Cellulosehoudende isolatiestoffen.

Synthetische isolatiestoffen.

Rubbers.

Wasproducten.

Oliën en vetten.

Lakken.

Anorganische isolatiematerialen:

Natuurlijke isolatiestoffen.

Keramische isolatiestoffen.

Glas.

Als toepassing kan worden genoemd;

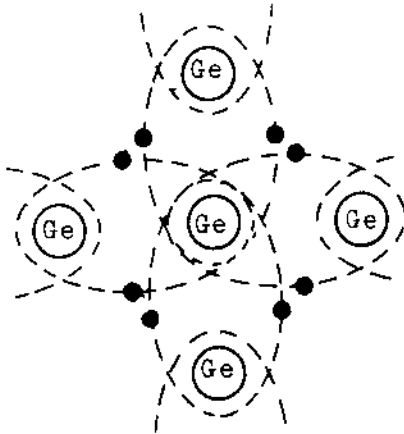
Isolatie rubber voor kabels, polyvinylchloride (PVC) voor draadisolatie en pijp, mica als isolatie voor bepaalde condensatoren.

### **Halfgeleiders.**

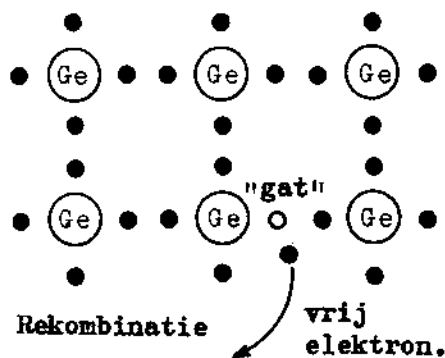
Halfgeleide stoffen bestaan uit vaste stoffen, waarvan atomen en moleculen in een regelmatig patroon geordend liggen tot een kristalrooster. In de buurt van het absolute nulpunt ( - 273°C), zijn zuivere halfgeleidende materialen als elektrische isolatoren te beschouwen. Op kamertemperatuur bezitten ze een geringe geleidbaarheid. In het overzicht op **pagina.....** Vinden de halfgeleiders en isolatoren. Halfgeleidende materialen moeten uiterst zuiver zijn om hun eigenschappen te kunnen onderzoeken.



Germanium.



Herkomst vrije elektronen.



Teneinde wat dieper in te gaan op de elektrische eigenschappen van halfgeleidende materialen zullen wij geranium nader bekijken. Geranium heeft dezelfde opbouw als een diamant kristal, n.m. elk geraniumtoom heeft 4 "buren" welke gezamenlijk het kristalrooster vormen. De buitenste schil van het geraniumtoom bevat 4 elektronen. Deze zijn verantwoordelijk voor de binding tussen de atomen onderling en worden bindingselektronen of valentieelektronen genoemd. Elk valentieel-elektron cirkelt zowel om de eigen kern als om de kern van een naburig atoom. Bij lage temperaturen kan een valentieelektron zich niet uit zijn baan begeven. Het materiaal heeft dan geen vrije elektronen en blijkt een isolatie materiaal te zijn.

De figuur toont een klein deel van een stuk geranium. Bij kamertemperatuur maken de atoomkernen een ritmische beweging waardoor een elektron a.h.w. uit zij baan wordt geschud en als vrij elektron in het kristal gaat zwerven. Op de plaats die verlaten is door een elektron ontstaat een tekort aan negatieve lading dat daardoor ontstaat, welk overschot een gat wordt genoemd.

Een vrij elektron kan weer in de valentie schil van een atoom gevangen worden en een vrije plaats innemen. Hereniging van een elektron met een gat wordt recombinatie genoemd.

Wanneer een elektron zich verplaatst naar het gat van een buuratom, ziet men dat er een gatenverplaatsing optreedt. Het gat ontstaat in de tegenovergestelde richting t.o.v. de verplaatsing van een elektron. Elektronen stroom gaat van min naar plus. Gatenstroom gaat va plus naar min.

Halfgeleidermaterialen naast geranium zijn ondermeer: Koperoxide, seleen, filicium, galliumarxide.

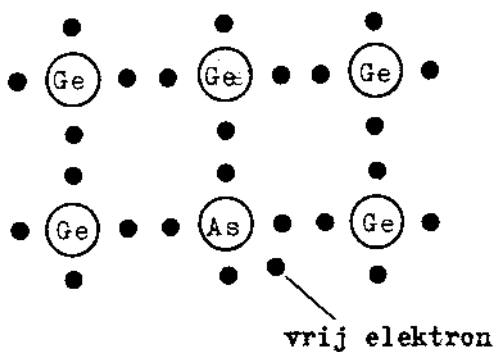
Silicium is verreweg het belangrijkste materiaal voor de vervaardiging van dioden, transistors, thyristors e.d. door het brede temperatuurgebied, waarin deze toegepast kunnen worden. Maximale kristaltemperatuur liggen van 150°C tot ca. 200°C.

De geleidbaarheid van een halfgeleiderkristal kan zeer sterk opgevoerd worden door het toevoegen van slechts een zeer geringe hoeveelheid van te voren bepaalde onzuiverheid. Vreemde atomen in een kristalrooster leveren extra vrije elektronen of

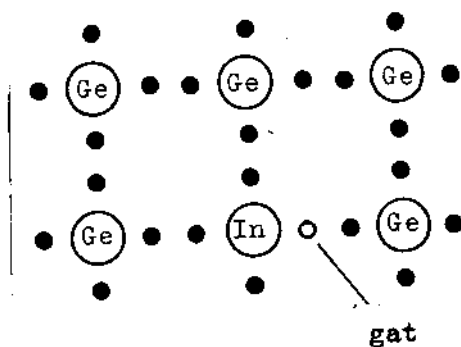
gaten op. Teneinde gewenste onzuiverheden aan te brengen moeten de natuurlijke en ongewenste onzuiverheden van te voren worden verwijderd. OM enigszins een beeld te verkrijgen van de mate van zuiverheid die moet worden nagestreefd, wordt een voorbeeld gegeven met mensen.

Wanneer de hele Nederlandse bevolking blauwe ogen zou moeten hebben dan is er een persoon bij met bruine ogen. Dus 1 onzuiverheidsatoom per ongeveer 14 miljoen germanium atomen. Ten aanzien van de gewenste onzuiverheid voor geleidend germanium geldt ongeveer dezelfde factor.

N-Germanium.



P-Germanium.



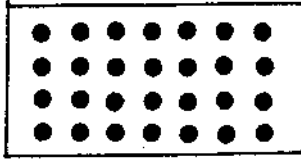
Kleindeel germanium.

Voor het verkrijgen van N-Germanium verontreinigt men het bijv. met arseen, dat 5 valentie elektronen bezit. In het germanium-rooster worden er slechts 4 gebruikt voor de binding.

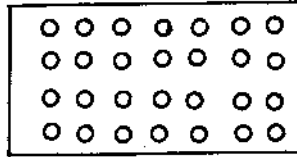
De overblijvende elektronen kunnen zich op die manier vrij bewegen in het kristal en men heeft een werkelijk vrij elektron verkregen. In plaats van arseen kan men ook andere 5-valentie stoffen toepassen.

Men maakt P-Germanium door bijv. indium of aluminium in een kristalrooster te bouwen. Daar deze slechts 3 valentie elektronen bezitten is er een verbindingselektron te weinig per binding en er ontstaan gaten in het rooster.

N-geleiders.



P-geleiders.



## **Samenvatting.**

Onder het woord halfgeleiders verstaat men in de elektronica elektrische onderdelen welke zijn opgebouwd uit halfgeleidermaterialen van het N –en P type over het algemeen met geranium of silicium als basismateriaal terwijl het geheel is ondergebracht in een metalen of plastic huisje met aansluitdraden.

Karakteristiek materiaal eigenschappen. Alle halfgeleidende materialen zijn lichtgevoelig, waardoor het halfgeleiderkristal luchtdicht moet worden opgeborgen in zijn behuizing. Verder is het materiaal temperatuurgevoelig; geranium in hogere mate als silicium.

Toepassingen o.a.:

Dioden (gelijkrichters)  
Transistoren (PNP of NPN)  
Thyristars  
Geïntegreerde circuits (IC's)  
Foto –en stralingsgevoelige detectoren.

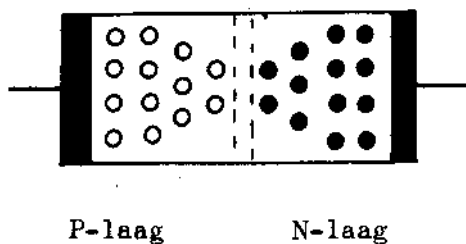
## 9. Halfgeleiders.

### Dioden.

Een halfgeleidend kristal kan zodanig worden gemaakt, dat de ene zijde van het N-geleidende type is, terwijl de andere zijde van het P-geleidende type is. Aangezien een praktisch halfgeleider kristalschijfje zeer dun is, (50 à 100 micron) grenzen de twee typen geleiders zeer dicht aan elkaar. Het grensgebied noemt men de PN-overgang of sperlaag.

Er bestaan een aantal fabricage methodes voor het maken van dioden. Een daarvan, de diffusie methode, is de methode waarbij men uitgaat van een zeer zuivere plak geranium waarvan de ene zijde met indium wordt bedekt en de andere zijde met antimoon. Vervolgens wordt het kristal in een oven sterk verhit, zodat de verontreinigingsstoffen in de plak trekken (diffunderen). Met de hoogte van de temperatuur en de tijdsduur in de oven kan men zodoende een redelijke nauwkeurige indringdiepte bepalen.

Werkings principe.



Op de grens tussen de P –en N-laag zullen tengevolge van de warmtebeweging van de moleculen vrije elektronen van de P-laag naar de N-laag geslingerd worden en gaten van de P-laag naar de N-laag. Dit gebeuren noemt men “diffusie” van ladingsdragers.

Aan beide zijden van de P-N-overgang gaan de vrije ladingsdragers weer verloren, omdat gaten en elektronen weer in elkaar opgaan (recombinatie). Dit recombinatie effect gebeurt dus juist in het gebied tussen de P –en de N-laag waar de stroom elektronen en gaten elkaar ontmoeten, zodat een neutrale zone ontstaat.

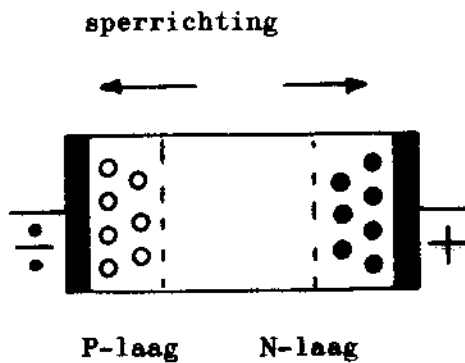
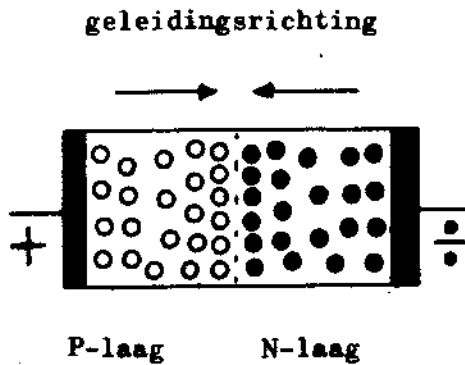
Deze zone zonder ladingsdragers gedraagt zich als een isolator en wordt daarom “sperlaag” genoemd. De dikte van een sperlaag is doorgaans 10

Micron.

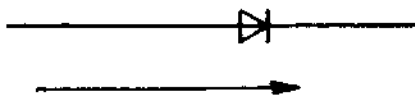
Wanneer men een gelijkspanning op de diode zet, zodanig dat de plus pool met de P-laag verbonden is en de min pool met de N-laag, dan zal deze spanning op de vrije elektronen in de N-laag en de gaten in de P-laag een stuwende werking uitoefenen in de richting van de sperlaag. Het gevolg is nu dat de sperlaag erg dun wordt, en tegelijk een voortdurende recombinatie optreedt. Er zal door de spanningsbron ook voortdurend gezorgd moeten worden voor het toevoeren van positieve en negatieve ladingsdragers naar de sperlaag, zodat men kan spreken van een stroom, welke is ontstaan.

Sluit men nu de spanning andersom aan, dan worden de elektronen uit de N-laag en de gaten uit de P-laag gezogen, waardoor de sperlaag dikker wordt. Een continu

recombinatie kan nu niet meer ontstaan, aangezien er in het spergebied geen positieve en negatieve ladingsdragers meer aankomen.



**Symbol.**



**Materiaal typen.**

De diode gedraagt zich nu a.h.w. als een condensator aangesloten op een gelijkspanning zodat er bijna geen stroom vloeit. Hoe hoger de aangelegde spanning, hoe dikker de sperlaag wordt.

Toch zal er nog een geringe stroom door de diode vloeien als gevolg van de eerder besproken beweging van de moleculen. De enkele gaten en elektronen die tengevolge hiervan recombineren zijn verantwoordelijk voor de z.g. lekstroom, welke dus sterk afhankelijk is van de kristaltemperatuur. In de praktijk wordt deze lekstroom meestal verwaarloosd, hoewel van geval tot geval bekeken moet worden of dit mag. De hoogte van de sperspanning wordt ondermeer begrensd door de dikte van het kristalplaatje. Wanneer men namelijk doorgaat met het verhogen van de sperspanning dan wordt een punt bereikt, dat de gebonden valentie elektronen een dusdanige kracht ondervinden dat deze uit hun binding worden losgerukt en met grote snelheid opbotsen tegen andere valentie elektronen, welke eveneens loskomen en gezamenlijk een lawine stroom vormen, waardoor de diode in omgekeerde richting in geleiding komt bij zeer hoge spanning. Dit effect gaat daardoor gepaard aan een zeer hoge warmte ontwikkeling plaatselijk in het kristal waardoor dit vernield wordt. Bij zenerdioden wordt een vergelijkbaar, niet destructief effect gebruikt voor het creëren van een vaste spanningsval, welke als spanningsreferentie kan worden gebruikt. Bij gelijkrichtdioden voor hoge stromen heeft men bij bepaalde uitvoering de lawinestroom zodanig aan banden kunnen leggen dat deze

onder bepaalde gebruiksomstandigheden niet vernield werkt.

Diverse materialen zijn gebruikt voor het vervaardigen van gelijkrichtdioden. De belangrijkste hiervan zijn:

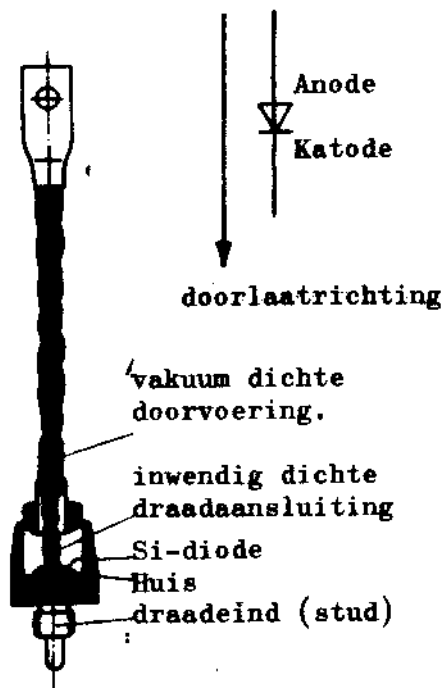
Geranium  
 Seleen  
 Koperoxide  
 Silicium

De laatste jaren wordt silicium als materiaal voor gelijkrichttoepassingen het meest gebruikt. Silicium dioden kunnen gemaakt worden voor continu voorwaartsstromen van honderden ampère en zijn in staat hoge spanningen in de sperrichting te voeren. (1000 Volt en meer).

Belangrijk zijn verder de gunstige eigenschappen t.a.v. lekstroom en hoge temperaturen.

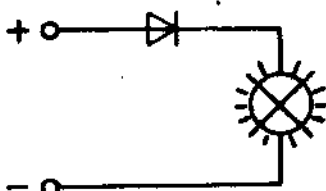
Door de uitgebreide toepassing van silicium als halfgeleider materiaal is dit tevens het meest voordelige materiaal geworden.

### Konstruktie.



Net als geranium heeft silicium 4 elektronen in de buitenste schil en lijkt eveneens wat kristalstructuur betreft op geranium. Het fabricageproces van een diode begint bij een plakje zeer zuivere silicium waarop men aan de ene zijde een goudantimoon legering. Het op deze wijze bewerkte schijfje wordt in een speciale oven geplaatst en verhit tot een hoge tot zeer hoge temperatuur. Bij deze hoge temperatuur diffunderen de aangebrachte metalen in de plak en verontreinigen deze. Op deze manier ontstaat de P-laag en de N-laag en vormt zich de sperlaag. De eigenlijke diode (het kristal) is hiermede tot stand gekomen. Het kristal wordt vervolgens in een omhulling van kunststof of metaal aangebracht en hermetisch afgesloten van de buitenlucht; dit omdat het inwerken van de diverse bestanddelen van de lucht de diode werking van het kristal nadelig kunnen beïnvloeden. De omhulling dient er tevens voor om het kwetsbare halfgeleider kristal te beschermen. Bij kleine diode typen worden de aansluitdraden met een speciaal soldeer aan het kristal bevestigd. De grote diode typen in een metalen huis hebben een elektrische aansluiting welke zodanig stevig is uitgevoerd dat de grote dioden voorwaarts stromen hiervan kunnen worden afgenomen, terwijl de andere aansluiting het huis zelf is. Meestal is het huis voorzien vaneen draadeind waarmee de diode bevestigd kan worden op een koelblok.

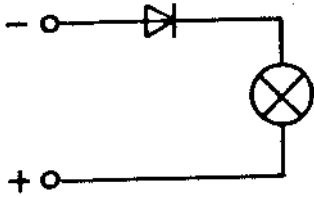
### Doorlaatricting.



Siliciumdioden hebben een lage weerstand in de doorlaatrichting en hebben dientengevolge slechts een laag spanningsverlies. De diode voorwaarts karakteristiek laat zien dat de diode pas in geleiding komt bij een spanning van ca. 0,6 – 0,8 Volt. Deze spanning noemt men drempelspanning of diffusiespanning. De voorwaartsspanningsval bij dioden varieert iets met de belastingstroom maar is nooit veel groter dan de drempelspanning.



### Sperrichtung.



lekstroom in de orde van pico-ampères,

Wanneer de diode in de spertoestand is, gedraagt deze zich als een open contact. Toch loopt nog een hele kleine lekstroom. Deze stroom is vrijwel constant voor alle sperspanningen zoals al eerder is gezegd, omdat ze ontstaat door thermisch vrijgekomen ladingdragers. Bij kamertemperatuur ligt de

maar verdubbelt zich telkens bij een temperatuurstijging van 8-10°C.

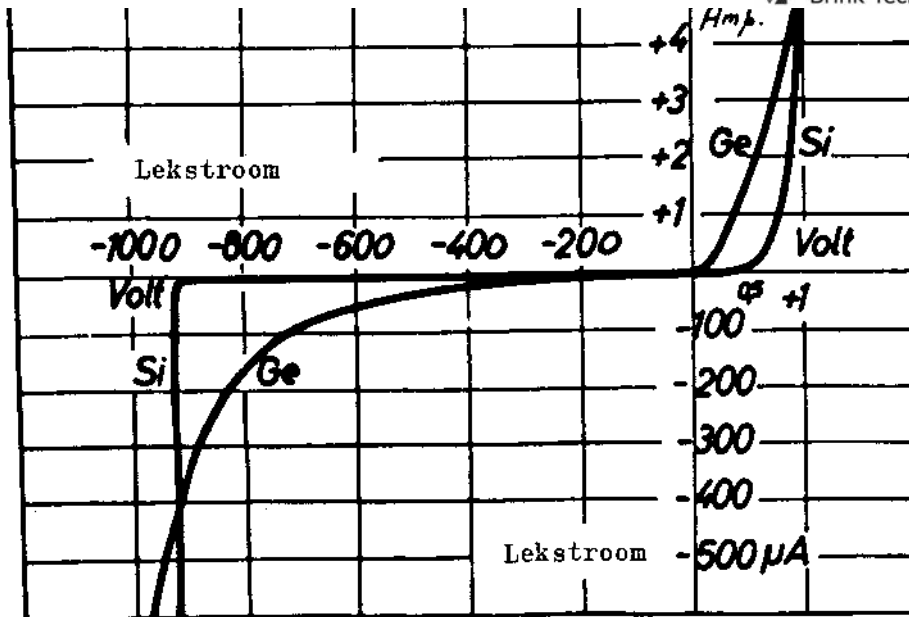
Bij een spanning in tegenwaartse richting die afhankelijk is van het diode type en de constructie, stijgt de stroom plotseling lawineachtig uitsluitend beperkt door de circuitweerstand. De spanning waarbij dit effect optreedt is de doorbraakspanning ook wel "avalanche-spanning" genoemd. Een normale diode die aan de avalanche-spanning wordt blootgesteld, wordt daardoor vernield doordat dit ergens in het kristal zeer plaatselijk optreedt, waarbij dusdanig hoge temperaturen ontstaan dat het materiaal blijvend veranderd.

Vaak wordt de avalanche-spanning niet eens bereikt en vindt al eerder doorslag plaats via de rand van het kristalplaatje, waarbij overigens ook onherstelbare schade wordt aangericht door hoge temperaturen.

Het "meggeren" van een siliciumdiode schakeling moet worden vermeden vanwege de hoge spanning van de generator. Er zijn speciale diode constructies waarbij het is toegestaan gedurende korte tijd zeer grote vermogens in het avalanche gebied op te nemen of gedurende lange tijd een hoge lekstroom (vele malen hoger dan de thermische) als de warmte ontwikkeling in de diode niet leidt tot hogere dan toegestane temperatuur. Dit zijn de controlled avalanche dioden die daardoor ook nog bij uitstek geschikt zijn voor serieschakeling.

Hieronder is de stroom/spanningsgrafiek getekend voor dioden in voor –en tegenwaartse richting. Getekend is de kromme van een geranium diode en die van een silicium diode.

Stroom in voorwaartsrichting.

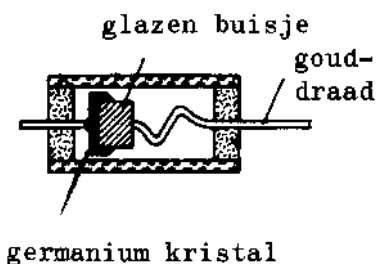


Een halfgeleiderdiode kan vele malen sneller dan een schakelaar van toestand veranderen. Dit betekent echter ook dat een vernietigende invloed op de diode maar zeer korte tijd nodig heeft om de diode te laten overlijden.

Met de gangbare smeltveiligheden kan een diode niet afdoende beveiligd worden tegen hoge overbelastingen of kortsluitingen vanwege de relatief lange tijd welke de smeltveiligheid nodig heeft om het circuit te onderbreken.

Voor dit doel heeft men zeer snelle zekeringstypen ontwikkeld (diode zekering) welke bijvoorbeeld 3 smeltpunten bezitten en onder de naam "super rapid" zekeringen bekend staan.

#### Germanium diode.



De z.g. puntcontact dioden worden voornamelijk toegepast in radio -en tv apparatuur voor gelijkrichting van hoge frequenties en in de meettechniek, reden hiervoor is de zeer lage capaciteitswaarde van de diode en de lagere drempelspanning t.o.v. siliciumdioden. (o.a. 0,1 Volt)

De fabricage van de germaniumpuntcontact diode gaat als volgt:

In een glazen buisje wordt aan één zijde een aansluitdraad ingesmolten, waarop aan de binnenzijde een tafeltje is aangelast. Een aan één zijde verontreinigt germanium kristal wordt hierop met deze zijde gesoldeerd. Daarna brengt men de tegenovergestelde aansluitdraad aan waarop een gouddraad is aangebracht. De gouddraad is tot een veertje opgerold met een uitlopend puntje. Het puntje wordt verend op het germaniumtablettje gezet, waarna een kortstondige grote stroomstoot door de diode wordt gezonden. Door de ontwikkelde warmte wordt het goudpuntje aan het germaniumkristal gelast en legeert de sperslaag.

Geraniumdioden voor hogere stromen worden met voordeel toegepast in gelijkrichtschakelingen op lage voedingsspanning in verband met het lage voorwaartsspanningsverlies.

Voor de stormachtige ontwikkeling van de halfgeleider techniek bestonden al wel dioden welke op een halfgeleider effect gebaseerd zijn t.w. de seleen gelijkrichters voor vermogenstoepassingen en de koperoxide gelijkrichters (cuprox-cel) in meettoepassingen.

Kenmerkend voor deze dioden is de opbouw uit losse elementen en koelplaten. In moderne schakelingen zijn deze dioden niet meer te vinden.

Naast gelijkrichtdioden bestaat in de elektronica is een uitgebreid toepassingsgebied voor kleine dioden met speciale kenmerken waarvan de belangrijkste zijn:

Snelle dioden (schakeldioden)

Lage lek dioden

Variabele capaciteitsdioden.

Deze dioden zijn meestal ondergebracht in een zeer klein glazen huisje en zijn niet geschikt voor hoge spanningen of stromen.

## OPGAVE.

Gemeten moeten worden de gelijkspanning en de “brom” spanning van een een-weg gelijkrichtschakeling belast met 50 mA.

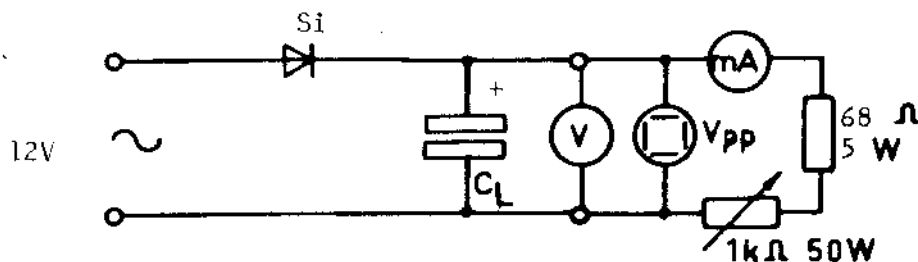
Vijf verschillende condities worde gekozen t.w. 1 conditie waarbij geen buffercondensator  $C_L$  wordt gebruikt en de volgende 4 condities d.m.v. verschillende buffercondensator waarden.

Voor elke conditie wordt met de regelweerstand  $i_K$  de belastingstroom op 50 mA gebracht. De mA meter op 100 mA gelijkspanningsbereik instellen. De voltmeter op 30 V gelijkspanningsbereik.

De oscilloscoop op AC – bereik.

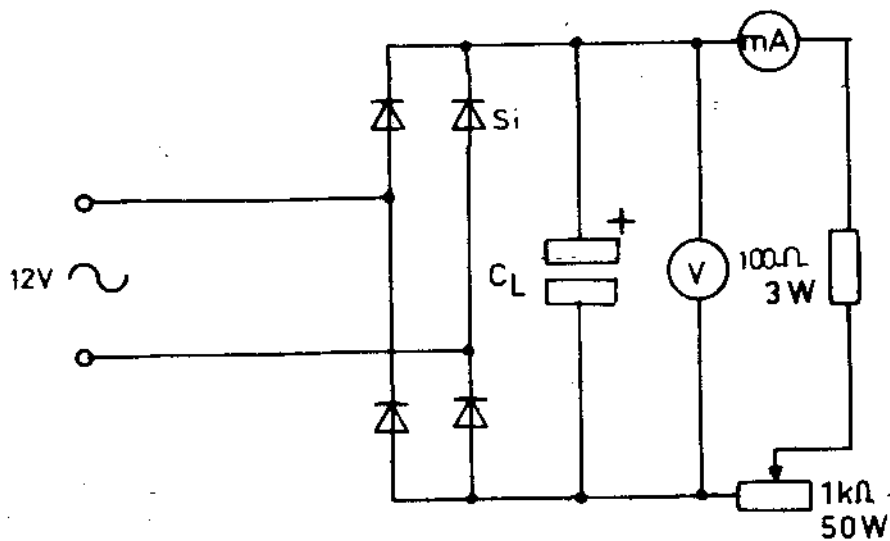
Bereken voor elke conditie de bromspanning in % van de gelijkspanning.

Teken voor elke conditie een curve van de gelijkspanning en geef commentaar op de diverse curven (oscilloscoop op gelijkspanning).



$C_L$ $\mu F$	$U_{dc}$ V	$U_{br}$ V	$U_{br}$ %	$U_{br}$ $V_{pp}$
0				
10				
22				
220				
470				

Berekening:  $U_{br} \text{ in } \% = \frac{U_{br} \times 100}{U_{DC}}$

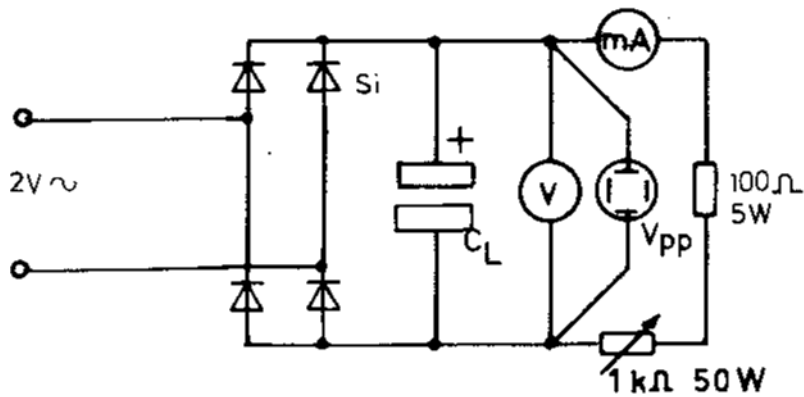


$C_L = 22 \mu\text{F}$		$C_L = 220 \mu\text{F}$		$C_L = 470 \mu\text{F}$	
U V	I mA	U V	I mA	U V	I mA
	0		0		0
	10		10		10
	20		20		20
	30		30		30
	40		40		40
	50		50		50
	60		60		60
	70		70		70
	80		80		80
	90		90		90
	100		100		100

### OPGAVE.

Verricht metingen aan een bruggelijkrichter met diverse buffercondensatoren en een aantal stroominstellingen als aangegeven in de tabel.

Teken op millimeterpapier de curve voor  $U = f(I)$  en geef commentaar op de curven. Gebruik hiervoor de instellingen van de stromen volgens bovenstaande tabel.



$C_L$ $\mu\text{F}$	$U_{dc.}$ V	$U_{br}$ V	$U_{br}$ %	$U_{br}$ $V_{pp}$
0				
10				
22				
220				
470				

### OPGAVE.

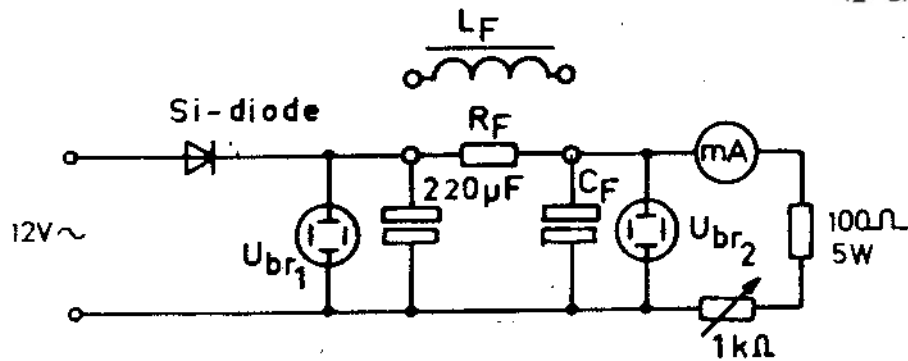
Meet de gelijkspanning en de bromspanning van een bruggelijkrichter, eenmaal zodner buffercondensator en 4 maal met diverse buffercondensator zoals in de tabel aangegeven.

De belastingsstroom wordt met de 1 K  $\Omega$  weerstand steeds op 50 mA ingeregeld.

Bereken voor elke conditie de bromspanning in % van de gelijkspanning.

Teken voor elke conditie de curve van de spanning.

Vergelijk de meetresultaten met de curven van opgave pagina 100.



$R_F/L_F$	$C_F$ $\mu F$	$U_{br1}$ V	$U_{br2}$ V	F
22 $\Omega$	220			
22 $\Omega$	470			
0,1 H	220			
0,1 H	470			

### OPGAVE.

Onderzoek de filterende werking van bovenstaand afvlakfilter, waarbij achtereenvolgens gebruik wordt gemaakt van  $R_F = 22 \Omega$  bij  $C_F = 220 \mu F$  of  $470 \mu F$  en  $L_F = 0,1 H$  in plaats van de weerstand en  $220 \mu F$  of  $470 \mu F$ .

$U_{BR}$  wordt gemeten met de oscilloscoop op "top-top" waarde.

Belastingsstroom steeds op 50 mA regelen.

Bereken voor elk geval de filterfactor t.w.;

$$F = \frac{U_{br1}}{U_{br2}}$$

Dioden, zenerdioden, transistoren, thyristoren en andere halfgeleiders van middel en groot vermogen hebben doorgaans een grotere warmte ontwikkeling in het kristal dan de behuizing (omhulling) aan de omgevingslucht kan afgeven.

Om aldus de te hoge temperatuurstijging van het kristal op te vangen moet de afvoer van warmte verbeterd worden. Dit bereikt men met een koellichaam of heat-sink waarop de halfgeleider wordt geschroefd en dat zo is gevormd dat het zo goed mogelijk warmte kan afgeven aan de lucht.

De eenvoudigste heat-sink is een vlakke plaat, maar meestal bestaat het koellichaam uit een aluminium blok dat de warmte goed kan geleiden en dat is voorzien van een aantal koelribben zoals bij de motor van een bromfiets.

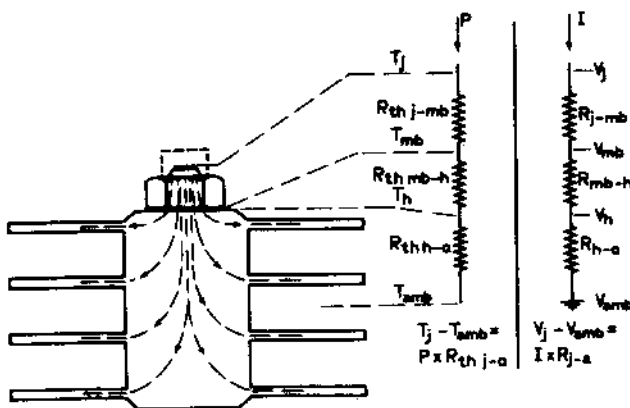
Het siliciumkristal is de warmtebron. Vandaar gaat de warmte naar de bodemplaat van de omhulling en stroomt hiervan naar het koelelement, waarna de warmte aan de lucht wordt afgegeven. De weg welke de warmtestroom volgt, kan worden vergeleken met een elektrische stroom welke door een aantal elektrische geleiders loopt. In deze vergelijking ondervindt de warmtestroom ook weerstand in de diverse materialen waar zij doorstroomt.

Deze thermische weerstand wordt geschreven als:

$R_{th}$  (in ° Celcius per Watt)

De elektrische weerstand als:

$R$  (in  $\Omega$ s)



Bovenstaande afbeelding laat de weg zien die de warmte aflegt van het kristal naar de omgevingslucht en de weg wordt beschouwt als een serie schakeling van 3 thermische weerstanden t.w.:

1.  $R$  (th -j-mb)
2.  $R$  (th-mb-h)
3.  $R$  (th-h-a)



$R_{th-j-mb}$  is de thermische weerstand tussen het kristal (junction) en de onderzijde van de omhulling (mounting base).

Deze waarde wordt door de diode fabrikant in de gegevensbladen genoemd.

$R_{th-mb-h}$  is de thermische weerstand van de omhullingsbodem naar het lichaam naar het koellichaam. (mounting base naar heat-sink).

Deze weerstand is afhankelijk van de kracht waarmee de diode op het koellichaam is gedraaid, het aanrakingsoppervlak en de mate van vlakheid van de huisbodem en van het koellichaam. Vaak wordt een warmte geleidende pasta gebruikt om de slechte warmtegeleider "lucht" tussen de twee valken te verdrijven. Ook dit gegeven wordt in de gegevensbladen van de betreffende diode genoemd.

$R_{th-h-a}$ ; Hieronder wordt de weerstand verstaan van het koellichaam (heat-sink) naar de omgevingslucht. (ambient). Dit is dus de eigen thermische weerstand van het koelelement.

Ook voor de diverse typen koelelement bestaan gegevensbladen waar de warmteafgifte per lengteenheid of afmeting in een grafiek zijn opgenomen.

Wanneer een koellichaam warmte opneemt en afgeeft aan de omgevingslucht, dan wordt de lucht verwarmt en moet voor een goede werking van het koellichaam worden afgevoerd en vervangen door koele lucht. Over het algemeen vindt dit al plaats door natuurlijke connectie, maar ook geforceerde koeling is mogelijk door een ventilator, waardoor de werking van het koellichaam wel wordt verbeterd. De grotere warmte afgifte voor geforceerde koeling is ook in de gegevens van een koelelement opgenomen.

Wanneer men voor een diode (of andere halfgeleider) de grootte of type van het koelelement wil bepalen kan geheel in overeenstemming met het hiervoor behandelde volgende formule worden gehanteerd:

$T_j - T_{amb} = P \times (R_{th-j-mb} + R_{th-mb-h} + R_{th-h-a})$ . waarbij;  
 $T_j$  de hoogst toelaatbare temperatuur is van het kristal.

$T_{amb}$  de hoogste te verwachten omgevingstemperatuur is.

$P$  het in het kristal ontwikkelde warmte vermogen. Soms geven fabrikanten van halfgeleiders bijzondere formules en grafieken voor het bepalen van koellichamen maar deze zijn dan zonder bovenstaande formule tot stand gekomen

Om aan te geven hoe een koellichaam wordt gedimensioneerd zullen wij een voorbeeld geven waarbij niet in eerste instantie wordt uitgegaan van de warmte formule, maar juist gebruik wordt gemaakt van de speciale methode van een fabrikant zoals hierboven is opgemerkt.



Wij gaan van de hiernaast afgebeelde diode uit.

Deze wordt onder de volgende omstandigheden gebruikt.  
1-fase bruggelijkrichter bij frequentie van 50 Hz.

Gemiddelde belastingsstroom IFAV = 8 A

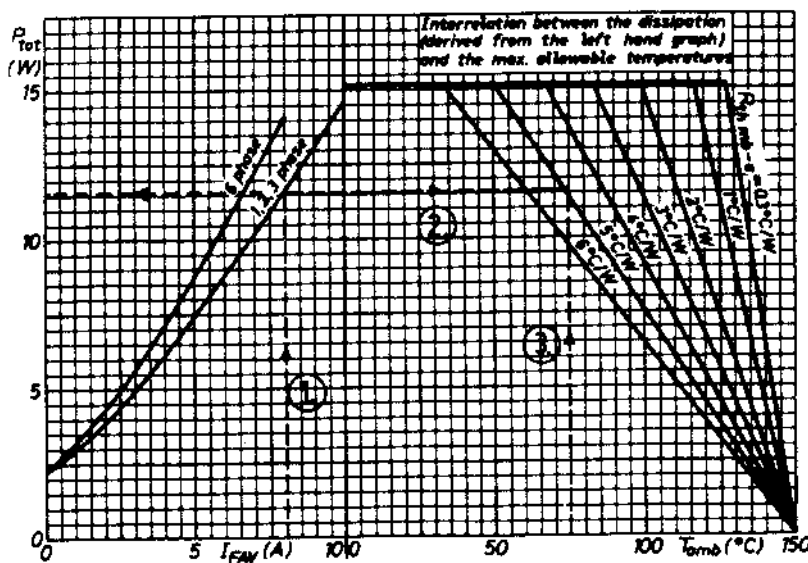
Omgevingstemperatuur  $T_{AMB} = 75^{\circ}\text{C}$ .

Opgemerkt kan worden dat de thermische weerstand  $R_{th-j-mb}$  niet direct in dit voorbeeld is te vinden aangezien de fabrikant deze waarde al heeft verwerkt in de gegeven grafieken. Teneerste moeten we uitvinden hoe groot de warmteontwikkeling in de diode is onder de gegeven bedrijfsomstandigheden.

Wij gaan hiervoor naar het linkerdeel van onderstaande grafiek en zoeken op de X-as naar de waarde 8A.

Bij IFAV = 8A (=gemiddelde waarde van de belastingsstroom trekken we een lijn loodrecht omhoog tot we de kromme voor 1 fase gelijkrichters snijden (1). Van dit punt uit vertrekken we nu in horizontale richting naar links en lezen op de Y-as de dissipatie af; 11,6 W.

Dit is de warmte ontwikkeling in de diode onder de genoemde gebruiksomstandigheden.



Vervolgens moeten we de thermische weerstand  $R_{th-mb-a}$  zien te vinden tussen de diodeomhulling en de omgevingslucht waarbij we nu weten dat de warmteontwikkeling 11,6 W is en de omgevingstemperatuur was  $75^{\circ}\text{C}$ . Hiertoe trekken we een horizontale lijn (2) vanuit het punt 11,6 W naar het rechter deel van de grafiek en uitgaande van het punt  $75^{\circ}\text{C}$  op de rechter X-as trekken we ook een verticale lijn (3). OP het kruispunt van beide lijnen lezen we nu af;  $R_{th-mb-a} = 5^{\circ}\text{C/W}$ .

Uit een ander gegevensblad van de diode (niet afgebeeld) hebben we de thermische weerstand tussen diode-omhulling en koellichaam gehaald en deze is;  $R_{th-h-a} = 0,3^{\circ}\text{C/W}$ .

Het is nu mogelijk de gewenste thermische weerstand van het koellichaam te vinden namelijk:

$$R_{th-h-a} = R_{th-mb-a} - R_{th-mb-h} = 5 - 0,3 = 4,7^{\circ}\text{C/W}.$$

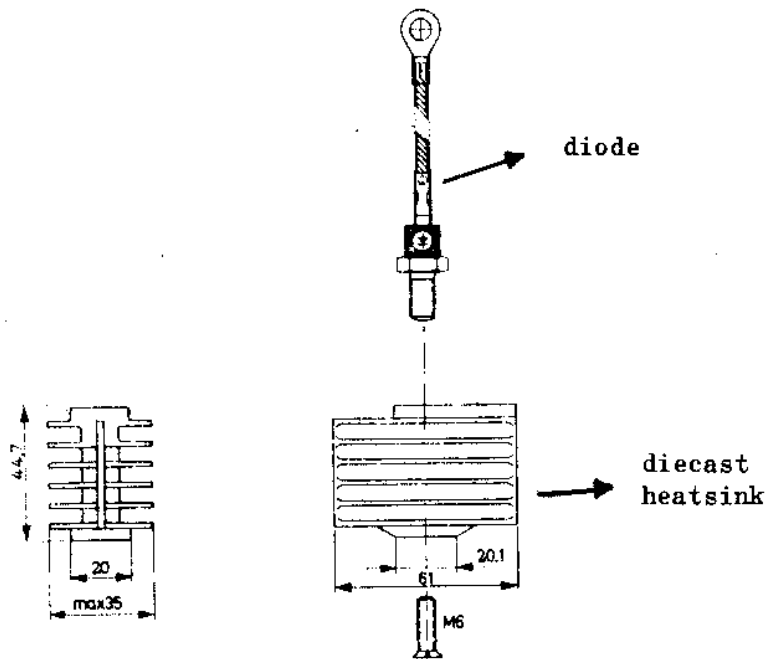
We missen nu nog de keuze van een koellichaam waarvan de thermische weerstand bij een af te geven warmtevermogen van 111,6 Watt niet groter is dan  $4,7^{\circ}\text{C/W}$

Het is al gezegd dat dit een vlakke plaat kan zijn van goed warmtegeleidend materiaal zoals aluminium of koper maar eveneens een bijzonder profiel in de vorm van een balk die naar behoefte in de juiste lengte kan worden afgezaagd. Er zijn ook kant en klare koellichamen in diverse afmetingen welke zonder nabewerking gebruikt kunnen worden (diecast heatsink).

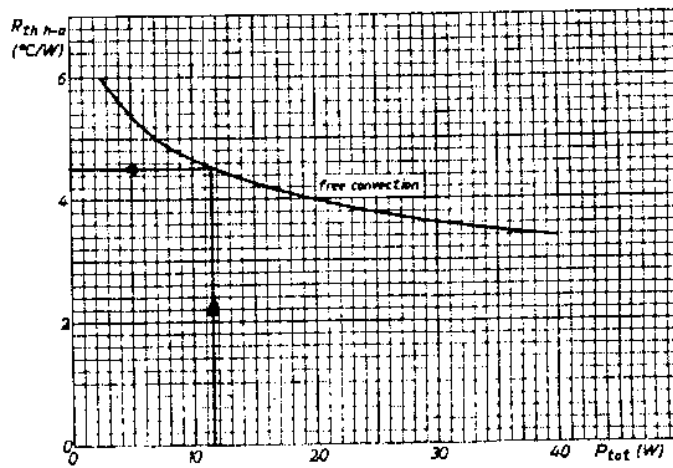
Uit een catalogus kiezen we nu het koelprofiel of koellichaam dat waarschijnlijk aan onze eis voldoet. Een type is gekozen (diecast heatsink) en we gaan aan de hand van de gegevens na of de keuze juist is. De grafiek hiervoor verderop afgedrukt op pagina 108. De thermische weerstand wordt op de volgende wijze nauwkeurig vastgesteld;

Er wordt op de horizontale as vanuit  $P = 11,6\text{W}$  een lijn loodrecht omhoog getrokken en waar deze kromme snijdt lezen we op de verticale as de thermische weerstand af;  $4,5^{\circ}\text{C/W}$ .

Dit koellichaam is dus zeer geschikt voor ons doel, omdat de thermische weerstand zelfs beter is als we nodig hadden voor ons doel ( $4,7^{\circ}\text{C/W}$ ).

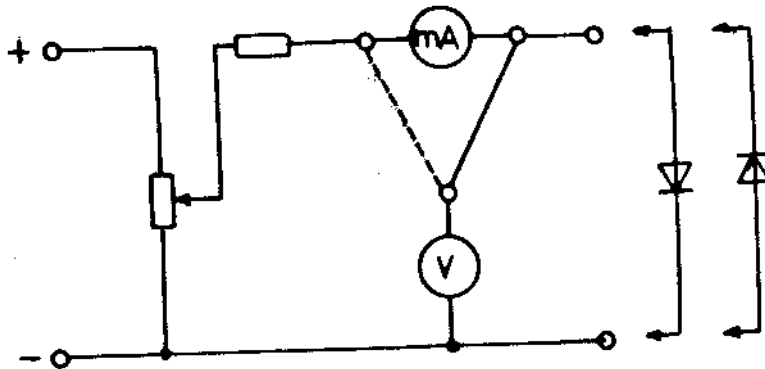


heatsink grafiek



Voor het bepalen van de diode karakteristiek wordt onderstaande opstelling gebruikt.

Via een potentiometer wordt de spanning over de te meten diode gevarieerd en de bij elkaar behorende waarden voor stroom en spanning worden afgelezen. De meting wordt gedaan met de diode in doorlaatrichting en een keer in de sperspanning.



Gemeten in doorlaatrichting geeft de diode een geringe weerstand te zien zodat hier om de grootste meetnaukeurigheid te bereiken het beste de “juiste spanningsmethode” kan worden toegepast. In de sperrichting een oneindig grote weerstand heeft.

Wanneer men zich een ideale diode voorstelt, zou dit een diode zijn welke aan de doorlaatstroom geen weerstand biedt ( $0 \Omega$ ) en in de sperrichting een oneindig grote weerstand heeft.

De praktische uitvoering van een diode geeft hiervan wel een benadering, maar er blijft een kleine weerstand bestaan in de voorwaartsrichting en ook in de sperrichting is de weerstand niet oneindig hoog.

Er zijn nog een aantal factoren welke niet ideaal zijn, maar toch is een moderne siliciumdiode een zeer goed bruikbaar en betrouwbaar bouwelement in de huidige elektronica.

**Rectifier diodes.**

$I_F$  ( $I_{DWM}$ )

Dioden voor gelijkricht-toepassingen.

Forward(diode) current (de or average). Maximaal toelaatbare continu stroom in doorlaatrichting.

$I_{FRM}$  ( $I_{DRM}$ )

Repetitive peak forward(diode) current. Toelaatbare stroomstoot welke de diode gedurende korte tijd voortdurend herhaald kan voeren.

$I_{FSM}$  ( $I_{DSM}$ )

Non repetitive peak forward(diode) current. Toelaatbare stroomstoot welke de diode gedurende korte tijd zo nu en dan kan voeren.

$I_R$  ( $I_{RWM}$ )

Reverse current (D.C.)Maximaal te verwachten lekstroom.

$I_{RRM}$

Repetitive peak reverse current.  
Toelaatbare stroomstoot welke de diode gedurende korte tijd (in het avalanche gebied) herhaald mag voeren.

$P_{RAV}$

Average reverse power dissipation.  
Toelaatbaar door de diode in het spergebied op te nemen (avalanche) vermogen gedurende lange tijd. N.B. Dit gegeven geldt uitsluitend voor de z.g. "controlled" avalanche dioden.

$P_{RRM}$

Repetitive peak reverse power dissipation.  
Toelaatbaar door de diode in het spergebied op te nemen (avalanche) vermogen, dat gedurende korte tijden herhaald mag worden. N.B. Dit geldt alleen voor controlled avalanche dioden.

$P_{RSM}$

Non repetitive peak reverse power dissipation.  
Toelaatbaar door de diode in het spergebied op te nemen (avalanche) vermogen, dat gedurende korte tijd zo nu en dan herhaald mag worden. N.B. Dit geldt alleen voor controlled avalanche dioden.

$V_F$  ( $V_{DRM}$ )

Continuous forward voltage.  
Voorwaarts diode spanningsval.

$V_R$  ( $V_{RWM}$ )

Continuous reverse voltage.  
Toelaatbare continu sperspanning.

$V_{RRM}$

Repetitive peak reverse voltage.  
Toelaatbare spanning welke door de diode gedurende korte tijd herhaald kan worden gesperd.

$V_{RSM}$

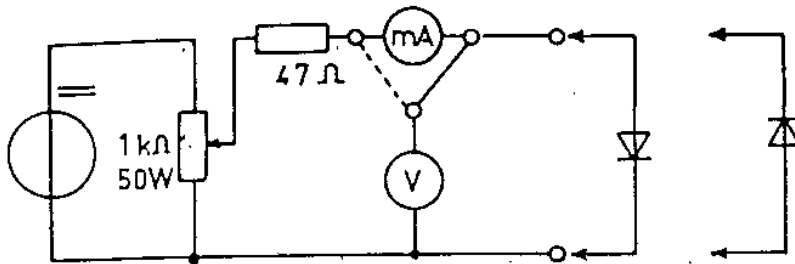
Non repetitive peak reverse voltage.  
Toelaatbare spanning welke door de diode gedurende korte tijd zo nu en dan kan worden gesperd.  
N.B. Dit geldt niet voor (controlled) avalanche dioden.

V (BR)R

Reverse breakdown voltage.

Maximale waarde van de diode sperspanning waarbij nog juist niet de lekstroom lawineachtig toeneemt.

Wanneer een diode vanuit de spertoestand in de geleidende richting wordt gestuurd mag de voorwaartsstroom niet onmiddellijk de maximale waarde bereiken. Het besproken kristal heeft namelijk een zekere (zeer korte) tijd nodig om volledig geleidend te zijn. Over het algemeen begint de geleiding ergens in een klein gebiedje van het kristal. Wanneer de maximale stroom uitsluitend op dat moment door dit gebiedje moet lopen ontstaat ter plaatse een dermate hoge temperatuur dat de die hierdoor verouderingsverschijnselen kan vertonen of vernietigd wordt. In de praktijk zijn de toegestane diode  $di/dt$ 's erg hoog en is altijd een zekere inductiviteit en weerstand in de elektrische leidingen aanwezig dat de stroom wordt begrensd.



Meetopstelling.

TYPE:0A 95		TYPE:LN4002	
GERMANIUM		SILICIUM	
U	I	U	I
V	mA	V	mA
0,1		0,4	
0,2		0,5	
0,3		0,6	
0,5			5
0,75			10
1,0			20
1,25			30
1,5			40
2,0			50
2,5			60

Doorlaatricting.

	GE	SI
U	I	I
V	μA	μA
10		
20		
30		

Sperricting.

## OPGAVE.

Teken de U-I karakteristiek van een geranium –en een siliciumdiode eerst in de doorlaatricting en vervolgens in de sperricting.

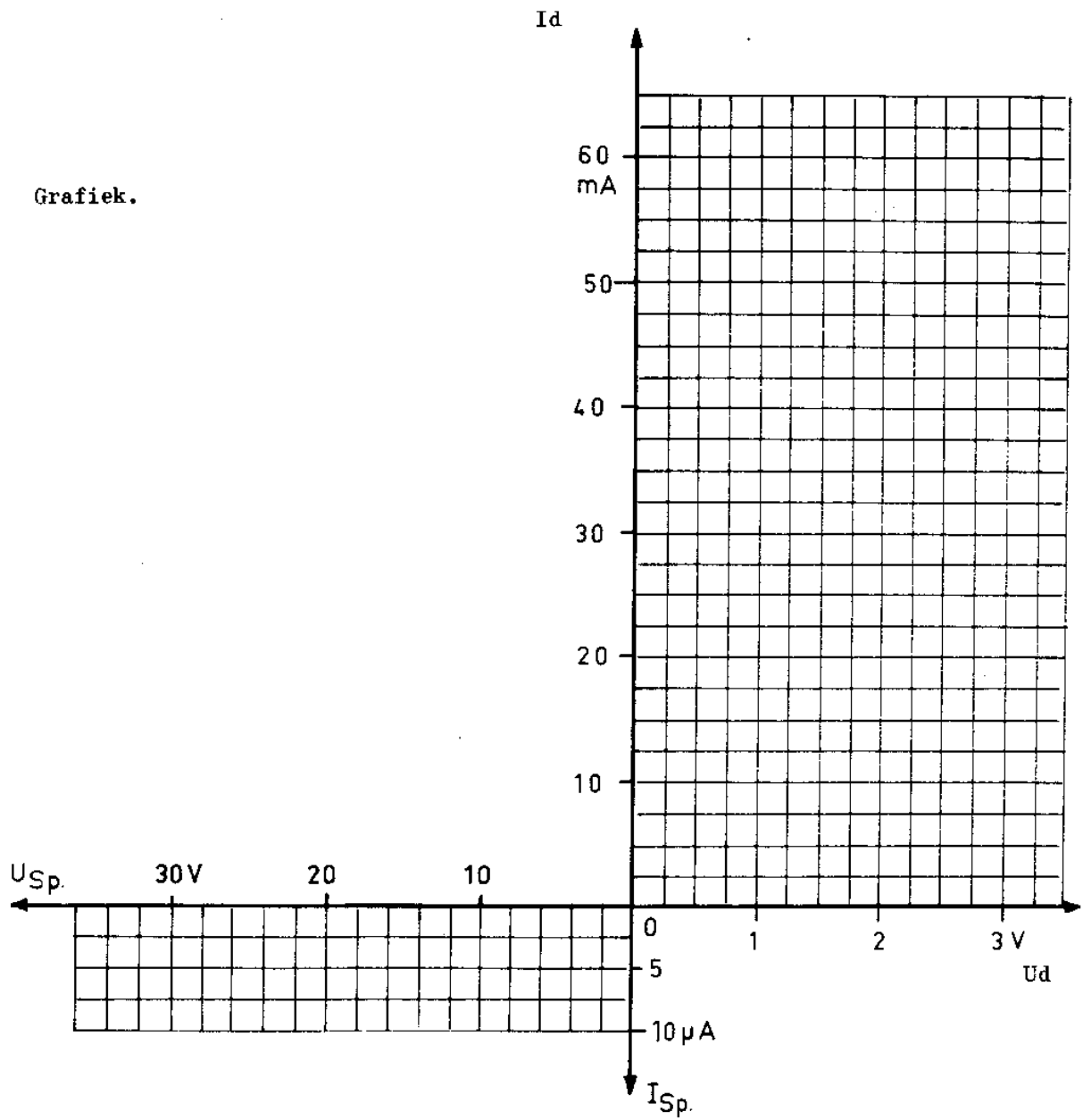
De meetopstelling is gegeven.

Stel met de spanningsdeler (potentiometer) de in de tabel gegeven spanningen in.

De karakteristieken kunnen ingetekend worden op het grafiekgebied op de volgende pagina.

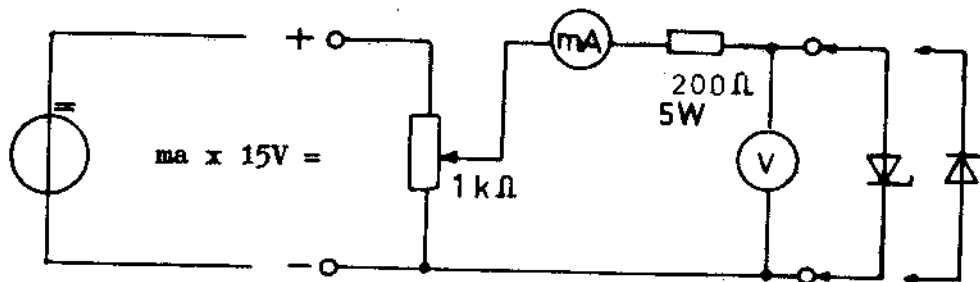


Grafiek.



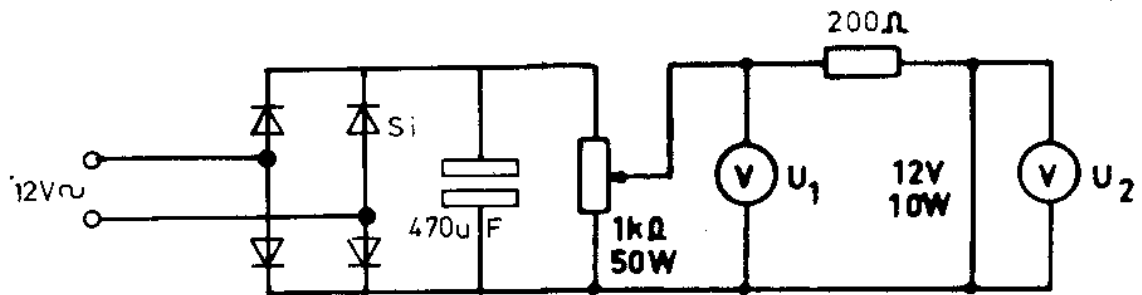
## OPGAVE.

Neem de karakteristiek op van de 12V-10 Watt zenerdiode en teken deze op een stuk millimeterpapier.



1		2	
doorlaatrichting		zenerrichting	
U V	I mA	U V	I mA
0,2		2	
0,4		6	
0,6		10	
	10		10
	20		20
	40		40
	60		60
	80		80
	100		100

## Schema



## OPGAVE.

Ga na in hoeverre een zenerdiode de uitgangsspanning stabiliseert als de ingangsspanning gevarieerd wordt volgens tabel.

Teken de grafiek voor  $U_2 = f(u_1)$ .

Tabel

$U_1$ V	$U_2$ V
2	
4	
6	
8	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	

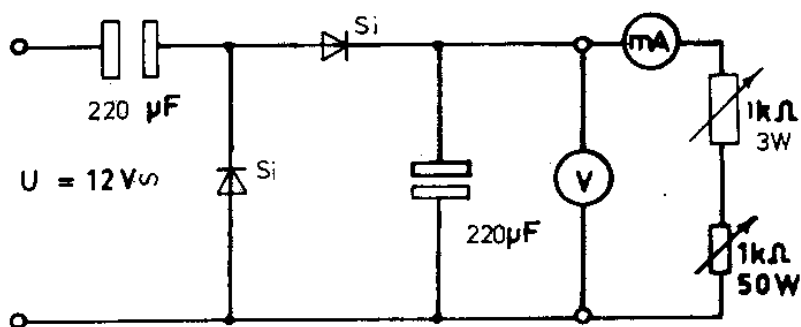
Vraag.

In welk gebied van  $U_1$  is de zenerdiode werkzaam.

Bereken met behulp van de eerder gedane metingen hoe het vermogen zich verdeelt over de zenerdiode en de serie-weerstand wanneer  $U_1 = 17$  Volt.

## OPGAVE 1.

Bouw een Villard spanningsverdubbelende schakeling op volgens onderstaand schema en meet de afgegeven spanningen bij de diverse belastingsstromen. Stel de diverse stromen in met de regelweerstand volgens tabel.

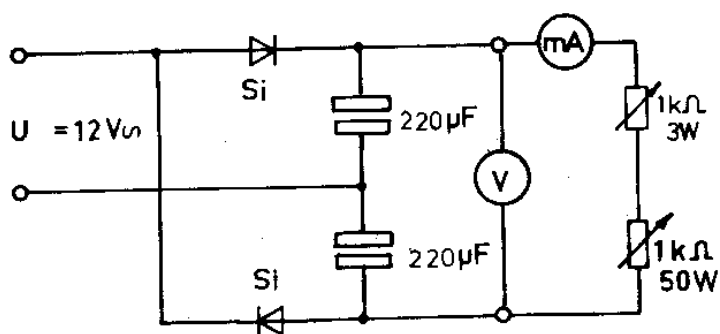


Tabel.

I mA	U V
0	
25	
50	
75	
100	
125	
150	

## OPGAVE.

Bouw de spanningsverdubbende schakeling van Delon op volgens onderstaand schema en meet de afgegeven spanningen e.e.a. volgens bijgaande tabel.



Schema

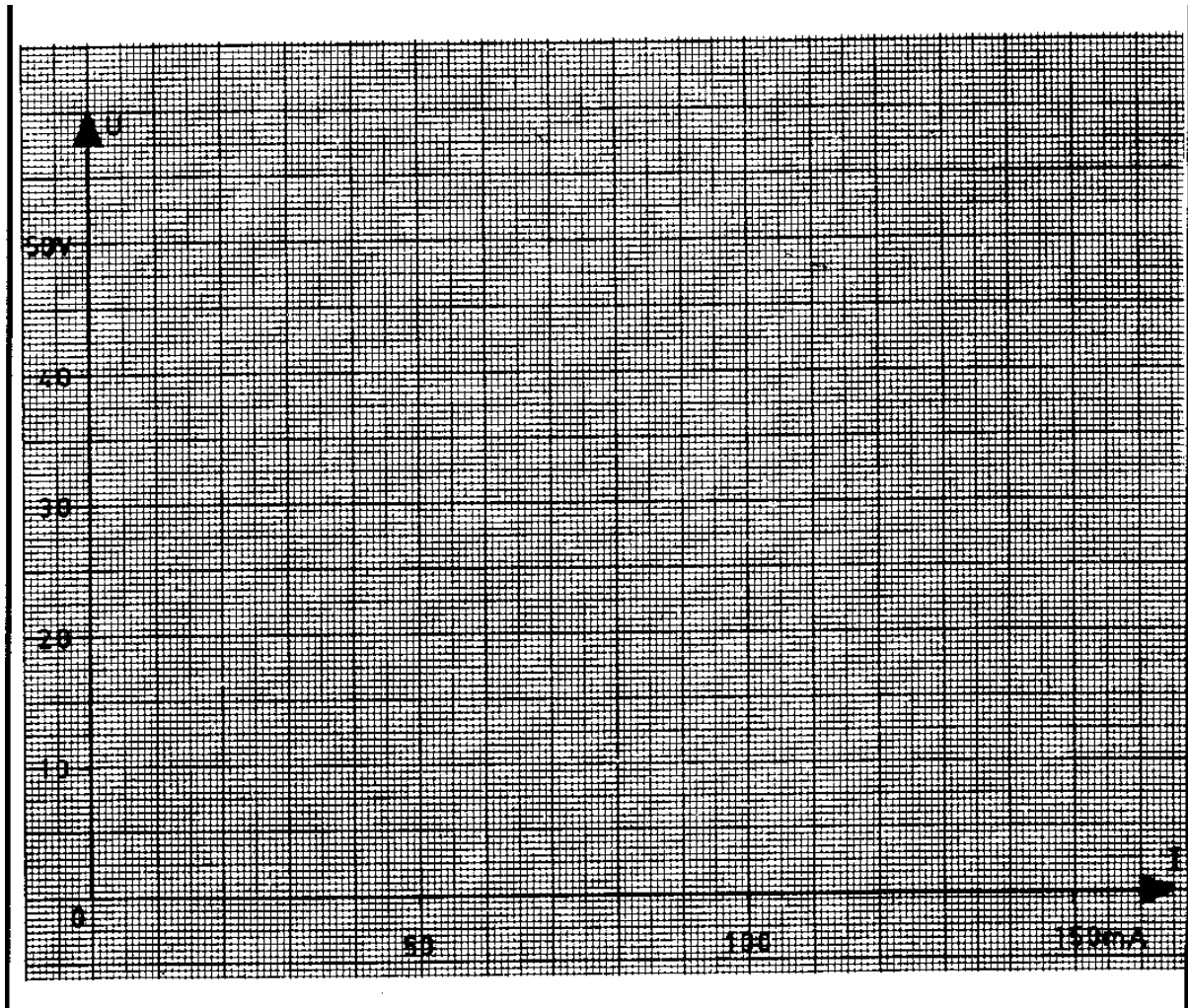
Tabel

I mA	U V
0	
25	
50	
75	
100	
125	
150	

OPGAVE.

Teken de belastingsgrafiek voor de schakelingen van Villard en Delon in onderstaand diagram.

Gebruik de gegevens uit de tabellen op pagina 116 en 117.

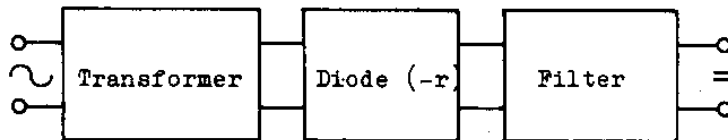


Vraag.

Wat kunnen we uit de twee curven opmaken?

In gelijkrichtercircuits zijn drie essentiële onderdelen te onderscheiden t.w.:

1. de voedingstransformator.
2. de diode (n).
3. het afvlakfilter.



Het bovenstaande blokschema geldt eveneens voor een regelbare gelijkrichtschakeling waarbij dan de diode(n) vervangen worden door een stuurbare diode (silicon controlled rectifier = scr = thyristor). In dat geval worden nog toegevoegd:

4. het spanningsreferentie circuit
5. het stuur –of triggercircuit.

Deze kunnen een aantal verschillende functies bezitten in een gelijkspanningsvoedingapparaat waarvan de belangrijkste zijn:

1. Het verkrijgen van de gewenste wisselspanning.
2. Galvanische scheiding van het gelijkstroomdeel van de netspanning.

De hoogte en vorm van de gelijkgerichte waarden (spanning en stroom) zijn afhankelijk van:

1. De aangelegde spanning.
2. Type gelijkrichtschakeling
3. Het afvlakfilter.

Er zijn een groot aantal typen gelijkrichterschakelingen waarvan de meest toegepaste zijn:

1. De een-weg gelijkrichter (1 diode).
2. De twee-weg gelijkrichter (2 dioden) met midden aftakking op de transformator.
3. De bruggelijkrichter (4 dioden)

Bij drie-fasen netten zijn de belangrijkste:

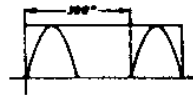
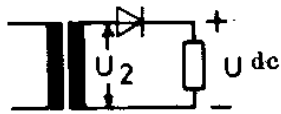
- De 3-fasen brugschakeling (6 dioden).
- De 3-fasen brugschakeling (3 dioden).

Er zijn twee waarden van belang bij gelijkgerichte spanning t.w.:

1. De uitgangsspanning  $U_{dc}$ .
2. De rimpelspanning of bromspanning  $U_{br}$ .

Hierna volgt een overzicht van de meest gebruikte gelijkrichtschakeling met de karakteristieke waarden van  $U_{dc}$  en  $U_{br}$ .

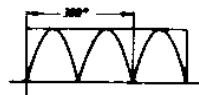
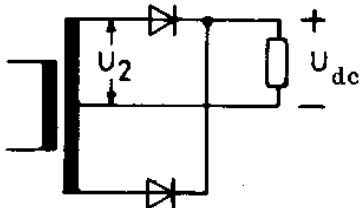
**Een-weg gelijkrichter.**



$$U_{dc} = U_2 \times 0,45$$

$$U_{br} = 120\%$$

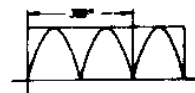
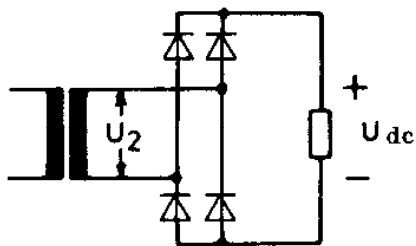
**Twee-weg gelijkrichter.**



$$U_{dc} = U_2 \times 0,9$$

$$U_{br} = 50\%$$

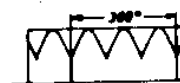
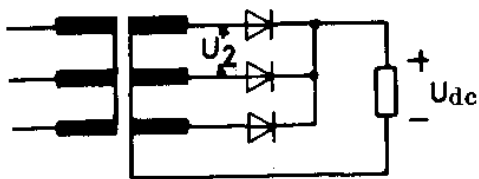
**Brug- gelijkrichter.**



$$U_{dc} = U_2 \times 0,9$$

$$U_{br} = 50\%$$

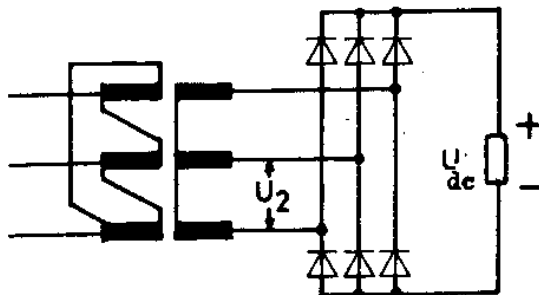
**3 fasen-ster gelijkrichter.**



$$U_{dc} = U_2 \times 0,66$$

$$U_{br} = 18\%$$

**3 fasen-brug gelijkrichter.**



$$U_{dc} = U_2 \times 1,32$$

$$U_{br} = 5\%$$



In het afvlakfilter worden condensatoren toegepast welke door de gelijkricht diode(n) worden opgeladen wanneer de gelijkgerichte spanning hoger is dan de condensatorspanning en welke gedurende de momenten dat de gelijkgerichte spanning weer daalt de spanning a.h.w. kunnen vasthouden. De in de condensator opgeslagen lading kan zodoende tijdens de periode dat de gelijkgerichte spanning laag is een stroom in stand houden naar de belasting. Deze condensator(en) noemt men de buffer –of afvlakcondensator(en). Het effect van de buffercondensator vindt men als:

Hogere uitgangsspanning.  
Lagere rimpelspanning.

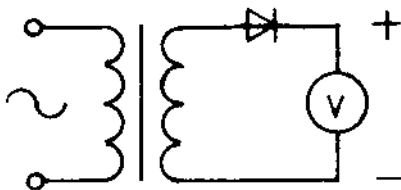
De besproken typen gelijkrichtschakelingen zullen worden beschouwd:

1. Zonder en met buffercondensator.
2. Zonder en met belasting.

Waarbij de diode(n) gemakshalve als ideale dioden gezien worden.

De uitgangsspanning van een een-weg gelijkrichter zodner buffercondensator en onbelast is afhankelijk van de toegevoegde wisselspanning.

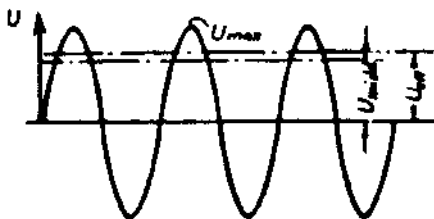
De 3 wisselspanningswaarden welke bij gelijkrichtschakelingen van belang zijn, worden hieronder gegeven:



$V_{MAX}$  = de hoogste waarde welke de wisselspanning bereikt.

$V_{GEM}$  = de gemiddelde waarde van spanning.

$V_{EFF}$  = de effectieve waarde van de wisselspanning ofwel de spanning welke normaliter voor een wisselspanning wordt aangegeven.

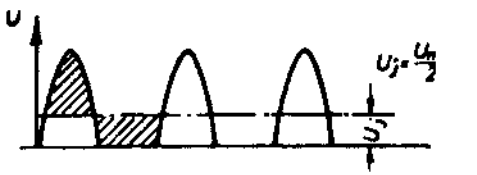


Wij herhalen nog eens de vaste verhoudingsgetallen tussen deze waarden.

$$V_{MAX} = V_{GEM} \times 1,57 = V_{EFF} \times 1,414$$

$$V_{GEM} = V_{EFF} \times 0,9 = V_{MAX} \times 0,637$$

$$V_{EFF} = V_{MAX} \times 0,707 = V_{GEM} \times 1,11$$



De uitgangsspanning heeft de hiernaast afgebeelde vorm. Een draaispoelspanningsmeter geeft een spanning  $U_{DC}$  als afleeswaarde welke overeenkomt met de gestreepte lijn. Deze lijn snijdt de halve sinusvormen (perioden) zodanig dat he oppervlak van de sinusvorm boven deze lijn gelijk is aan het oppervlak van het gebied tussen twee op een volgende sinusvormen onder deze lijn.

Wiskundig kan men bewijzen dat de gemiddelde gelijkspanning van een spoel met kern aangesloten op een pulserende gelijkspanning op deze wijze kan worden gevonden.

We kunnen eveneens stellen dat de waarde van de gelijkrichte spanning gelijk is aan de helft van de gemiddelde waarde van de wisselspanning aangezien de helft van deze spanning slechts wordt gebruikt, dus:

$$U_{dc} = \frac{U_{gem}}{2}$$

Is de effectieve waarde van de wisselspanning bekend, dan is dus de uitgangsspanning.

$$U_{dc} = \frac{0,9}{2} \cdot V = 0,45 \times V$$

of uitgaande van  $V_{max}$ ;

$$U_{dc} = \frac{U_{max} \cdot X 0,637}{2}$$

Voorbeeld'  $U = 120 \text{ V}$

$$U_{dc} = 120 \times 0,45 = 54 \text{ V}$$

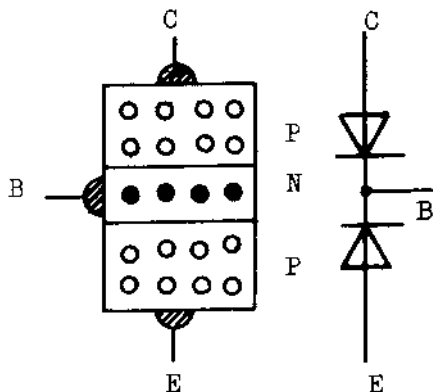
Meet men de rimpelspanning van de gelijkspanning met een instrument ingesteld op het ac-bereik dan moet deze ca. 120% zijn van de gelijkspanning.

Zodat  $U_{br} = 1,2 \times U_{dc}$ .

Dit geeft voor bovenstaand voorbeeld;

$$U_{br} = 1,2 \times 54 = 64,8 \text{ V}.$$

## P.N.P. Transistoren.



Een P.N.P. transistor is opgebouwd uit 2 lagen P-verontreinigt materiaal en 1 laag N-verontreinigt materiaal (geranium of silicium) op een zodanige manier dat de diverse lagen als bij een stroopwafel boven elkaar liggen. Elke laag is voorzien van een aansluitdraad (elektrode). Het geheel is luchtdicht opgeborgen in een metalen glazen of kunststoffen huisje (omhulling) aangezien het kristal gemakkelijk nadelig beïnvloed wordt door vocht of chemische bestanddelen van de lucht. Tevens geeft de omhulling aan het tere kristal een goede

bescherming tegen schokken en trillen en

maakt de halfgeleider beter hanteerbaar voor

verder

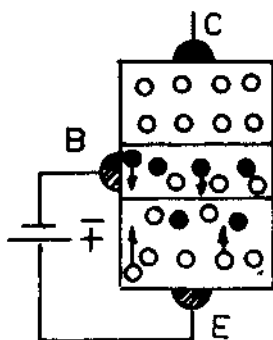
gebruik.

Vanuit de middelste elektrode gezien heeft het kristal 2 PN-overgangen zodat men het kan beschouwen als een antiserienschakeling van twee dioden met een gemeenschappelijke katode. Toch kunnen twee losse dioden op deze wijze geschakeld geen transistor vervangen, iets wat te maken heeft met de speciale opbouw van een transistor zoals we verderop zullen zien.

De 3 lagen van de transistor hebben de volgende benamingen:

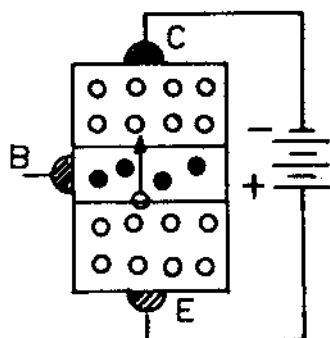
Emittor	E
Basis	B
Collector	C

### Werking van de transistor.



In het figuur hiernaast lijken de emittor en collector volkomen identiek hoewel in de praktijk de collector groter uitgevoerd wordt dan de emittor.

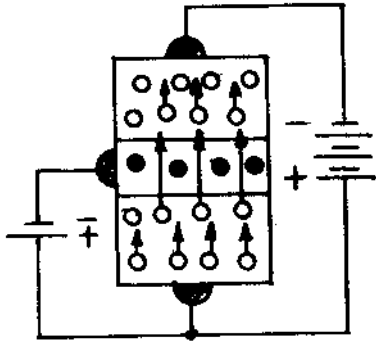
Legt men een gelijkspanning aan op de emittor-basis diode in de geleidingsrichting, dan zal er een stroom van gaten ontstaan van de emittor naar de basis, waar deze dan recombineren met vrije elektronen. Gelijkzeitig loopt er een elektronenstroom van vrije elektronen naar de emittor waar deze recombineren met vrije gaten.



Sluiten we nu een gelijkspanning aan op de emittor e de collector (+ aan de emittor) en laten we de basis onaangesloten dan zullen er vrijwel geen gaten va de emittor in de emittor-basis sperlaag kunnen dringen, aangezien de basis nu geen zuigkracht op de gaten uitoefent. De

collector is sterk negatief geladen en de gaten zullen zich naar de negatieve aansluiting verplaatsen, waardoor de isolerende zone verder in de collector doordringt.

Het resultaat is dat er geen stroom door de halfgeleider zal ontstaan. Zoals een normale diode, waar geen spanning op wordt aangelegd, gedraagt ook de emitter-basis overgang zich als een isolator (in voorwaartse richting) zodat deze sperlaag een barrière vormt voor ladingsdragers en de halfgeleider in deze situatie spert.



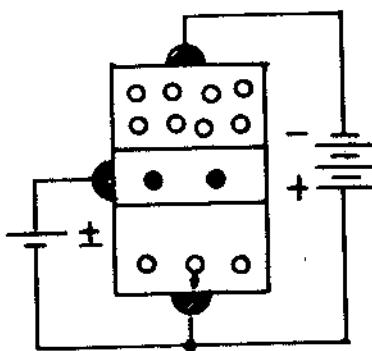
Sluiten we nu de 2 boven gebruikte spanningen gelijktijdig aan, dan gebeurt het volgende:

De negatieve basisspanning trekt gaten aan vanuit de emitterlaag waarna ze normaal gesproken recombineren met vrije elektronen, maar, omdat de basislaag zeer dun is geconstrueerd, zet het merendeel van de gaten (90-99%) de tocht voort naar de collectorlaag waar ze recombineren met de elektronen van de spanningsbron.

De reden van deze doortocht heeft te maken met de doorgaans veel hoger gekozen waarde van de emitter-collector spanning. Toch recombineren er een klein deel gaten (1-10%) nog in het basisgebied. Resultaat is nu dat de kleine basisstroom een honderd of meer maal grotere stroom veroorzaakt naar de collector.

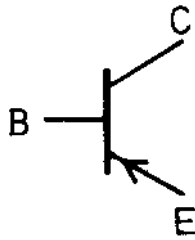
Dit effect noemt men de stroomversterking van een transistor.

Conclusie: Wanneer men bij een P.N.P. transistor een negatieve spanning aanlegt op de basis t.o.v. de emitter dan zal er een veel grotere stroom gaan lopen in de emitter-collector kring wanneer hierin een stroombron is opgenomen. De transistor is in geleiding ("ON") wanneer een basisstroom een collectorstroom doet vloeien.



Draaien we in de hierboven beschreven situatie de polariteit van de basisspanning om dan worden uit de basis vrije elektronen gezogen en gaten uit de emitter. Dit houdt in dat deze overgang gesperd wordt en daarmee de stroom van de emitter naar de collector. De transistor neemt geen stroom op; hij is geleiding ("OFF").

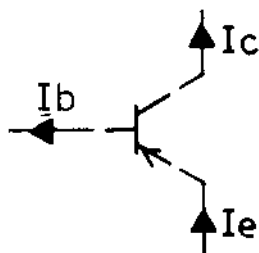
Het meest gebruikte symbool voor een P.N.P. transistor staat hieronder afgebeeld.



De diverse stromen door de transistor noemt men:

$I_E$  = emitterstroom.

$I_B$  = basisstroom.



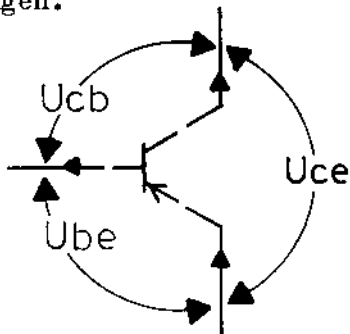
$I_C$  = collectorstroom.

De emitterstroom is het resultaat van de stroom in het basiscircuit en de stroom in het collectorcircuit dus;

$$I_E = I_B + I_C$$

De spanningen tussen de diverse elektroden of aansluitdraden noemt men als volgt:

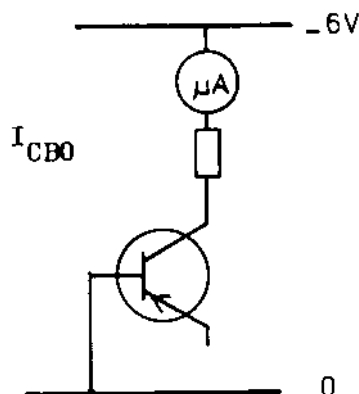
Spanningen.



$V_{BE}$  = basis-emittor spanning.

$V_{CE}$  = collector-emittor spanning.

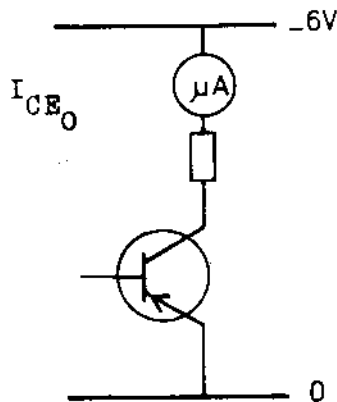
$V_{CB}$  = collector-basis spanning.



Net als bij dioden treft men bij transistoren tengevolge van de thermische beweging van ladingdragers een lekstroom aan in de PN-overgangen wanneer deze in de sperrichting zijn geschakeld. De geringste lekstroom heeft de basis-collector diode. Gemeten werd bijvoorbeeld een AC 163 (geranium transistor) bij een spanning van 6 Volt met als resultaat 1,5 micro-ampère ( $1,5 \times 10^{-6}A$ ) =

$I_{CBO}$ .

$I_{CBO}$  is de collectorlekstroom met open emittor.

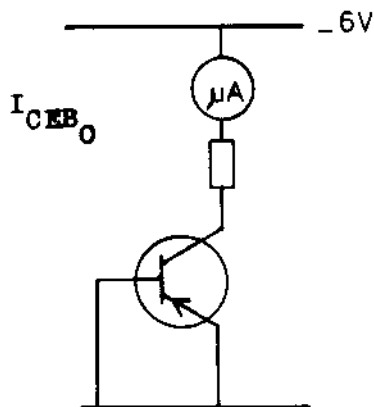


Het hiernaast afgebeelde figuur laat dezelfde transistor zien, waarbij de collector emitter lekstroom wordt gemeten:

$I_{CE0} = 225$  micro-ampere bij  $V = 6$  Volt.

Aangezien de basis nu zwevende is, staan de beide dioden in serie met elkaar.  $I_{CE0}$  is de uitdrukking voor de collector lekstroom bij open basis.

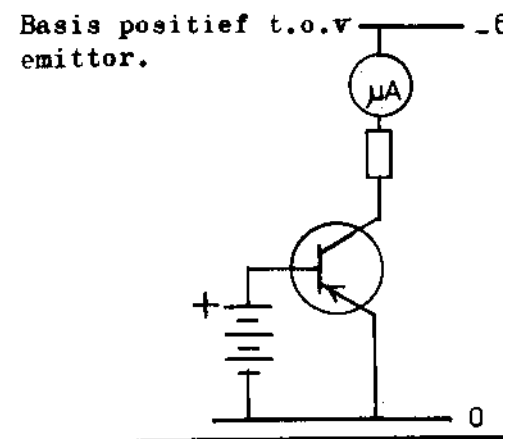
Sluit men zowel de basis als emitter aan dezelfde spanning (0) dan verkrijgt men de lekstroom (cut-off current).



$I_{CEB0} = 12$  micro-ampere bij  $V = 6$  Volt.

$I_{CEB0}$  is de collector lekstroom met kortgesloten emitter en basis.

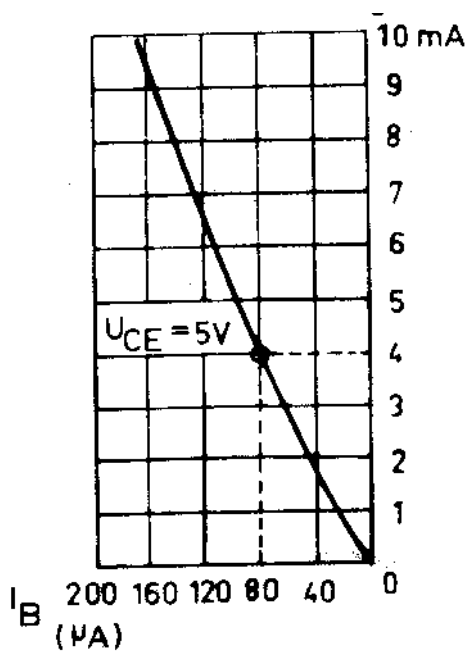
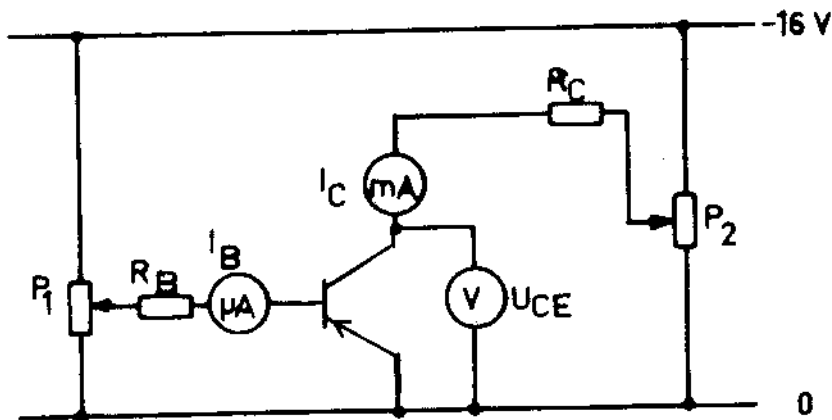
**Basis positief t.o.v emitter.**



Wanneer de basis positief gemaakt wordt t.o.v. de emitter dan wordt de lekstroom of veel lager. t.w. 2 micro-ampere, bij  $V = 6$  Volt en een positieve spanning van 4,5 Volt op basis e wordt daarmee bijna zo klein als  $I_{CBO}$ . De diverse lekstromen van een geranium transistor zijn zeer sterk temperatuurafhankelijk. Bij elke temperatuurstijging van ca. 8 à 10 °C verdubbelt de lekstroom 1 maal. Silicium transistoren hebben doorgaans dusdanig lage lekstromen dat deze vrijwel onsmeltbaar is.



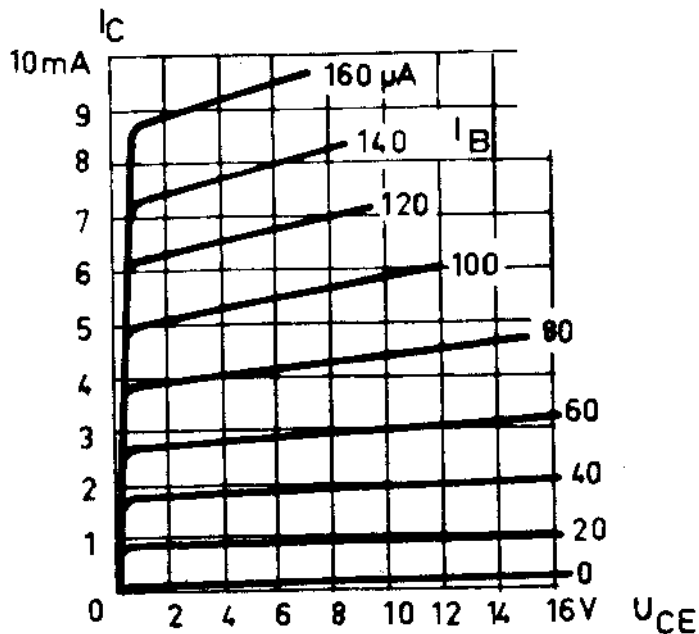
Om de eigenschappen van een transistor beter te leren kennen, maken we gebruik van de hier onderstaande schakeling.



$I_B$  wordt gevarieerd met potentiometer P1 en we meten de daarbij behorende waarden van  $I_B$  en  $I_{C1}$  terwijl we  $V_C$  steeds op 5 Volt houden door potentiometer P2 steeds opnieuw in te stellen. Zetten we nu de grafiek uit voor  $I_C = \beta I_B$  bij  $V_{CE} = 5$  volt dan kan deze eruit zien zoals hiernaast afgebeeld. Transistoren van type 1 zullen toch nog t.o.v. elkaar afwijkingen vertonen. Men kan nu op elk willekeurig punt van de kromme de stroomversterking van de transistor bepalen. We kiezen het punt waar  $I_B = 80$  micro-ampere en  $I_C = 4$  mA. De stroomversterking is nu;

$$HFE = \frac{I_C}{I_B} = \frac{4}{0,08} = 50 \text{ (keer)}$$



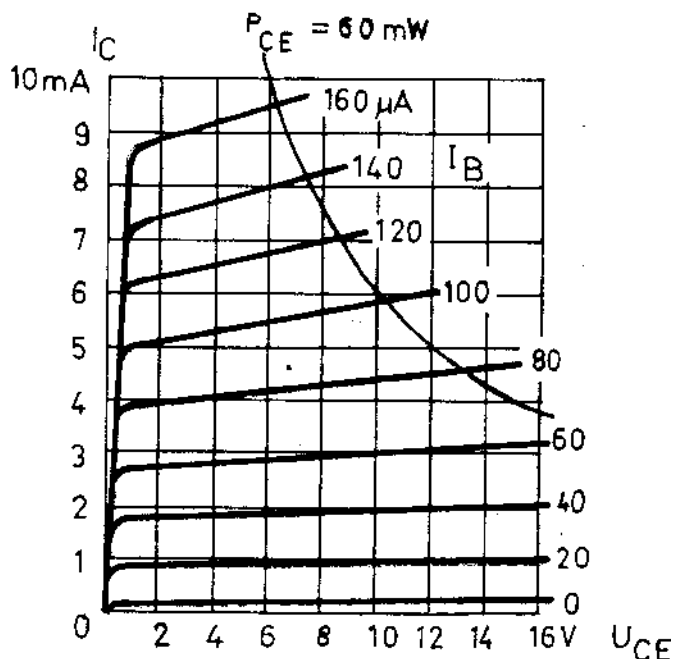


Met dezelfde meetopstelling kunnen de bij elkaar horende waarden van  $I_C$  en  $V_{CE}$  worden opgenomen wanneer  $I_B$  constant wordt gehouden op 20 micro ampère, 40 micro ampère enz. Wanneer van deze meetresultaten grafieken getekend worden, vormen ze een karakteristiek veld. (Zie afbeelding).

Wanneer een transistor zich in de geleidende toestand bevindt, zal er zich tengevolge van de inwendige weerstand warmte ontwikkelen. De grootste warmte ontwikkeling vindt plaats in de collector-emitter kring onder invloed van de collectorstroom en we kunnen deze warmte als volgt berekenen:

$$P_{CE} = V_{CE} \times I_C.$$

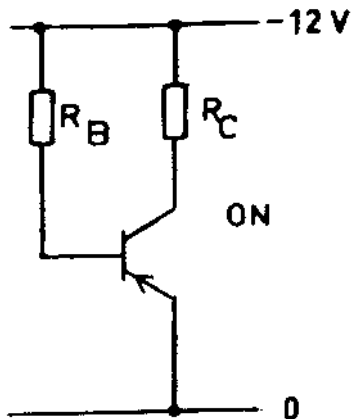
Belangrijk is het deze warmte ontwikkeling binnen de perken te houden omdat anders de warmte ontwikkeling cumulatief toeneemt en de transistor kapot kan gaan. We zullen dus steeds moeten nagaan hoe groot de warmte ontwikkeling is in de transistor teneinde de toegestane waarde niet te overschrijden. Voor het geval van de gemeten transistor was die waarde  $P_{CE \text{ max.}} = 60 \text{ mW}$ .



In het karakteristieke veld hiernaast kunnen we de lijn tekenen welke deze maximaal toegestane dissipatie voorstelt, aangezien deze lijn zo getrokken is dat ze door deze punten gaat waar  $V_{CE} \times I_C = 60 \text{ mW}$ .

Deze kromme wordt de vermogens-hyperbool genoemd.

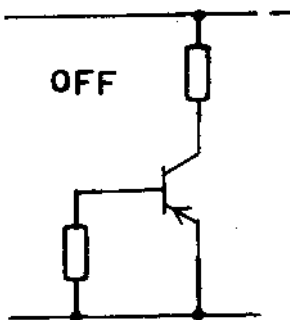
Teneinde de IC te houden binnen de waarde welke de transistor uit het oogpunt van vermogensdissipatie kan verdragen moet de collector weerstand juist worden gedimensioneerd. We kiezen een voedingsspanning van 12 v van waaruit de transistor gevoed zal worden en een maximale collectorstroom van 8 mA.



De hoogste stroom loopt wanneer de collectoremitter spanning zo laag mogelijk is, of anders gezegd wanneer de inwendige weerstand van de transistor zo laag mogelijk is. Voor het gemak nemen we even aan dat de VCE 0 V is.

Opmerking:

In de werkelijkheid is deze spanning bij een volledig in geleiding zijnde germanium transistor een paar honderd millivolt. Deze spanning wordt de verzadigingsspanning genoemd VCEsat en is enigszins vergelijkbaar met de voorwaartse spanningsval van een diode.

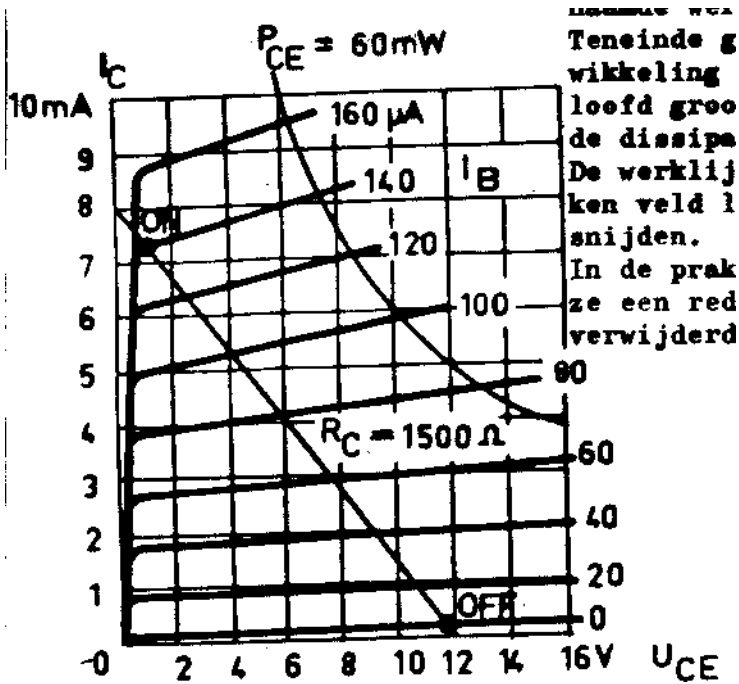


Uitgaande van een spanningsval van 0 Volt over CE betekent dit dat de collectorweerstand over een spanning staat van 12 Volt. In deze situatie moet ook de stroom van 8 mA lopen zodat nu de collectorweerstand berekend kan worden.

$$R_C = \frac{12}{0,008} = 1500 \Omega$$

Wanneer de transistor uit geleiding is (OFF state) zal de IC vrijwel nul zijn en daarmee de spanning over de collectorweerstand vrijwel 0 zijn, aangezien

de transistor de volle spanning opneemt. VCE is nu dus vrijwel gelijk aan de voedingsspanning V welke 12 Volt was.



Teneinde de  
 wikkeling  
 loofd groo  
 de dissipa  
 De werklj  
 ken veld l  
 snijden.  
 In de prak  
 ze een red  
 verwijderd

We kunnen nu in het karakteristieke veld een lijn tekenen welke alle punten bevat van bij elkaar horende waarden van  $I_C$  en  $V_{CE}$  voor de gegeven collectorweerstand en we verkrijgen nu de zogenaamde werklijn. Teneinde gemakkelijk na te gaan dat de warmteontwikkeling voor deze schakeling nergens ongeoorloofd groot is behoeven we alleen de werklijn en de dissipatiehyperbool te beschouwen. De werklijn moet altijd binnen het karakteristieke veld lopen en mag de dissipatielijn niet snijden.

In de praktijk wordt de werklijn zo gekozen dat ze een redelijk eind van de vermogenshyperbool verwijderd blijft.

Zoals op het karakteristieke veld te zien is de transistor uit geleiding (OFF-state) wanneer de  $I_B = 0$  ampère en is in geleiding wanneer de  $I_B = \text{ca. } 140$  micro ampère ( $I_C = 8$  mA). Om in de eerste figuur een basisstroom van deze waarde te verkrijgen moet de basisweerstand zijn;

$$R_B = \frac{12}{0,00014} = \text{ca. } 86000 \Omega.$$

Opmerking:

In deze berekening wordt de emitter-basisspanning  $V_{BE}$  verwaarloosd aangezien deze erg laag is en wel enige honderden millivolt; immers is dit het voorwaarts spanningsverlies van de emitter.basisdiode. Wil men echter dat de collector 'Rust'-stroom een waarde heeft van ca. 4 mA, d.w.z. de helft van de maximale collectorstroom dan moet de basisstroom ca. 80 micro ampère zijn.

En.

$$R_B = \frac{12}{0,00008} = 150,000 \Omega$$

Dit soort instellingen op de werklijn wordt vaak gebruikt voor schakelingen waarbij een wisselstroomsignaal wordt versterkt zoals dit gebeurt in pick-up versterkers, terwijl de ON – en OFF state van de transistor gebruikt worden wanneer de transistor gebruikt worden wanneer de transistor toegepast wordt als schakelaar, zoals in de elektronische schakeltechniek (Digitale techniek).

Transistoren worden in alle elektronische circuits gebruikt en zijn daar een essentieel onderdeel van. De toepassing van de elektronica is bijna oneindig groot en daardoor is het opsommen van toepassingsgebieden onmogelijk. Wat willekeurige voorbeelden zijn:

Consumenten art: radio – T.V.-versterkers, bandrecorders –  
flits app. Wasmachines.

Industriële besturingen: Detectie app. Automatisering. Sterkstroom-  
elektronica.

Wetenschappelijke apparaten: Meetapparaten. Medische elektronica. Ruimtevaart.

Transistoren kunnen op meerdere manieren worden ingedeeld zoals naar  
frequentiegebied.

1. Laagfrequentie (AF) of low speed.
2. Middelgrote frequentie-medium speed.
3. Hoog frequent – high speed.
4. Super hoog frequent – very high speed.

Een andere indeling kan men maken naar dissipatie;

1. Small design of klein signaal.

Diverse fabrikanten maken nog onderscheid tussen:

1. Entertainment types of halfgeleiders voor toepassing in consumentenapparatuur.
2. Professionele types voor industriële en wetenschappelijke toepassingen.
3. Militaire types.

Geranium transistoren zijn inmiddels goeddeels uit de tijd, verdrongen door de modernere silicium transistoren met geringere temperatuurafhankelijkheid en betere hoge spanningseigenschappen.

Indien een transistor juist wordt toegepast is de levensduur vrijwel onbegrensd. Men zou zich ook kunnen afvragen wat de levensduur van een stuk koperdraad is, wanneer op de juiste wijze belast. Toch zijn er factoren welke de levensduur van een transistor kunnen verkorten en hiervan zijn de principiële:

1. temperatuur.
2. overspanning.

Te hoge temperatuur kan ontstaan door de eigen dissipatie wanneer de transistor te grote vermogens moet verwerken of wanneer een slechte koeling wordt gebruikt. Geranium transistoren kunnen worden aangetast door de temperatuur van een soldeerbout bij langdurig solderen. Overspanningen kunnen op de voedingslijnen geïnduceerd worden door andere verbruiksapparaten maar ontstaan ook wanneer de transistor snel inductieve belastingen moet schakelen. In praktijkschakeling worden altijd maatregelen genomen om stoorspanningen buiten het circuit te houden en worden over inductieve belastingen z.g. vliegwielen (flywheel) dioden toegepast welke hoge zelfinductie pieken voorkomen.

Opmerking: Gloeilamp belasting kunnen een 10 a 15 voudige inschakelstroom te zien geven vanwege de lage koudeweerstand van de gloeidraad. Dit kan in het kristal een plaatselijke grote temperatuurverhoging opleveren, met als gevolg een kapotte transistor. Om dit effect tegen te gaan kan een z.g. "bleeder"weerstand worden toegepast welke ervoor zorgt dat er stroom in de gloeilamp loopt welke toch zo laag is, dat het oog de lamp nog niet ziet oplichten.

Enkele gebruikte afkortingen zijn:

VCBO, VCEO, VEBO      Voltage of the terminal indicated by the subscript w.r.t. the reference terminal (second subscript) with the third terminal open circuited.

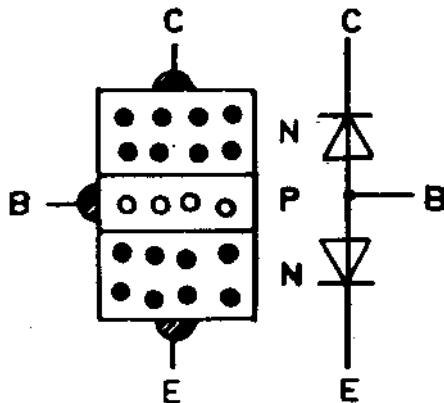
De spanning van de aansluitdraad aangeduid door de eerste letter t.o.v. de aansluitdraad aangeduid door de tweede letter waarbij de derde aansluitdraad onangesloten blijft.

IB, IC, IE      Total d.c. (or average) current.

Totale gelijkstroom op de aansluitdraad aangeduid met de letter of de gemiddelde (gelijk) stroom.

$P_{tot}$	Total power dissipation in the device.
Totale warmte ontwikkeling (dissipatie) in het halfgeleider component.	
$T_J$	Junction temperature.
Sperlaag of kristal temperatuur.	
$T_{amb}$	Ambient temperature.
Omgevingstemperatuur.	
$T_{case}$	Case temperature.
Temperatuur van de omhulling.	
$R_{th}$	Thermal resistance.
Warmte (thermische) weerstand.	
$R_{th-j-a}$	Thermal resistance from function to ambient.
Thermische weerstand vanaf het kristal naar de omgevings(lucht).	
$I_{CBO}$	Collector cut-off current (open emitter).
Collector lekstroom bij onaangesloten basis.	
$I_{CEO}$	Collector cut-off current (open base).
Collector lekstroom bij onaangesloten basis.	
$I_{CES}$	Collector cut-off current (emitter short-circuited).
Collector lekstroom bij kortgesloten emittor en basis.	
$I_{EBO}$	Emitter cut-off current (open collector).
Emittor lekstroom bij onaangesloten collector.	
$h_{FE}, h_{FC}, h_{FE}$	Static value of the forward current transfer ratio or D.C. current gain (output voltage held constant).
Statische stroom versterking waarbij de uitgangsspanning constant wordt gehouden.	

## N.P.N. Transistoren.

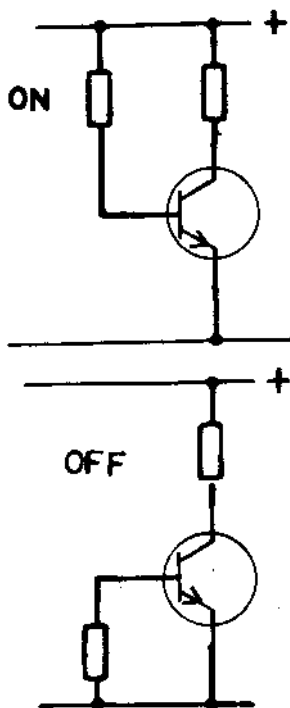


Een N.P.N. transistor bestaat uit 2 lagen N – verontreinigt materiaal en 1 laag P- verontreinigt materiaal (silicium of geranium). Net als bij een geranium transistor zijn de lagen boven elkaar aangebracht.

De volgorde hiervan is:

E = emitter (N-laag)  
 B = basis (P-laag)  
 C = collector (N-laag).

Zoals in de figuur te zien is staan de transistor dioden juist omgekeerd, hetgeen betekent dat de transistor zodanig wordt aangesloten dat de collector aan de positieve kant van de spanning zit, net andersom als bij P.N.P.-transistoren.



De werking is in feite identiek aan die van P.N.P. transistoren, echter is het polariteitteken van de toe te passen spanningen juist omgekeerd.

De transistor is in geleiding wanneer een positieve spanning op de basis wordt gezet.

De transistor is uit geleiding wanneer een spanning 0 of negatief op de basis wordt gezet.

Net als bij P.N.P. transistoren kunnen de diverse lekstromen een karakteristiek gemeten worden, waarbij rekening moet worden gehouden met de spanningsomkering.

Het dimensioneren van schakelingen met N.P.N. transistoren gaat volgens dezelfde criteria als welke gelden voor P.N.P. transistoren.

P.N.P. en N.P.N. transistoren kunnen in bepaalde circuits in combinatie met elkaar met voordeel worden toegepast.

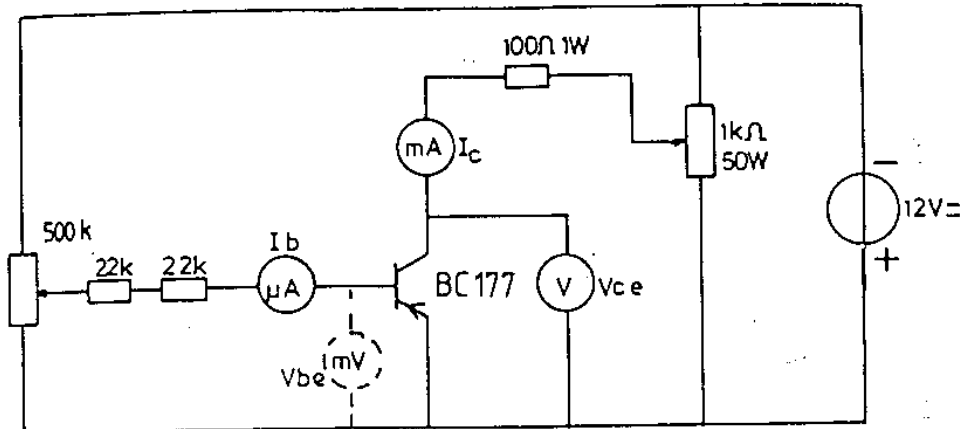
Een voorbeeld hiervan is te vinden bij uitgangversterkercircuits waar N.P.N. – P.N.P. combinaties worden gebruikt om uitgangstransformatoren te elimineren waardoor afgezien van prijs voordeel en gewichtsvermindering ook het frequentiespectrum wordt verruimd en de vorming geringer. Ook in de schakeltechniek vindt men het complementair paar terug in de elektronische schakelaars. In moderne elektronische circuits vindt men naast de N.P.N. silicium transistoren terug.

Alle hier besproken transistoren worden samengevat onder de categorie bipolaire transistoren.

De indeling naar diverse transistoren typen is dezelfde als bij P.N.P. transistoren.

N.P.N. transistoren kunnen net zoals de P.N.P. uitvoering vernield worden door te hoge temperatuur en spanning.





Ved $I_B =$	$0 \mu A$	$20 \mu A$	$40 \mu A$	$60 \mu A$	$80 \mu A$	$100 \mu A$	$120 \mu A$
$V_{CE}$	$I_C$	$I_C$	$I_C$	$I_C$	$I_C$	$I_C$	$I_C$
0							
0,2							
0,5							
1							
2							
3							
4							
5							

Opgave 1. Neem de  $I_C/V_{CE}$  karakteristiek op van een geranium P.N.P. transistor (zie de tabel).

Opgave 2. Teken de grafiek  $I_C = f V_{CE}$  op het millimeterblad van pag.15.

Opgave 3. Bereken de stroomversterking van de transistor m.b.v.;

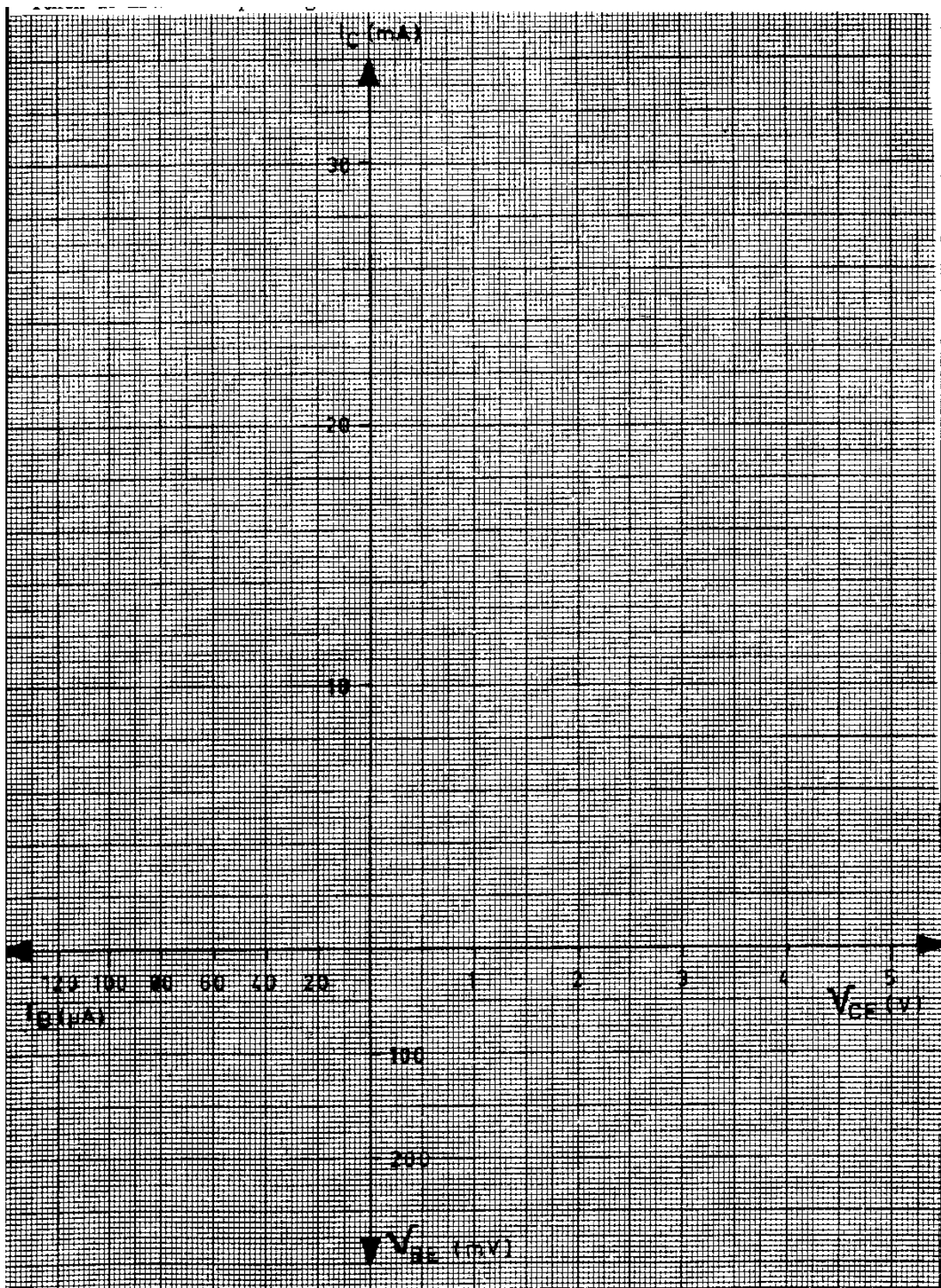
$$V_{CE} = 5V \text{ en } I_B = 100 \mu A. H_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$$

Opgave 4. Schets de  $I_C/I_B$  karakteristiek in het diagram bij een  $V_{CE}$  van 5 Volt.

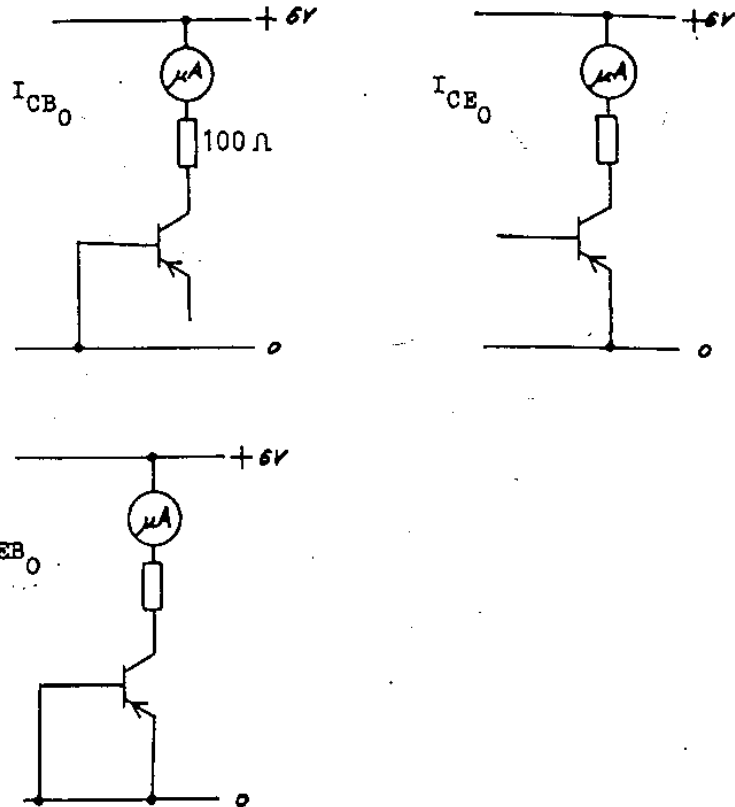
Opgave 5. Bepaal de  $I_B/V_{BE}$  karakteristiek bij een constante  $V_{CE}$  van 5 Volt en waarbij de  $V_{BE}$  wordt gemeten met een elektronische multimeter.

$V_{CE} = 5V.$							
$I_B (\mu A)$	0	20	40	60	80	100	120
$V_{BE} (V)$							

Teken de kromme's op dit grafiekblad.



Meetopstelling.



Tabel.

Transistor type BC177		
$I_{CB0}$		
$I_{CE0}$		
$I_{CEB0}$		

Opgave:

Meet de lekstroom van bovenstaande transistor op.

Vraag:

Welke conclusies kan men trekken uit de diverse metingen?

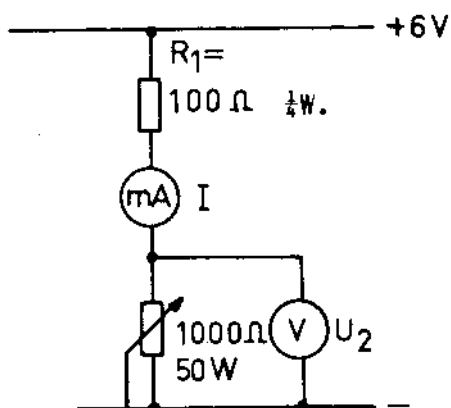
Opgave:

A. Meet de bij elkaar behorende waarden van  $U_2$  en  $I$  van de getekende spanningsdeler.

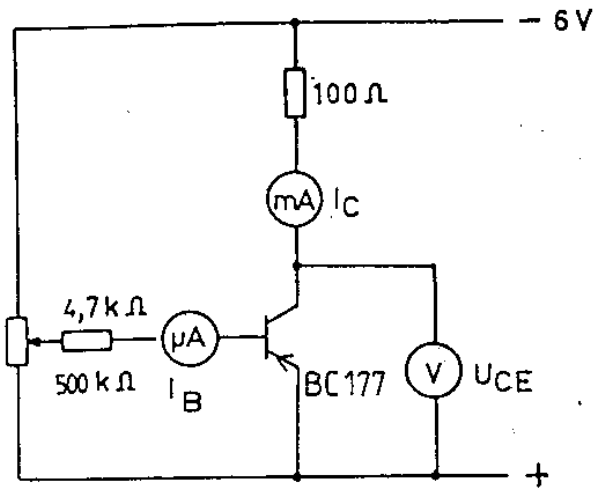
B. Teken verder de grafiek voor stroom  $I$  als functie van  $U_2$ , de zogenaamde werklijn.

C. Bepaal de ligging van de eindpunten van de werklijn en geef hiervoor een motivering.

D. Herhaal deze proef nu met  $R_1 = 220 \Omega$  en verklaar het verschil.



$U_2$ V	$I$ mA
5,4	
5,0	
4,5	
4,0	
3,5	
3,0	
2,5	
2,0	
1,0	
0	



$I_B$ $\mu A$	$I_C$ mA	$U_{CE}$ V
0		
100		
200		
300		
400		
500		
600		
700		
800		
900		
1000		

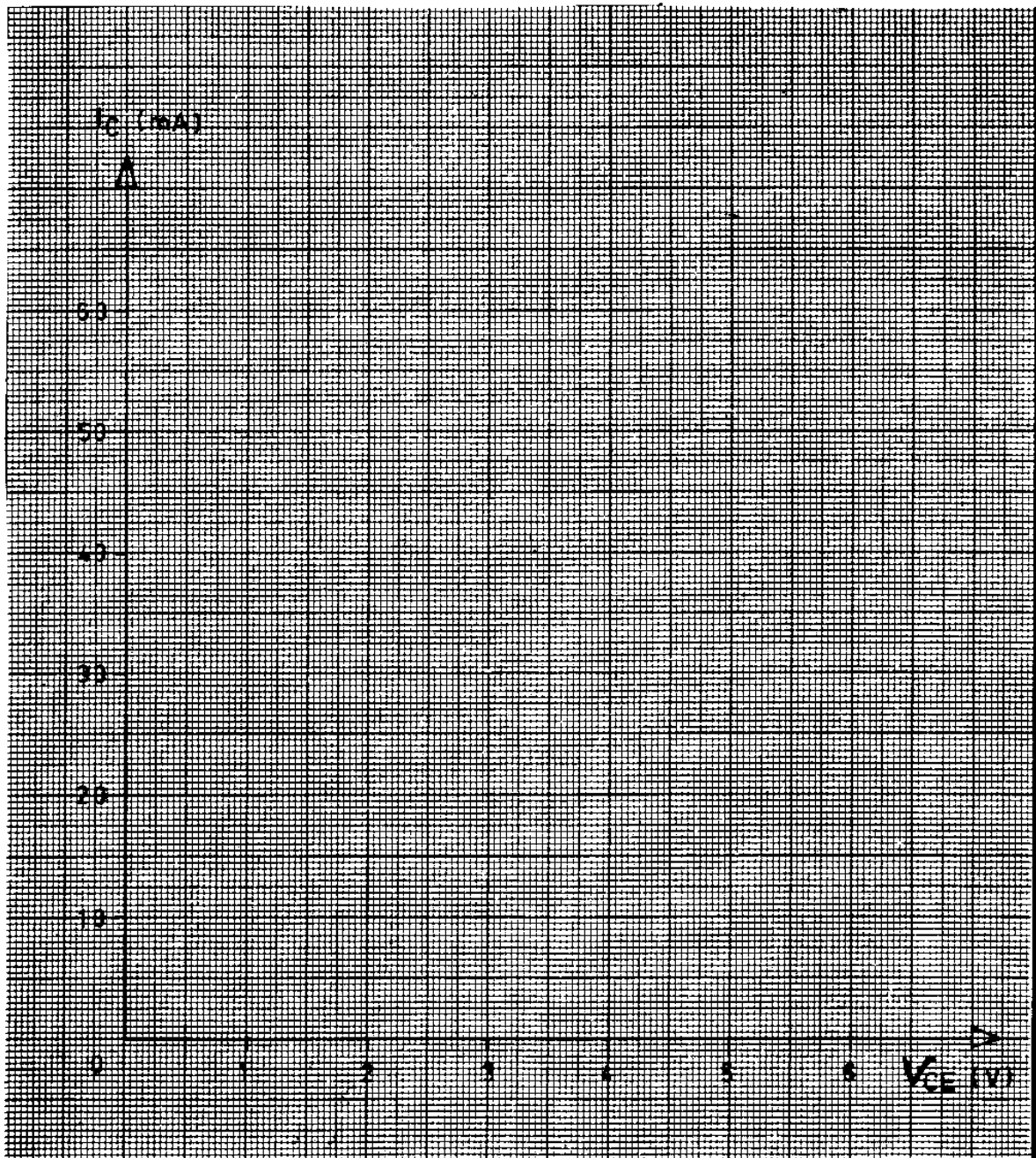
Opgave 1. Meet de bij elkaar horende waarden van  $I_B$ ,  $I_C$  en  $V_{CE}$  en zet deze uit op het

grafieksblad op pagina 140.

Opgave 2. Ga na welke waarde de basisstroom heeft op het midden van de werklijn.

Opgave 3. Bepaal de waarde van de basisstroom waarbij de transistor net gaat geleiden.

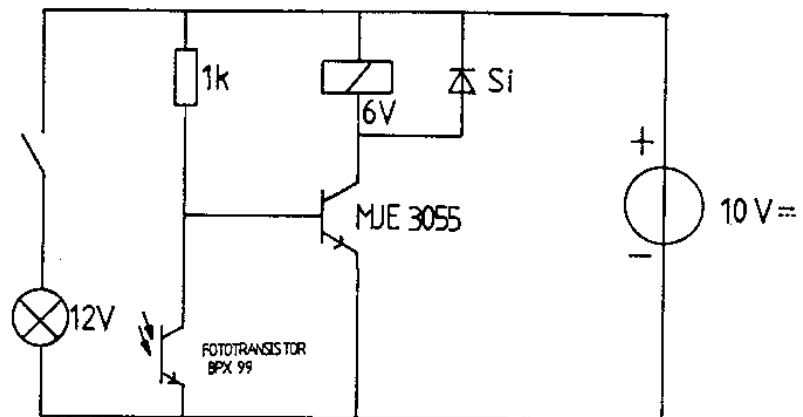
Welke invloed heeft de basisstroom wanneer deze verhoogd wordt, op de collectorstroom.



## OPGAVE 1.

Bouw de onderstaande schakeling op en onderzoek de functie ervan. Schijn met een lampje op de fototransistor en kijk wat er gebeurt. Geef daarna een verklaring van de schakeling.

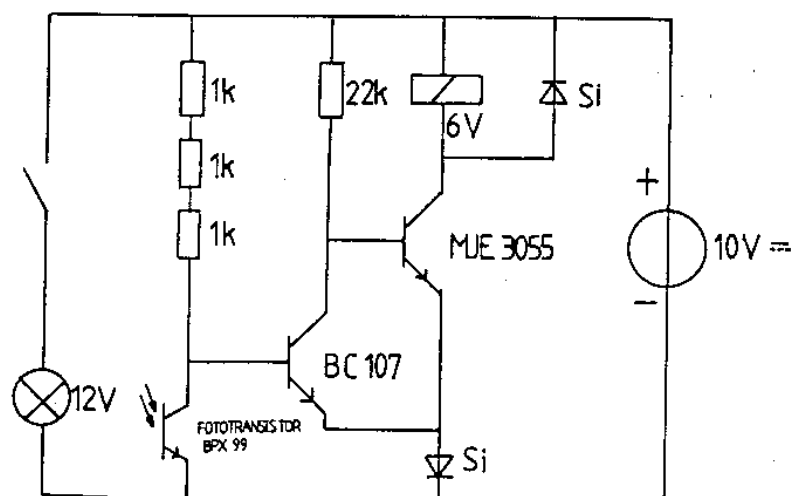
Schakeling I



## OPGAVE 2.

Bouw de onderstaande schakeling op en onderzoek de functie ervan. Houd je hand boven de fototransistor en kijk wat er gebeurt. Hoe kan dit?

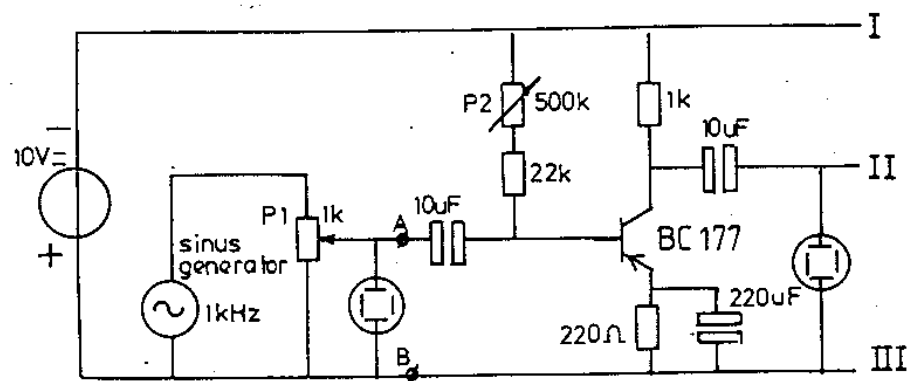
Schakeling II



## OPGAVE.

Bouw de hieronder getekende schakeling van een wisselspanningversterker op.  
 Stel P1 dusdanig in dat  $U_{PP} = 0,1 \text{ V}$ . (Sinusvormig signaal)  
 Stel daarna P2 in op de grootst mogelijke uitgangsspanning zodat een duidelijk  
 signaal ontstaat.  
 Bepaal de signaalversterker met 1 dubbelstraal oscilloscoop of 2 enkelstraal  
 oscilloscopen.

Schakeling.



Maak een berekening en geef commentaar op deze A.C. versterker.



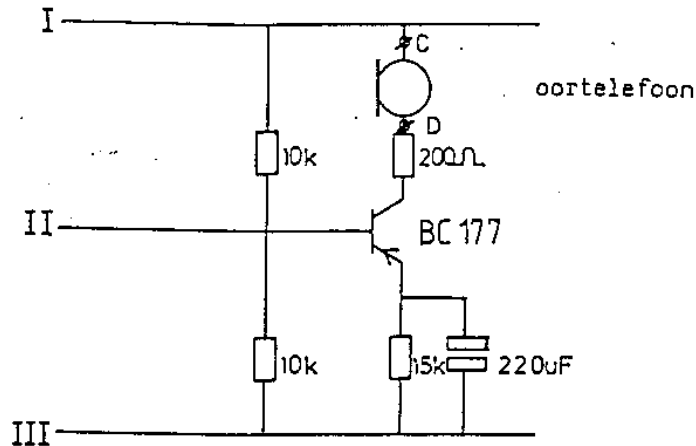
### OPGAVE A.

Dimensioneer het onderstaande A.C.-versterkercircuit naar eigen idee.

Bouw de opstelling en bepaal de signaalversterking van het circuit.

Verricht d.m.v. metingen correcties op de component waarden teneinde een zo groot mogelijke versterking te krijgen zonder vervorming.

Schakeling.



### OPGAVE B.

Combineer deze en de vorige proef zodanig dat de schakeling op pag. 21 de ingangs(voorversterker) trap wordt en de schakeling op deze pagina de uitgangstrap.

### OPGAVE C.

Tracht nu een intercom te ontwerpen waarbij de microfoon wordt aangesloten op de punten A en B van schema op pagina 142 en de oortelefoon op de punten C en D van schema op pagina 143.

Opmerking: Bij deze proef de Sinusgenerator en regelweerstand als aangegeven op schema pagina 142 niet aansluiten.

## OPGAVE.

Ga eerst na welke stroom de gloeilamp opneemt voor de gespecificeerde brandspanning. Schema I.

### Opmerking:

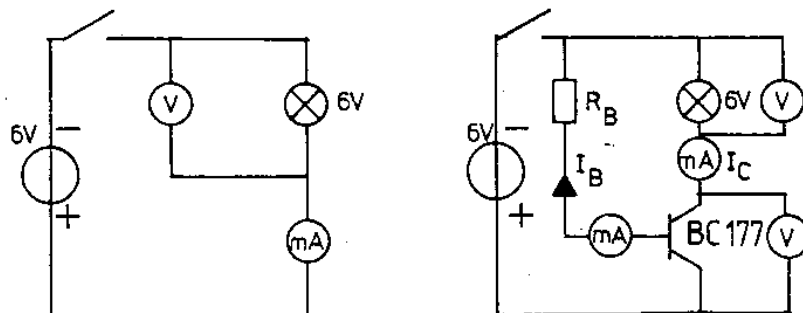
Deze meting moet worden uitgevoerd aan een brandende gloeilamp, aangezien de weerstand van een niet brandende lamp ca. 10 tot 15 maal lager kan zijn dan die van de brandende lamp.

Leidt vervolgens de basisweerstand af uit de fabriekskarakteristiek van de transistor, waarbij de gloeilamp als collector weerstand wordt gezien. Bouw de opstelling volgens schema II en meet:

$I_B$ ,  $I_C$ ,  $U_{CE}$  en  $U_{lamp}$ .

Zowel in de uit (OFF) als in de (ON) toestand.

### Schakeling.



Schema I

Tabel voor de gemeten waarden.

	ON	OFF
$I_B$		
$I_C$		
$U_{CE}$		
$U_{lamp}$		

## OPGAVE.

Bereken de waarden  $C_1$  en  $C_2$  van onderstaande schakeling voor de situatie waarbij de twee lampjes afwisselend 4,5 seconden oplichten.

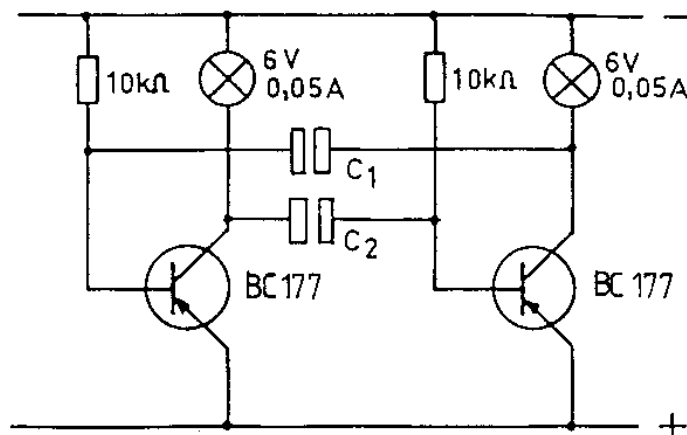
Bouw de schakeling en controleer de schakeltijden bij de berekende condensator waarden.

Vervang vervolgens de condensator door 10  $\mu\text{F}$  typen.

Bepaal daarna met een oscilloscoop het spanningsverloop op de basis van een transistor en herhaal de meting eveneens voor de collectorspanning.

Teken oscillogram.

Schakeling.



(D.C. flip-flop.)

OPGAVE 1.

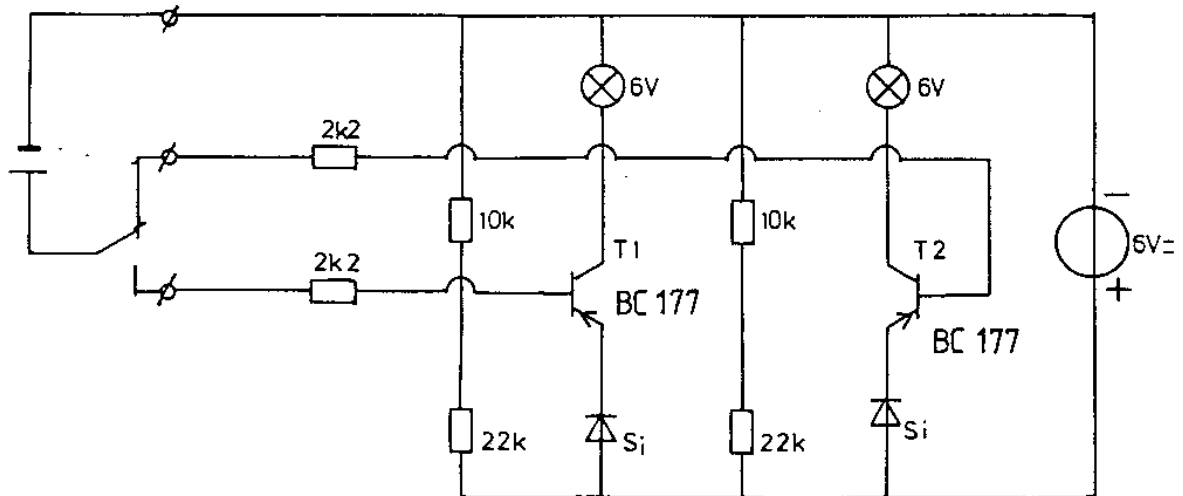
Maak de onderstaande schakeling.

OPGAVE 2.

Bouw de opstelling en controleer de functie van de schakeling door deze te "triggeren" (activeren) met bijvoorbeeld een batterij waarbij telkens wordt omgeschakeld.

OPGAVE 3.

Probeer het circuit ook eens met andere transistortypen.  
Denk aan de polariteit van de voedingsspanning.

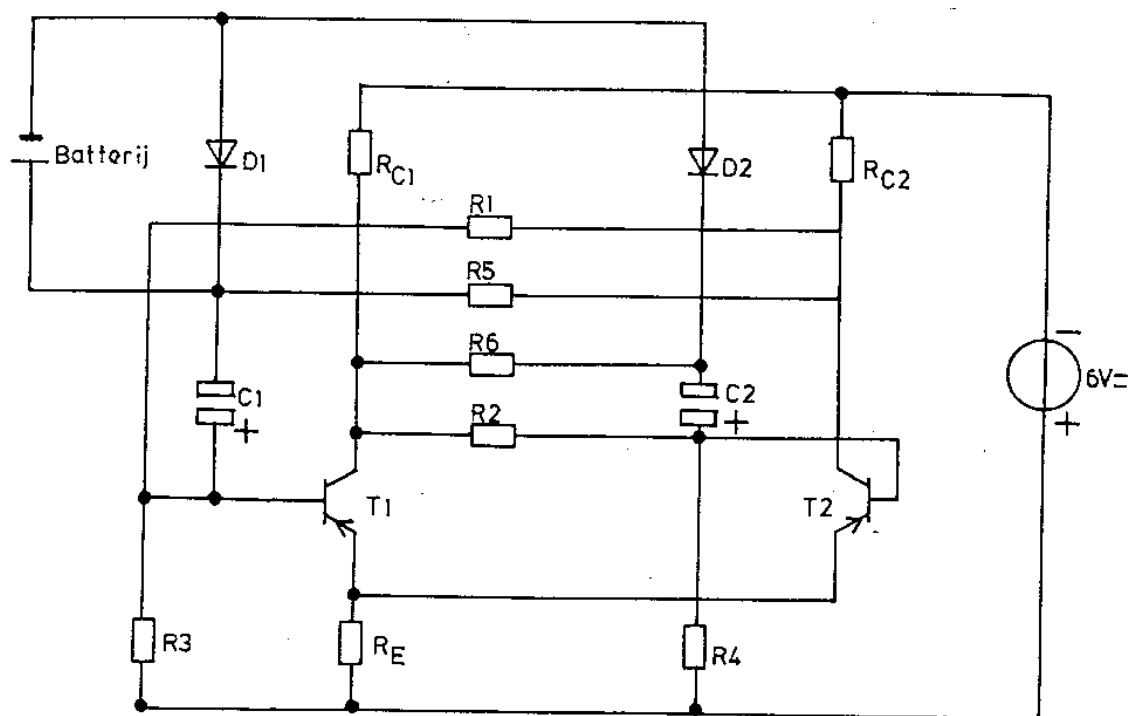


Opmerking: Bij siliciumtypen kan de diode eventueel weggelaten worden.

(Trigger flip – flop.)

OPGAVE.

Bouw de schakeling en ga de werking na door het circuit te activeren met een batterij op de trigger (stuur) ingang.



Component waarden: T 1 & T 2 = BC177

R 1 & R 2 = 10K  $\Omega$

R 3 & R 4 = 22K  $\Omega$

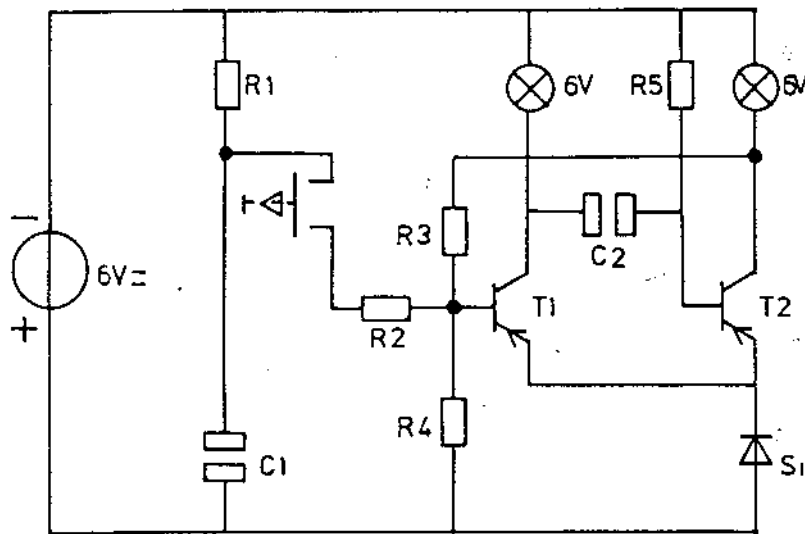
R 5 & R 6 = 1K  $\Omega$

RC1 & RC2 = 6V Lamp.

RE = 22  $\Omega$  of siliciumdiode.

D 1 & D 2 = siliciumdiode.

C 1 & C 2 = 10 uF of 22 uF/



Componenten waarden: T1 + T2 = BC 177

R1 = 22K  $\Omega$

R2 = 10K  $\Omega$

R3 = 10K  $\Omega$

R4 = 22K  $\Omega$

R5 = 4,7K  $\Omega$

R6 = siliciumdiode.

C1 = 10  $\mu$ F.

C2 = Bijvoorbeeld 1 x 220  $\mu$ F

1 x 470  $\mu$ F

2 x 470  $\mu$ F parallel.

#### OPGAVE A.

Bouw deze schakeling samen en ga de werking na.

Neem de impulstijden op voor diverse waarden van C2 en meet deze tijden als volgt:

Impulstijd 1 = ..... Seconden bij C2 = ..... $\mu$ F

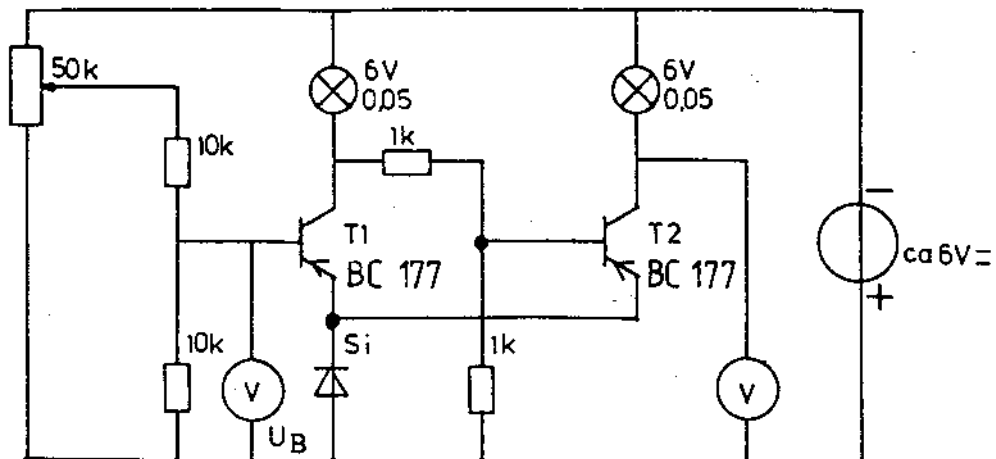
Impulstijd 2 = .....Seconden bij C2 = .....  $\mu$ F

Impulstijd 3 = .....Seconden bij C2 = ..... $\mu$ F

#### OPGAVE B.

Ga na wat er gebeurt als R5 gewijzigd wordt in 15 K  $\Omega$  en C2 in 220  $\mu$ F.

Probeer een verklaring te vinden voor het gedrag van de schakeling.



OPGAVE 1.

Bouw bovenstaande schakeling.

OPGAVE 2.

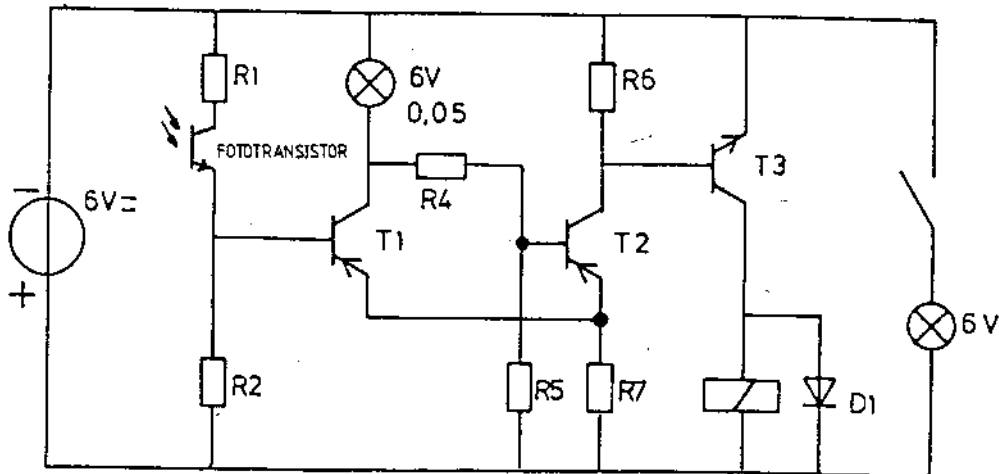
Ga de goede werking na van het circuit door aan de pot. Meter te draaien en controleer of de schakeling omklapt.

OPGAVE 3.

Meet de waarde van de spanning  $U_B$  van I1 waarbij de Smitt-trigger omklapt en T2 uit geleiding gaat (off).

Verklaar waarom dit juist bij deze spanning gebeurt.

Lichtgevoelige elektronische schakelaar met vermogensuitgang.  
(Smitt-trigger met vermogensuitgang).



Component waarden: R1 = 10 K  $\Omega$   
R6 = 1 K  $\Omega$   
T1 & T2 = BC 177  
T3 = MJE 3055  
D1 = si-diode  
R2 =  
R4 =  
R5 =  
R7 =

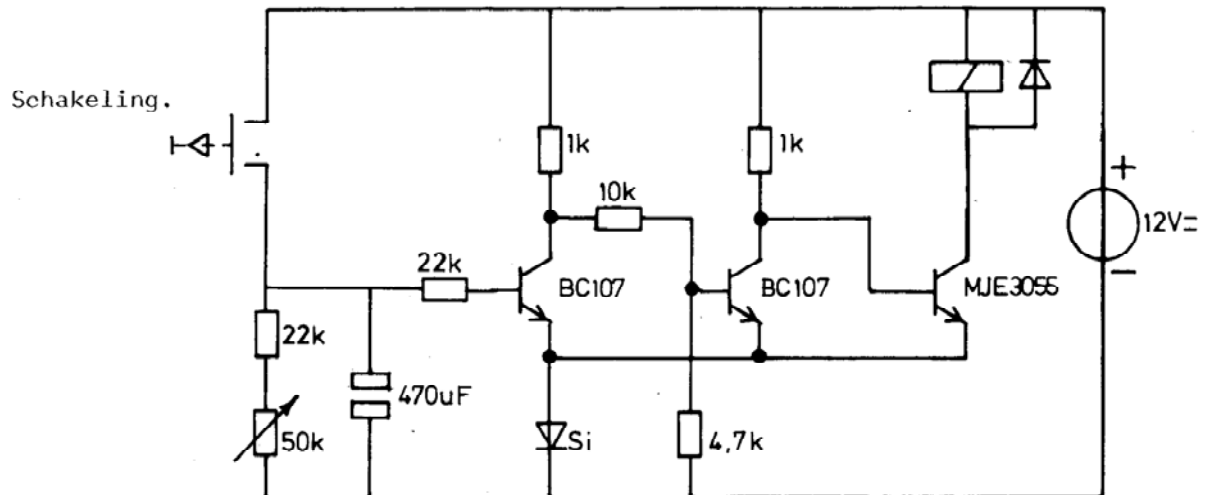
OPGAVE.

Bepaal met behulp van de hierboven reeds gegeven componenten waarden de nog ontbrekende waarden voor een juiste dimensionering. Bouw de schakeling en ga de goede werking na en laat via het relaiscontact een lampje branden.

Vraag. Voor welk doel kan men deze schakeling benutten?



Automatische verlichting uitschakelaar. (vertraagd uitschakelend).

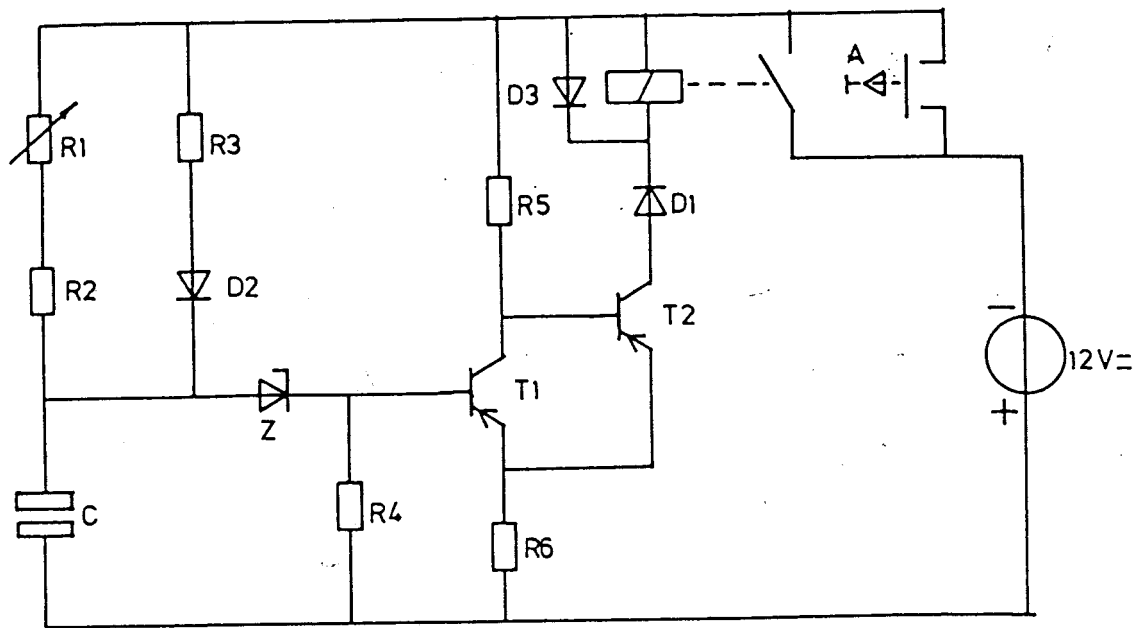


OPGAVE 1.

Bouw de schakeling en controleer of deze juist functioneert door via het relaiscontact een lampje te laten branden.

OPGAVE 2.

Geef een korte beschrijving van de werking.



Component waarden: T1 & T2 = BC 177

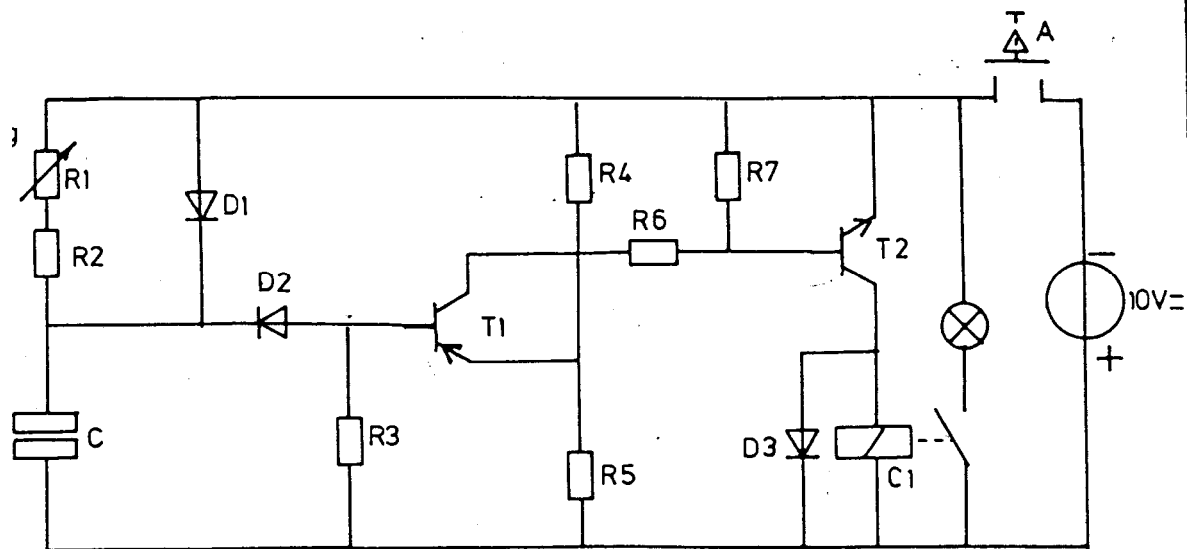
R1	= 1 K $\Omega$ pot. Meter.
R2	= 4,7 K $\Omega$
R3	= 100 $\Omega$
R4	= 22 K $\Omega$
R5	= 10 K $\Omega$
R6	= 22 $\Omega$
D1	= si-diode.
C	= 470 $\mu$ F
D2 & D3	= si-diode
Z	= 6,2V zenerdiode.

#### OPGAVE 1.

Maak een goed werkende schakeling en laat via het contact van het relais een lampje branden.

#### OPGAVE 2.

Zie de schakeling dusdanig te wijzigen dat het mogelijk wordt tijdens de tijdvertraging het circuit opnieuw met de volledige tijdvertraging te laten starten.

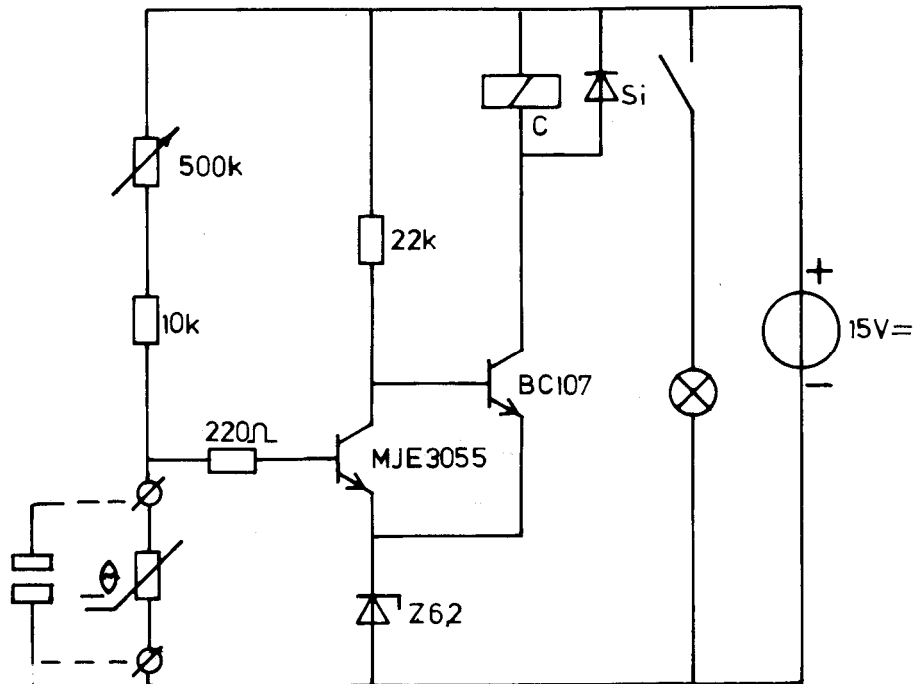


Componenten waarden:

- T1 = PNP transistor BC 177
- T2 = NPN transistor MJE 3055
- R1 = 50 K  $\Omega$  pot.meter.
- R2 = 4,7 K  $\Omega$
- R3 = 47 K  $\Omega$
- R4 = 1 K  $\Omega$
- R5 = 100  $\Omega$
- R6 = 2,2K  $\Omega$
- R7 = 22K  $\Omega$
- D1, D2 of D3 = siliciumdiode.
- C = 470  $\mu$ F.
- C1 = relais

### OPGAVE 1.

Bouw bovenstaande schakeling en beproef deze. Laat via het contact van de relais een lampje branden. Bepaal de afvaltijd door schakelaar A ingedrukt te houden.



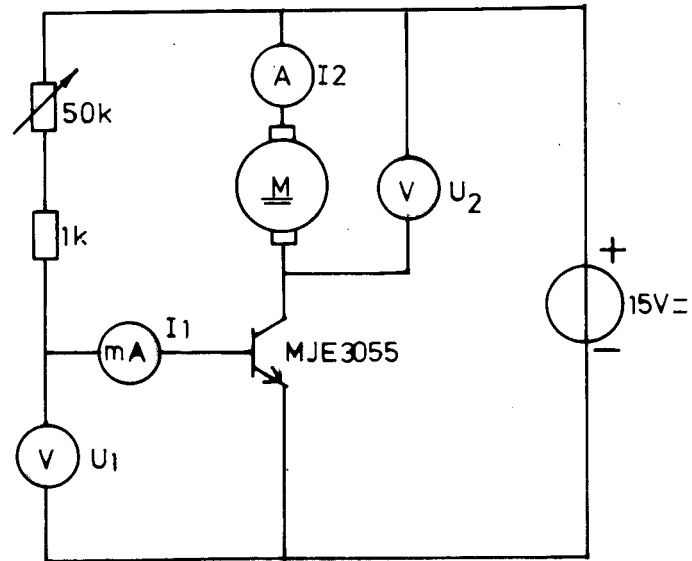
#### OPGAVE 1.

Bouw deze schakeling en controleer de goede werking door met de potentiometer van 500 K  $\Omega$  eerst het schakelpunt in te stellen en daarna met een kaarsvlam de N.T.C. weerstand op te warmen en door blazen weer af te koelen. Laat via het relais contact een lampje branden. N.T.C. aan verbindingdraden aansluiten. NIET IN DE VLAM HOUDEN!

#### OPGAVE 2.

Vervang de N.T.C. weerstand door een condensator van 22  $\mu\text{F}$  en daarna door een condensator van 220  $\mu\text{F}$ .

Vraag. Wat voor schakeling is het nu geworden?



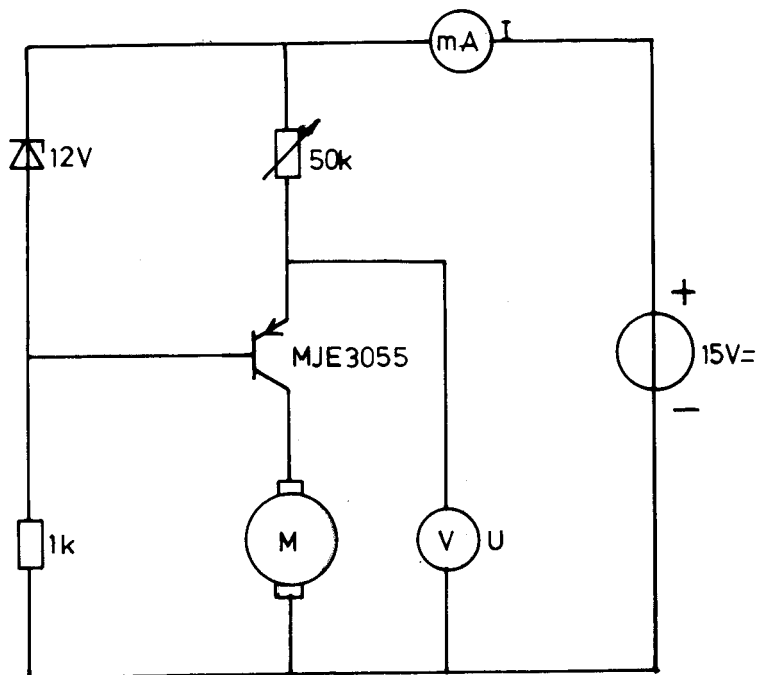
#### OPGAVE 1.

Bouw deze schakeling en controleer de goede werking door langzaam aan de pot.meter te draaien en daarmee het toerental van de gelijkstroommotor te regelen.

#### OPGAVE 2.

Vergelijk de waarden van spanningen en stromen en bepaal de versterkingsfactor bij verschillende waarden.

U1								
I1								
U2	0	2	4	6	8	10	12V	15V=
I2								



### OPGAVE 1.

Bouw deze schakeling samen en regel d.m.v. de pot.meter het toerental van de gelijkstroommotor.

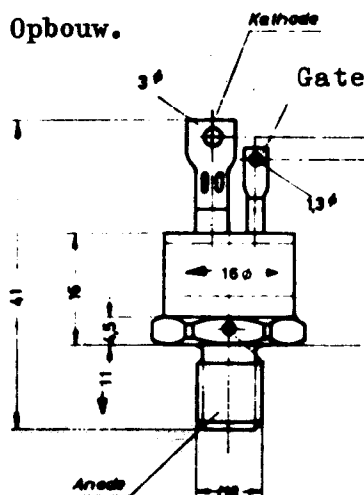
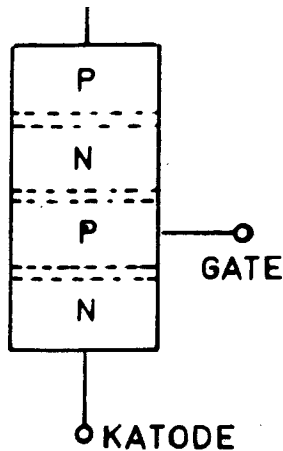
Vul onderstaande tabel in:

U	4	6	8	10	12	15
I						

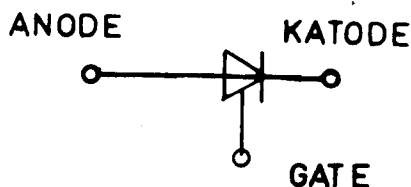
Wat blijkt uit de gevonden waarden?

## 11. Halfgeleiders.

### Thyristors.



#### Symbol.



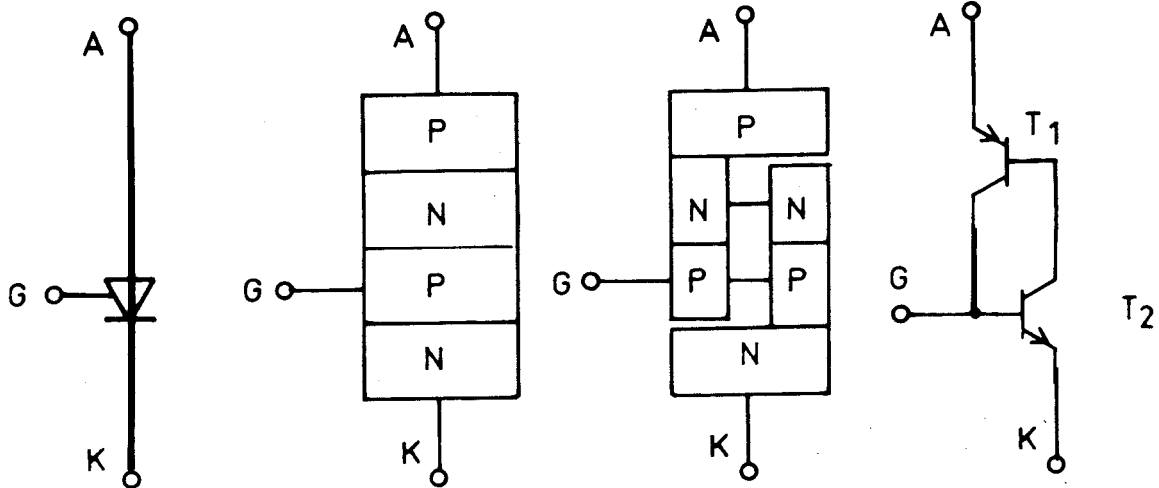
Thyristors/engels; SCR = silicon controlled rectifier) vertegenwoordigen een speciale groep siliciumdiodes, die zowel in de doorlaatrichting kunnen sperren als in de sperrichting.

Thyristors zijn uitgevoerd met een derde elektrode de z.g. stuurpoort of gate-elektrode. Wanneer aan de gate een stuurimpuls wordt aangeboden gedraagt een thyristor zich in de doorlaatrichting als een normale diode dus als geleider. Geleiding in de doorlaatrichting treedt niet op wanneer de gate niet wordt gestuurd. Is een thyristor in de doorlaatrichting met een gate impuls in geleiding gebracht dan zal deze in geleiding blijven, ook wanneer aan de gate geen impulsen meer worden toegevoerd. Uitschakelen kan dan alleen nog door het onderbreken van de thyristor hoofdstroom (respectievelijk het omdraaien van de polariteit daarvan) gebeuren.

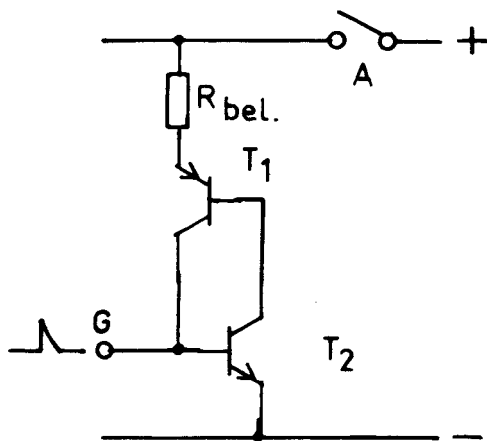
Thyristors zijn net als de normale gelijkrichtdioden opgebouwd uit een siliciumkristal en een metalen of plastic behuizing als bescherming daaromheen.

Het schijfvormige siliciumkristal heeft echter 4 halfgeleider lagen welke afwisselend bestaan uit P- en N- verontreinigt materiaal. De buitenste P-laag is meestal verbonden met het huis. Deze aansluiting is de anode. De buitenste N-laag (katode) is naar buiten uitgevoerd als stijve aansluit pen of flexibele draad aansluiting. Een derde elektrode is verbonden met de binnenste P-laag, de gate-aansluiting.

Thyristors moeten net als de grotere dioden gekoeld worden.



Hierboven kunnen we zien dat een thyristor kan worden voorgesteld als een samenstelling van een PNP transistor en een NPN transistor.



Teneinde de werking van een thyristor te verklaren wordt gebruik gemaakt van het vervangingsschema dat hiernaast is afgebeeld waarbij de PNP –en NPN combinatie met een belastingsweerstand wordt aangesloten op een gelijkspanning. Zoals te zien is moet T1 de basisstroom uit de collector van T2 verkrijgen en omgekeerd. Wanneer we ervan uitgaan dat T2 uit geleiding is en er dus geen collector stroom loopt, betekent dit ook dat T1 geen stuurstroom krijgt op de basis en ook deze transistor niet geleidt. Thyristors werken onder deze conditie als open contact, en voren geen

stroom. Wordt nu op de gate-aansluiting (basis T2) een positieve spanning gezet dan gaat T2 in geleiding.

Er ontstaat een collectorstroom welke ook T1 in geleiding stuurt. De hoofdstroom loopt dan via  $R_{bel}$  over de emitter en basis van T1 naar T2 en zo naar de minpool van de spanning..

De collector van T1 levert ook de basisstroom aan T2 zodat de thyristor na inschakelen geen spanning meer nodig heeft op de gate om in geleiding te blijven. De thyristorconstructie is zodanig dat zelfs een negatieve spanning op de gate de thyristor niet doet uitschakelen, zodat op dit punt het vervangingsschema niet de juiste voorstelling van zaken geeft. De stroom kan alleen onderbroken worden dor deze af te schakelen met het contact A, of met een vergelijkbare methode welke later behandeld wordt. Is de thyristor stroom onderbroken dan gaan beide transistoren uit geleiding en de thyristor kan weer ingeschakeld worden nadat de spanning over de thyristor uit geleiding en de thyristor kan weer ingeschakeld worden nadat de



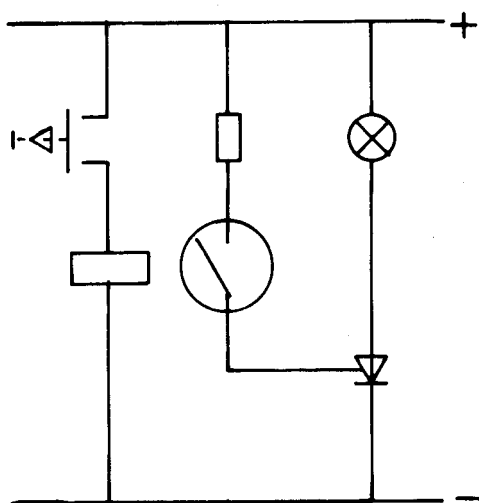
spanning over de thyristor (anode-katod) weer is hersteld en een trigger (ontsteek)impuls wordt toegevoerd.

Het vermogen dat aan een thyristor gate moet worden toegevoerd om dit halfgeleidertype te ontsteken (triggeren) is afhankelijk van het stroomtype.

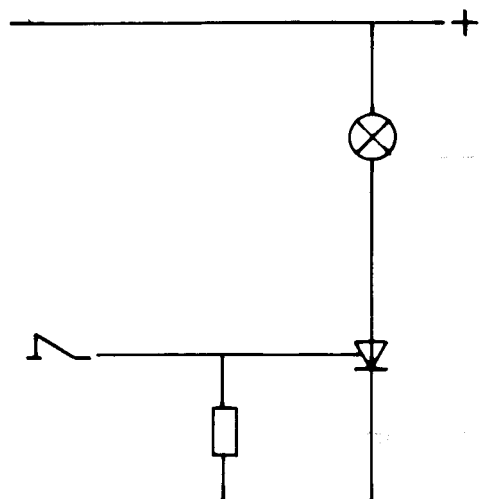
Doorgaans bedraagt de gate spanning (t.o.v. de katode) enkele volts maar varieert de gate stroom van enkele tot honderden mA's

In ieder geval is de "stroomversterking' groter dan 1000 X.

De fabrikanten van thyristors geven de gate spanning – en stroomgebiede in hun gegevens aan zodat het gate vermogen groot genoeg gekozen kan worden om de thyristor betrouwbaar te ontsteken en weer niet zo groot dat de thyristorgate vernield kan worden.

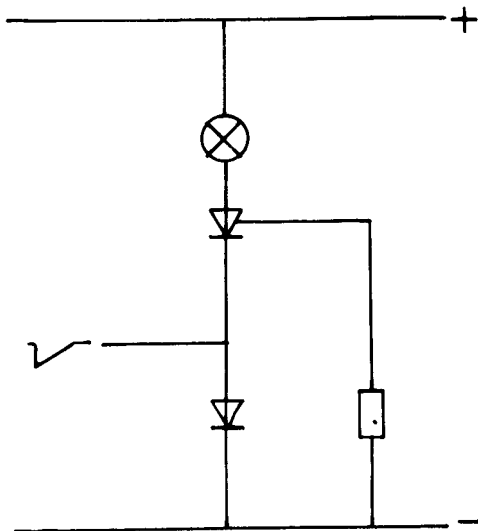


Alle thyristor trigger methods werken met spanningen welke t.o.v. de katode positief zijn. De eenvoudigste methode is hiernaast getekend, waarbij de gatespanning via een contact (reedrelais bijv.) positief wordt aangelegd t.o.v. de katode en een weerstand de gastroom begrenst.



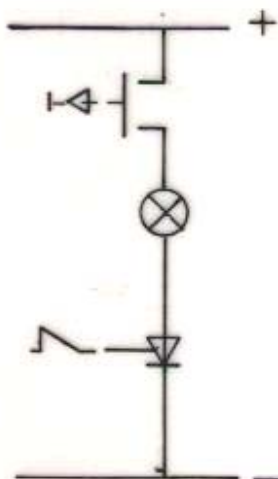
Thyristoren kunnen ook met een kortstondige positieve spanning van willekeurige vorm worden ingeschakeld.



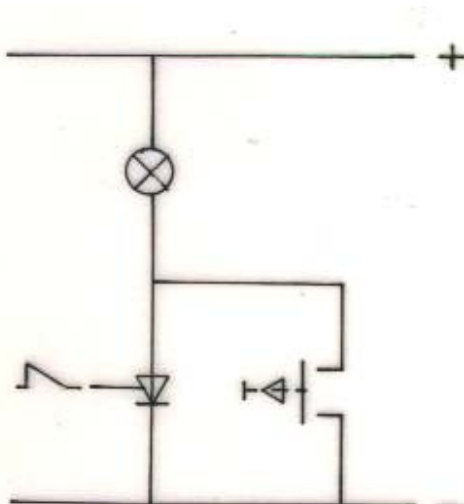


Is slechts een negatieve spanningsimpuls beschikbaar dan is de schakeling hiernaast een uitweg. Hierbij wordt de katode gebruikt om de thyristor te ontsteken en wordt de gate via een weerstand aan min gelegd.

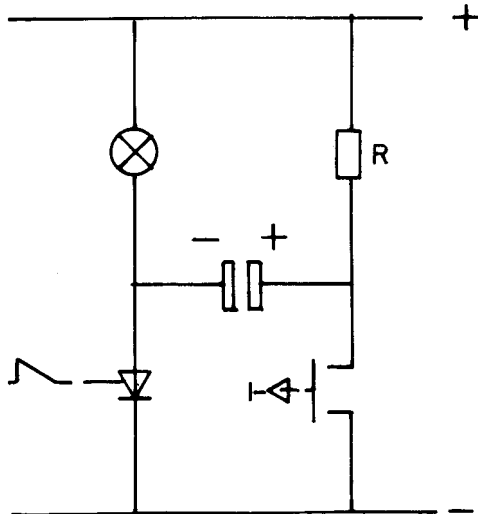
### SCR – Doofmethodes.



. Het doven van een thyristor is te bereiken door het verbreken van de hoofdstroom d.m.v. een contact Deze methode heeft als nadeel dat dit een contact vereist dat de volledige belasting moet kunnen verdragen van stroom en spanning.



Eenzelfde nadeel heeft de hiernaast afgebeelde schakelmethode waarbij de thyristor wordt kortgesloten



Een betere methode is de hiernaast afgebeelde, waarbij de SCR met een condensator wordt gedoofd. Is de lamp ingeschakeld dat staat over de thyristor vrijwel geen spanning en ligt de condensator aan deze kant aan de minpool van de voeding. De andere kant van de condensator is via weerstand R verbonden met de pluspool en zal daardoor tot de voedingsspanning worden geladen. Als het contact gesloten wordt dan wordt de condensator parallel geschakeld aan de thyristor. In dat geval wordt over de thyristor een spanning met omgekeerde polariteit gezet. Weliswaar zal de condensator deze omgekeerde spanning maar heel even kunnen handhaven, maar dit is voldoende om de

thyristor af te schakelen.

De waarde van de condensator zal tenminste moeten zijn:

$$C = \frac{1,5 \times t_{off} \times I}{U} \text{ (uF) voor } \Omega \text{se belastingen.}$$

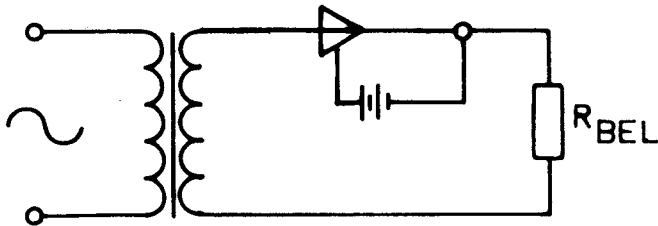
En

$$C = \frac{t_{off} \times I}{U} \text{ (uF) voor inductieve belasting.}$$

Waarbij;

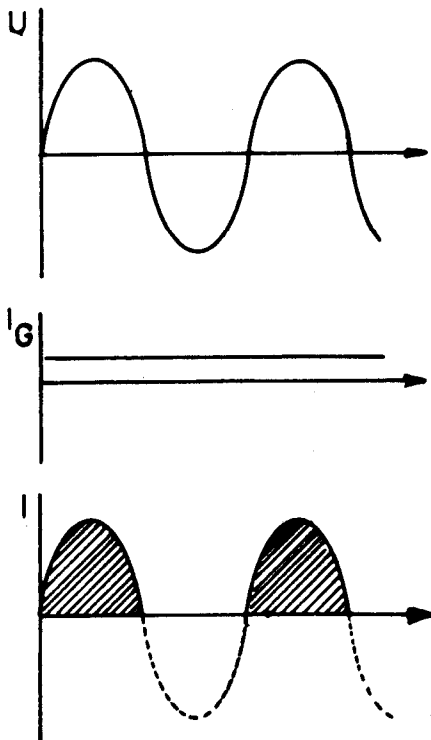
$t_{off}$  de dooftijd is van de thyristor (100-100u, se)

I de stroom in Amperes en U in Volts.

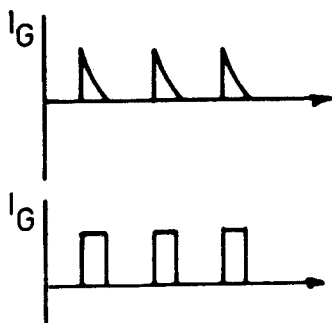


Thyristors aangesloten op wisselspanning.

In de hiernaast afgebeelde schakeling wordt op de gate een constante gelijk-spanning gezet om de thyristor in geleiding te krijgen.



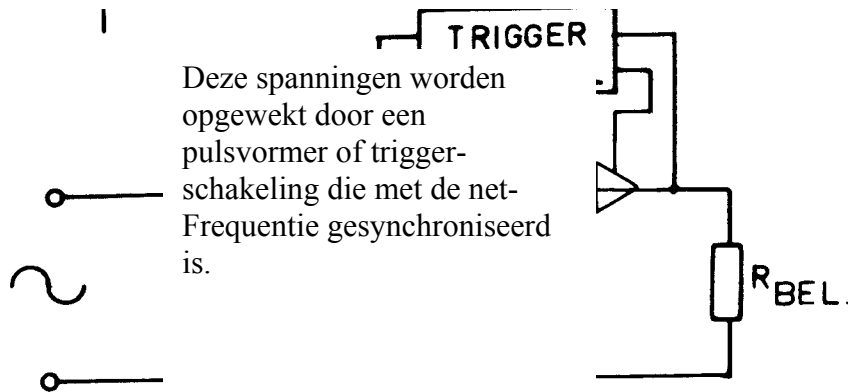
De thyristor zal zich op deze wijze geschakeld als een normale gelijkricht-diode gedragen. Deze stuurmethode kent echter als bezwaar dat gedurende de sper perioden ook energie wordt verbruikt en gedurende de geleidende periode tijdens de hele duur daarvan terwijl een kort durende stuurspanning al voldoende zou zijn. De warmte ontwikkeling in het gate gebied van het thyristor kristal zal op deze wijze gemakkelijk overschreden kunnen worden.



Impulssturing.

Veel beter kan een sturing gebruikt worden met korte spanningsimpulsen waarbij meestal op de gate een

- Naaldspanning of
- Blokspanning wordt gezet.



Ondanks het feit dat de thyristor in één richting niet meer is dan een aan/uit schakelaar wordt deze halfgeleider zeer veel toegepast als spanning, stroom of vermogens regelaar. De mogelijkheid hiertoe vloeit voort uit de uiterst snelle schakeleigenschappen van de SCR. Verder zijn er geen problemen met het uitschakelen aangezien de wisselspanning aan het einde van een halve periode van polariteit wisselt en de thyristor zonder extra kunstgrepen dooft.

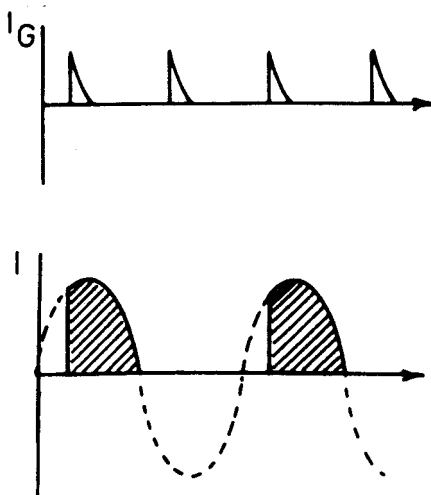
Wanneer men de spanning niet wenst te regelen maar alleen wil inschakelen dan moet de pulseopwekker direct na de nuldoorgang van de sinus een pulse sturen op de gate.

Op deze wijze worden steeds halve perioden aan een belasting toegevoerd. Nu kunnen we ook de stuurpulse pas in het midden van de halve periode laten ontstaan. De belasting krijgt dan de helft van een halve periode toegevoerd zodat gemiddeld de spanning ook de helft lager is.

Het is mogelijk de pulsopwekker zodanig uit te voeren dat het ontstaan van triggerimpulsen op elk punt van de halve periode kan worden gelegd, en daarmee gemiddeld elke spanning kan worden ingesteld. Gerekend vanaf een nuldoorgang betekent dit het instellen van een vaste faseverschuiving van de impuls tot het begin van een halve periode. Deze methode wordt daarom vaak de fase aansnijdingsmethode genoemd.

Hiernaast staan de impulsen afgebeeld met een bepaalde fasehoek en het daarbij behorend deel van de spanning gearceerd getekend, dat aan een belasting kan worden toegevoerd.

Merk op dat van een inschakeltijd bij een 50 Hz wisselspanning niets te merken is.



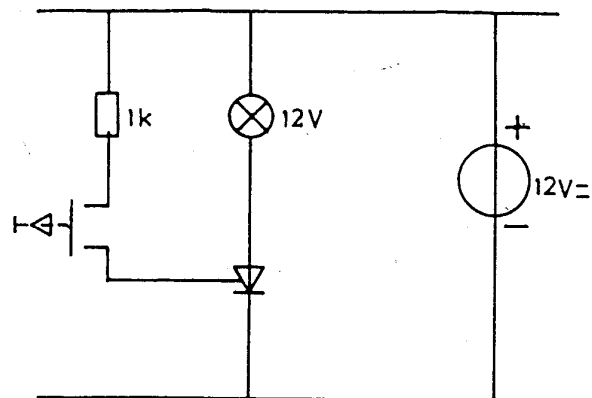
Aangezien thyristorregelaars van het fase aansnijdingstype in principe verliesvrij werken, geringere afmetingen bezitten en niet slijten worden deze voor zeer veel toepassingen gebruikt, zoals het traploos regelen van motoren, verwarmingen en verlichting.

Als aan/uit schakelaar is de thyristor een niet slijten relais.

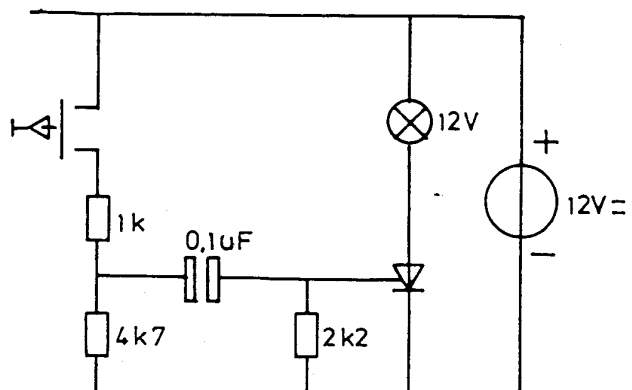
OPGAVE.

Bouw en controleer de drie getoonde schakelingen na elkaar.

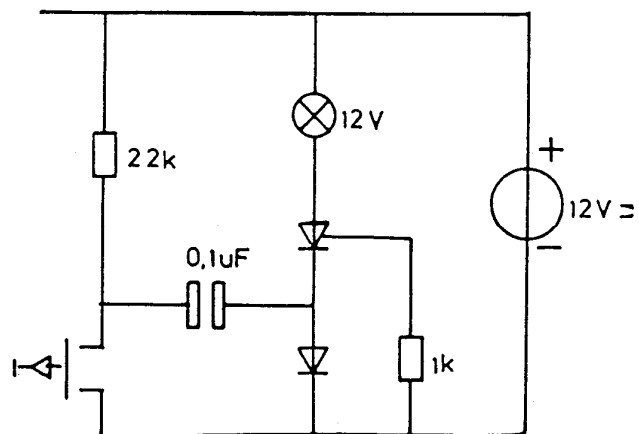
Methode 1.



Methode 2.



Methode 3.



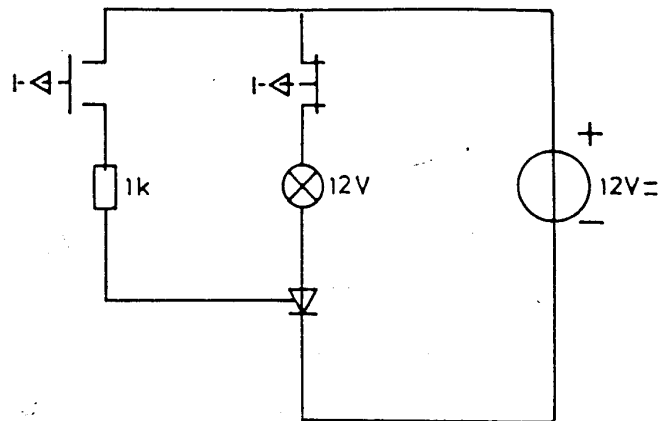


OPGAVE.

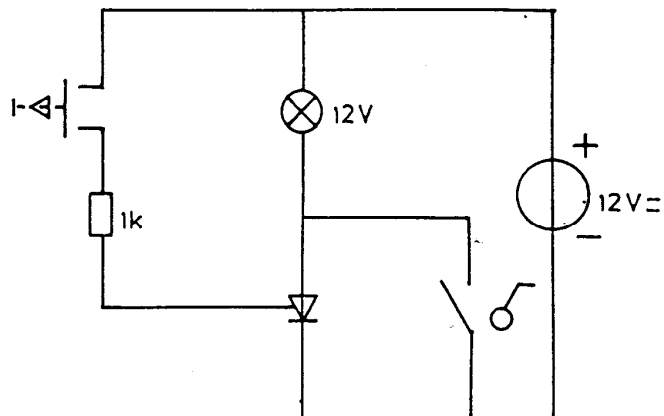
Bouw en beproef de onderstaande SCR-doofcircuits.

Berekening: Bereken de waarde van C wanneer thyristor  $t_{off} = 20 \mu\text{sec}$ .

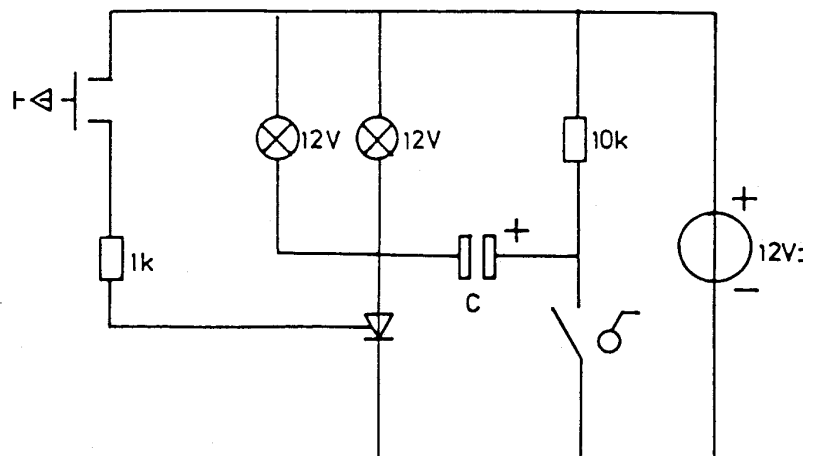
Methode 1.



Methode 2.



Methode 3.



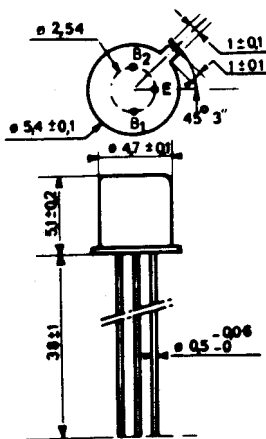
## 12. Halfgeleiders.

### Unijunction – Transistoren.

Unijunction transistoren zijn halfgeleider componenten met 3 aansluitdraden en zijn wat het uiterlijk betreft van een normale transistor niet te onderscheiden.

Toch is dit type halfgeleider met een normale transistor niet te vergelijken.

Vaak hanteert men voor de familie van unijunction transistoren dan ook de naam silicon controlled switch (S.C.S.)



De belangrijkste kenmerken van de UJT zijn:

1. Een stabiele inschakelspanning ( $U_p$ ).
2. Een zeer lage waarde van de inschakelstroom ( $I_p$ ).
3. Een negatieve weerstand karakteristiek, welke voor elke transistor van één type gelijk is, ook ten aanzien van temperatuurvariaties en levensduur.
4. Een goede bestendigheid tegen kortstondige hoge stroomstoten.

Bovenstaande eigenschappen maken de unijunction erg geschikt als:

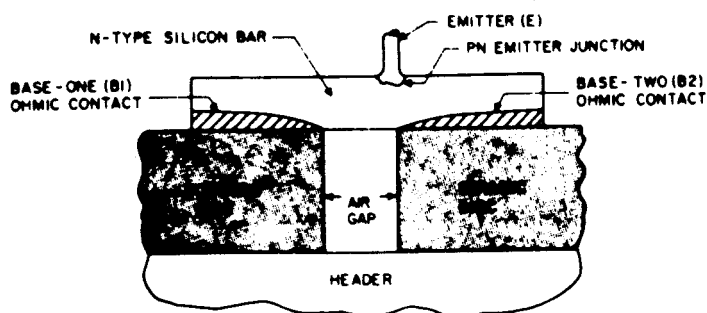
Oscillator.

Tijdvertrager.

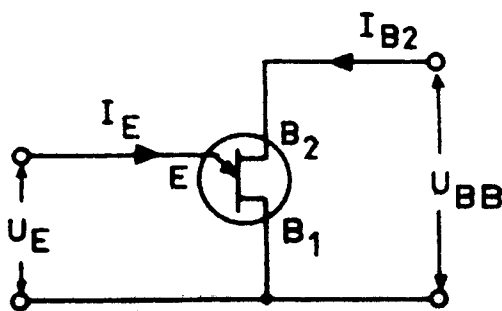
Spanning of stroom detector.

Geheugen.

Thyristor stuur element.



Er zijn diverse fabricage mogelijkheden voor het maken van een UJT. Normale uitvoeringen zijn het staaftype en het dobbelsteen type. Hieronder zal een beschrijving gegeven worden van het staaftype. Uitgegaan wordt van een keramische ring welke eenzelfde warmte uitzettingscoëfficiënt bezit als silicium, en als montageplaat dienst doet. Met een speciaal contact materiaal wordt een staafje N-verontreinigt materiaal hierop gebakken. Aan beide uiteinden van het staafje wordt een aansluiting gemaakt. De ene aansluiting is de basis 1 (B1) en de andere basis 2 (B2). In de buurt van basis 2 contact wordt een aluminiumdraad op de staaf bevestigd. Door een warmte behandeling dringt op deze plaats aluminium in het N-materiaal waardoor een PN-overgang ontstaat, d.w.z. een diode. De aluminiumdraad is tevens de derde aansluiting, t.w. de emitter aansluiting. De hele constructie wordt vervolgens opgeborgen in een metalen of kunststof huisje.



is aangesloten op de plus van de spanning ( $U_{BB}$ ).

Hiernaast is een schema van een UJT getekend met de belangrijkste stromen en spanningen daarin aangegeven.

Daaronder een vervangingschema dat de werking symboliseert.

$R_{B1}$  en  $R_{B2}$  vertegenwoordigen de weerstanden van het basismateriaal (de siliciumstaaf). De getekende diode is de PN-overgang tussen de emitter en het basismateriaal. Gewoonlijk wordt basis 1 met de nul van de spanning verbonden, terwijl B2

Zolang er geen emitterstroom loopt, werkt de Siliciumstaaf als spanningsdeler aangezien

deze

Beschouwd kan worden als een serie schakeling

van de twee weerstanden  $R_{B1}$  en  $R_{B2}$ . De waarden

van deze weerstanden liggen in de orde van 5-10 K

$\Omega$ . Over  $R_{B1}$  staat een spanning die bepaald wordt door de verhouding tussen de

weerstanden

en de voedingsspanning  $U_{BB}$  en deze spanning is

$$\frac{U_{BB} \times R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

$$R_{B1} + R_{B2}$$

De verhouding  $\frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}}$  wordt  $\eta$  (eta) genoemd.

RB1 + RB2

Anders gezegd is de spanning over RB1 dan:

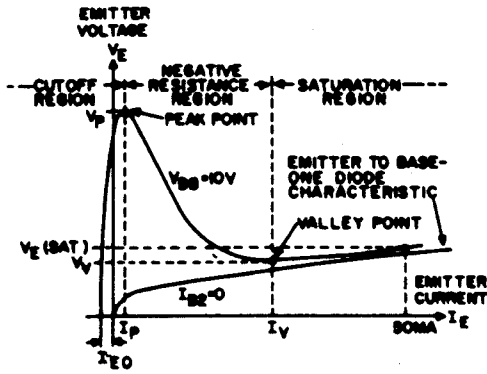
$U_{BB} \times \eta$

Zolang de emittorspanning  $U_E$  lager is dan  $U_{BB}$

zal de emitter / basisdiode zich in de spertoestand bevinden en er loopt slechts een zeer lage lekstroom. Zodra echter  $U_E$  groter wordt dan  $U_{BB} \times \eta$ , dan gaat de PN-overgang in geleiding en er ontstaat een emittorstroom  $I_E$ .

Deze stroom is een gatenstroom, welke zich vanaf de PN-overgang begeeft naar de B1 elektrode met als resultaat een overeenkomstige stijging van het aantal vrije elektronen in het emitter / basis gebied.

Het gevolg van het e.e.a. is dat de weerstand tussen E en B1 daalt, waardoor het emittorstroom stijgt. Ook de spanning tussen E en B1 daalt. Dit effect wordt het negatieve weerstandseffect genoemd.



De tekening hiernaast toont de emitter karakteristiek van een unijunction transistor. Er zijn twee interessante punten te onderkennen t.w. het "peak-point" (hoogste punt) en het valley-point (dalpunt).

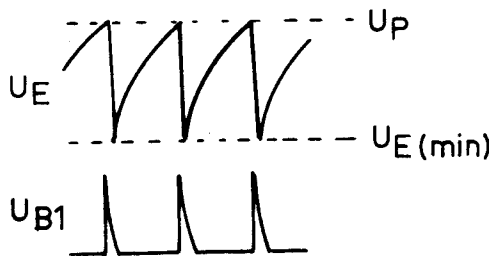
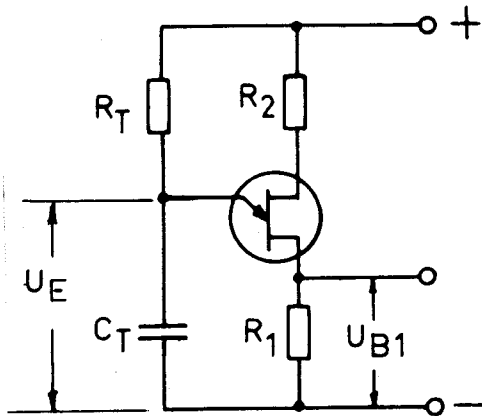
Het links van het peak-point gelegen gebied is het cut-off (uitschakel) gebied. In dit gebied is de emitter diode gesperd en er loopt alleen een zeer lage lekstroom. Het tussen het peak-point en valley-point gelegen gebied is het negatieve weerstandsdeel. Het gebied rechts van het valley-point is het saturation (verzadigings – of

Geleidings) gebied; de weerstand gedraagt zich hier positief. Het elektrische veld dat tussen B<sub>1</sub> en B<sub>2</sub> bestaat als gevolg van de voedingsspanning is zodanig gericht dat het merendeel van de gaten afkomstig van de emitter naar B<sub>1</sub> gaan.

R<sub>B2</sub> wordt door de gatenstroom wel beïnvloed, echter in geringere mate als R<sub>B1</sub>.

$I_E$ mA	$R_{B1}$ Ohm
0	4600
1	2000
2	900
5	240
10	150
20	90
50	40

De stroom vanaf B<sub>2</sub> stijgt, wanneer de emitter-stroom stijgt. De veranderlijke stroom over B<sub>2</sub> wordt I<sub>B</sub> genoemd en is afhankelijk van de I<sub>E</sub> variatie. Het is duidelijk dat bij grote stromen er een behoorlijke warmte-ontwikkeling optreedt tussen E en B<sub>2</sub> zodat een stroombegrenzings-weerstand in serie met B<sub>2</sub> moet worden toegepast. Hiernaast is in de tabel te zien op welke wijze R<sub>B1</sub> beïnvloedt wordt door de emitterstroom.



Een zeer gevarieerd toepassingsgebied van UJT's is het gebruik van deze transistoren in relaxatie oscillatoren. Een dergelijk oscillator type wordt voor veel doeleinden aangewend zoals;

Tijdinterval schakelingen  
Trigger circuits  
Zaagtand generatoren  
Pulse en blokgolf opwekkers.

Op het moment dat de hiernaast afgebeelde schakeling wordt aangesloten op de voedingsspanning is condensator C1 niet geladen en de spanning UE neemt ( niet lineair) toe naar de voedingsspanning. Wanneer de spanning over de condensator het valley-point bereikt (Vp) dan gaat de emitterbasisdiode in geleiding en de weerstand tussen E en B1 daalt tot een veel lagere waarde. Er kan nu door de geleidende diode en R1 een laadstroom gaan vloeien van de condensator naar de min. Door de lage waarde van R1 op dit moment geschiedt de ontlading zeer snel. De spanning over de condensator daalt nu plotseling tot Vemin waardoor de emittordiode uit geleiding raakt en daarmee de gehele transistor. De ontlading stopt en het gehele proces begint opnieuw. De waarde VE ligt direct onder VV. De frequentie waarbij de cyclus zich herhaalt is afhankelijk van RC-lid RT en C1 maar tevens van de voedingsspanning en temperatuur. Wanneer

eta = 0,63 kan men deze

cyclustijd benaderen met  $T = RT \times CT$ .

Relaxatie oscillatoren kunnen binnen ruime marges worden gedimensioneerd.

R1 mag als laagste waarde 100  $\Omega$  zijn en als hoogste waarde 2,2 K  $\Omega$ .

De temperatuurstabilisatie waarde voor R2 wordt doorgaans gelegd op 100  $\Omega$ .

RT mag liggen tussen 3 K  $\Omega$  en 3 M  $\Omega$ .

Denk bij de keuze van hoge weerstandswaardes aan de lekstroom van grote elco's

wanneer deze worden toegepast opdat in ieder geval VP bereikt kan worden.

De voedingsspanning moet bij de meeste UJT onder de 35 Volt worden gehouden.

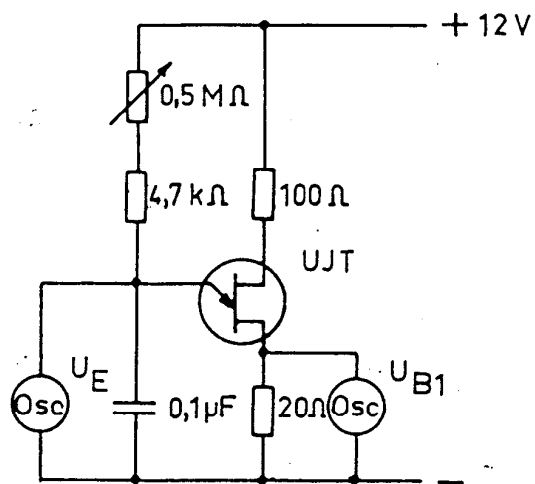
OPGAVE.

Bouw onderstaande schakeling op.

Meet met de oscilloscoop het punt VP.

Bereken  $\tau$  Wanneer  $V_D$  gesteld wordt op 0,4 Volt

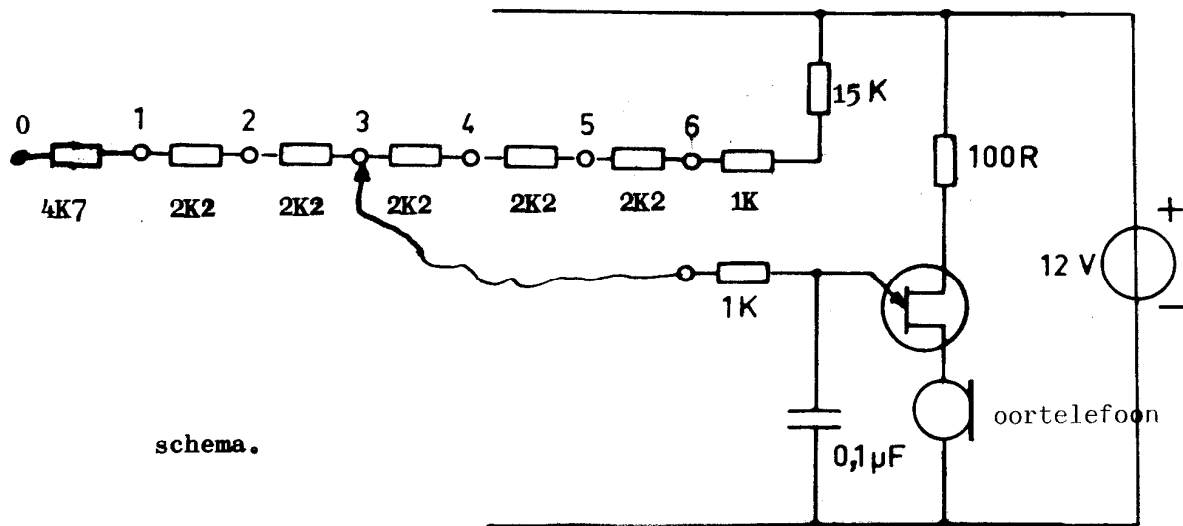
Schema.



Formule:  $\tau = \frac{V_p - V_D}{U}$

OPGAVE.

Stel onderstaande schakeling samen.



Herkent u de melodie wanneer in onderstaande volgorde de verbindingspunten worden gemaakt?

5.5.5.4.3.  
 3.3.4.4.4.4.5.3.  
 5.5.5.4.3.  
 3.3.4.4.4.4.3.



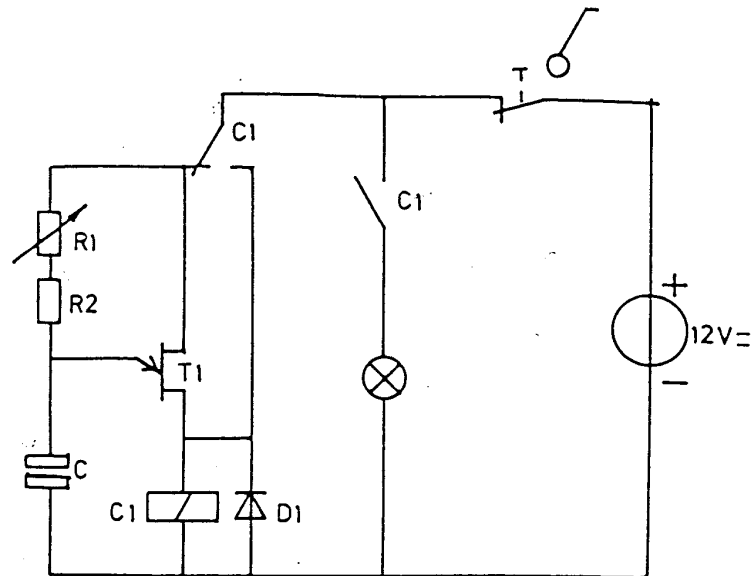
OPGAVE.

Bouw onderstaande schakelingen.

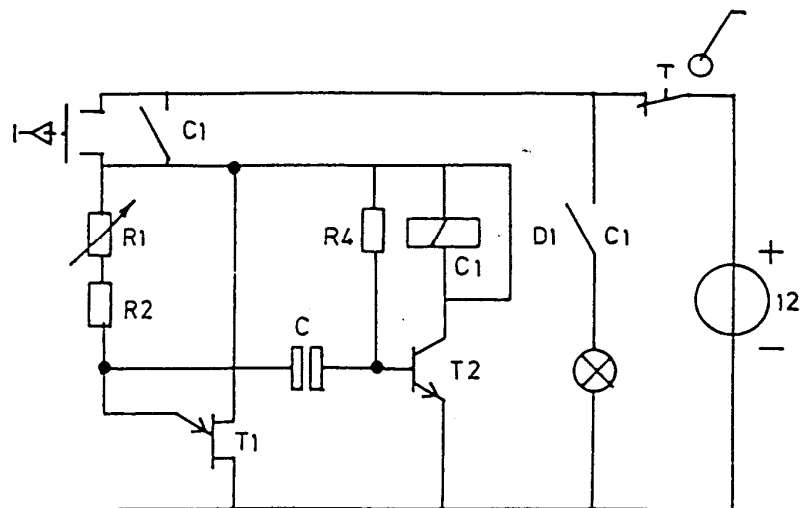
Controle en verklaring: Controleer deze schakelingen op goede werking de verklaar de functie.

de functie.

Opstelling 1.



Opstelling 2.



Componenten.

- T1 = UJT
- T2 = MJE 3055
- R1 = 50 K  $\Omega$  potentiometer
- R2 = 4,7 K  $\Omega$
  
- R4 = 1 K  $\Omega$ .
- C = b.v. 220 uF of 470 uF
- C1 = relais en relais contact.
- D1 = si-diode.

Een relais moet na 2 seconden inkomen.  
Zowel met ee UJT als met een thyristor is een schakeling te maken waarmee dit mogelijk is.

Ontwerp een schema en beproef de goede werking van dit circuit.  
Zie pagina 172.

## OPGAVE.

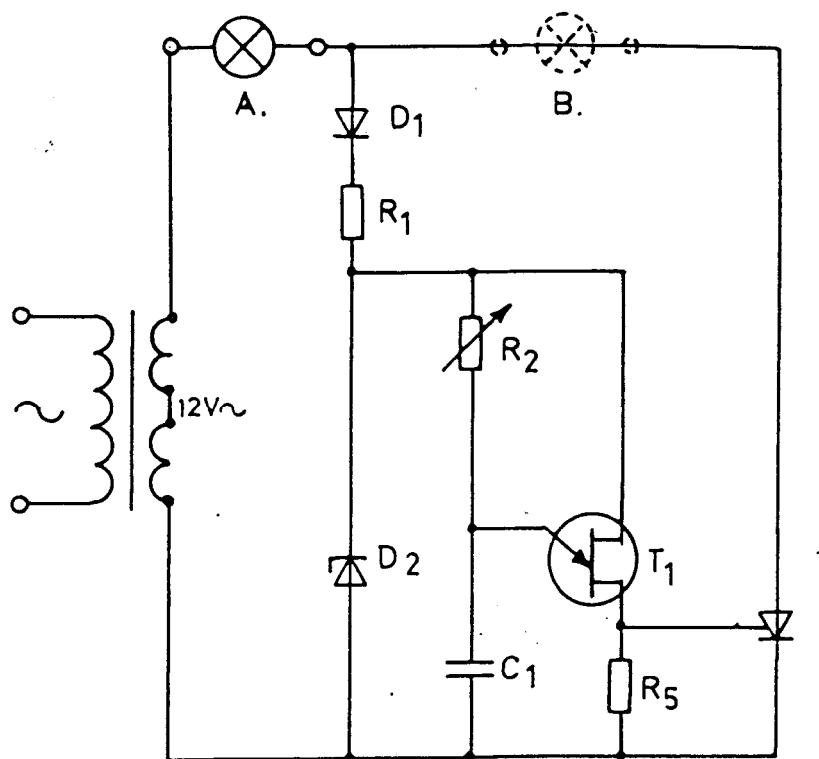
Bouw en beproef de schakeling.

Bekijk met behulp van een oscilloscoop de spanningsvorm over de belasting (A) terwijl R2 langzaam van links naar rechts wordt verdraaid.

Verplaats de belasting naar B en herhaal de proef. Ontdek het verschil en verklaar dit.

Sluit nu in plaats van een lampje een universeelmotortje aan en regel daarvan het toerental met behulp van R2.

Vervang C1 ook eens door andere waarden en verklaar wat er gebeurt.



Componenten:

R1 = 220  $\Omega$  5 W

R2 = 1 K  $\Omega$  potentiometer.

R5 = 22  $\Omega$

C1 = 22  $\mu$ F

D1 = si-diode.

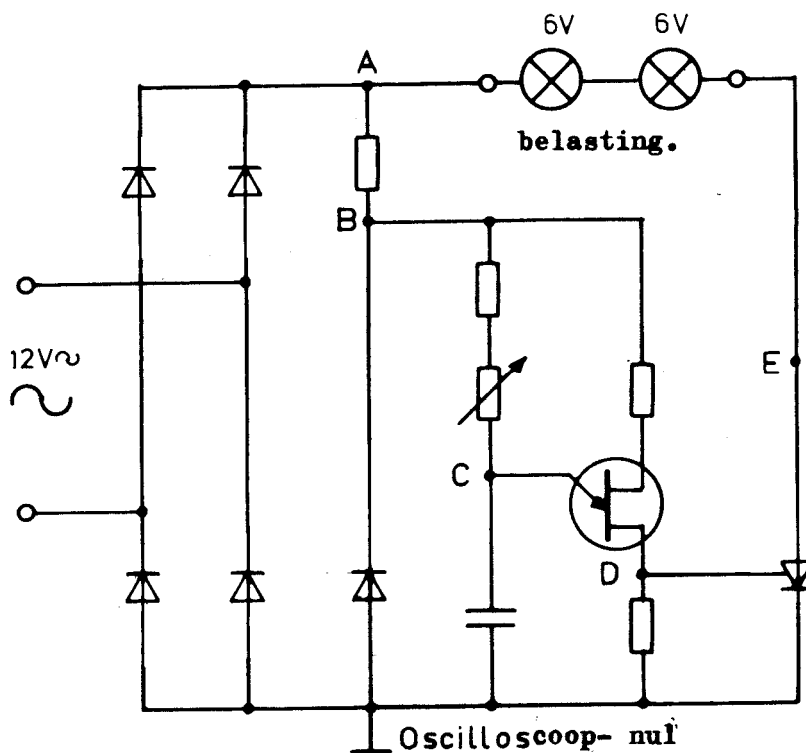
D2 = 12 V 10 W zenerdiode.

T1 = UJT

T2 = thyristor.

Belasting 12 V gloeilamp.  
OPGAVE.

Bouw en beproef de onderstaande schakeling.  
Bekijk met een oscilloscoop de diverse spanningvormen op de punten A, B, C, D en E.  
Bij gloeilamp belasting 2 x 6 V of 1 x 12V.  
Schets de diverse spanningvormen.

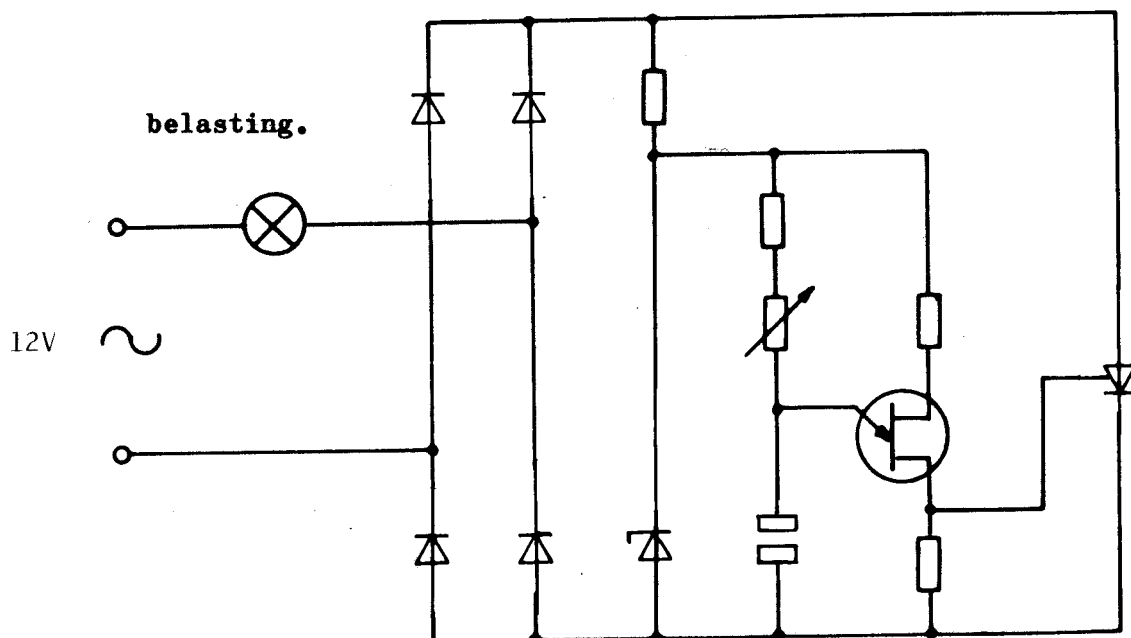


De diverse componentwaarden zijn vrijwel gelijk aan de voorgaande schakeling op pagina 10, echter wordt 1 gelijkrichtdiode nu vervangen door 4 stuks in brugschakeling.

De belasting is nu een 12 Volt gloeilamp of een universeelmotortje.

## OPGAVE.

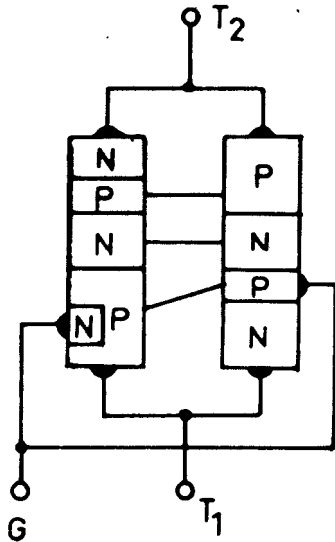
Bouw de onderstaande schakeling op en controleer deze op goede werking.  
 Ga de spanningsvorm over de belasting na voor diverse instellingen van de  
 potentiometer. Meten bij gloeilamp belasting.  
 Belasting gloeilamp vervangen door universeelmeter.  
 Verklaar de werking van deze regeling.



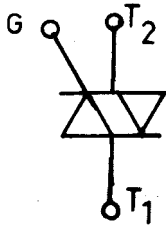
Componenten. Identiek aan voorgaande schakelingen op pagina 175 en 176.

## 13. Halfgeleiders

### Triac – Diac.



#### Symbol.

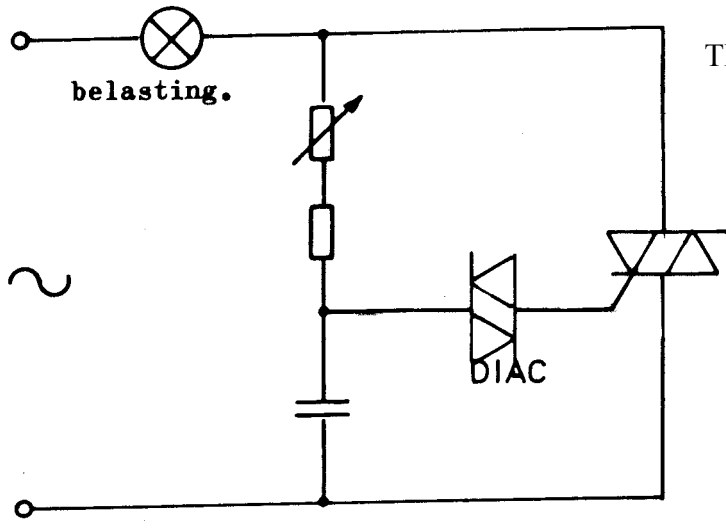


Een triac kan beschouwd worden als een gestuurde silicium diode (thyristor) met dien verstande dat dit halfgeleider type ook in het eigenlijke sfergebied in geleiding kan worden gebracht door een stuurimpuls op de gate. Er kan dus in 2 richtingen stroom doorgang plaats vinden. Voor de gate geldt dat zowel een positieve als een negatieve stuurimpuls de triac in geleiding brengt.

Uit de hiernaast geschetste kristal opbouw blijkt al gauw dat deze nogal gecompliceerd is. Toch kan men hierin complementaire thyristors herkennen d.w.z. 1 PNP thyristor en 1 NPN thyristor. Deze constructie maakt het mogelijk dat de ene thyristor de stroom in één richting kan voeren en de andere thyristor de tegenovergestelde richting voor zijn rekening neemt. De linkerdiode kan uitsluitend in geleiding komen wanneer T2 negatief is en de gemeenschappelijke gate aansluiting een negatieve stuurimpuls ontvangt. Het tegenovergestelde geldt voor de rechterdiode.

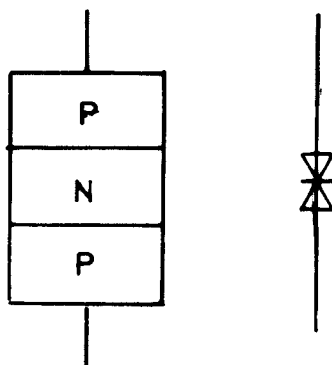
Een triac kan gebruikt worden voor het regelen van een wisselspanning met het daartoe geëigende stuurcircuit en kan zodoende vergeleken worden met een regeltransformator (variac). Een regel-transformator beïnvloedt echter de amplitude van de wisselspanning

terwijl de triac een instelbaar gedeelte van de sinusspanning (het negatieve periodedeel even groot als het positieve periodedeel), wordt ingeschakeld.



**TRIAC** Net als bij de thyristor levert dit gemiddeld een bepaalde spanning op. De afgegeven wisselspanning van een triac Regelaar is echter niet meer sinusvormig en bevat een aantal harmonischen (vervorming) die een ongewenst netstoring opleveren maar ook radio en t.v. apparaten storen. Er zijn in de diverse landen voorschriften welke het terugbrengen van het stroomniveau tot een bepaald minimum met behulp van storingsfilters eisen..

De toepassing van de triac is zeer uitgebreid en bestrijkt het hele gebied van warmte-licht en motortoerental regelaars minimum with a certain non disturbance filters. De toepassing van de triac is zeer uitgebreid van warmte-licht en motortoerental regelaars.

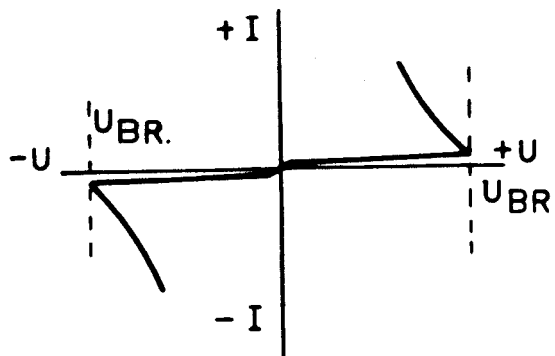


**Symbol.**



De diac (engels, didoe-A.C. switch) is een halfgeleider component, dat voornamelijk wordt gebruikt als puls opwekker voor het aansturen van thyristors en triacs in weinig complexe vermogensregelingen. We kunnen een diac beschouwen als een antiserie schakeling van 2 diodes, waar het dan ook de naam trigger-diode aan ontleent. De diac of trigger diode is opgebouwd uit 3 halfgeleider lagen waardoor de 2 sperlagen ontstaan. Wanneer op een diac een spanning wordt aangelegd zal één van de sperlagen in de geleidende richting staan terwijl de andere sperlaag zich in de spertoestand bevindt. Zolang de spanning onder een bepaald niveau wordt gehouden (<30 Volt) zorgt de sperrende diode laag ervoor dat er geen stroom loopt. Wordt nu het niveau overschreden dan worden ladingdragers a.h.w. door de sperlaag heen gezogen waardoor de diac plotseling geleidend wordt. Weliswaar vertoont een diac in de geleidende fase een hoog spanningsverlies (ca.25 Volt) maar de plotselinge spanningsprong is goed bruikbaar voor het opwekken van een puls. Het spanningsniveau waarbij de diac inschakelt, wordt doorbraakspanning VBR of ontsteekspanning genoemd.

De diac is alleen uit te schakelen door de opgelegde spanning te verlagen onder het spanningsniveau in de geleidende fase. Een diac is wat de schakel eigenschappen betreft goed te vergelijken met een neonlampje waar men eveneens een ontsteekspanning kent, een brandspanning en een doofspanning. Keert men de spanning over de diac om, dan treedt het hierboven beschreven effect eveneens op in de andere stroomrichting.



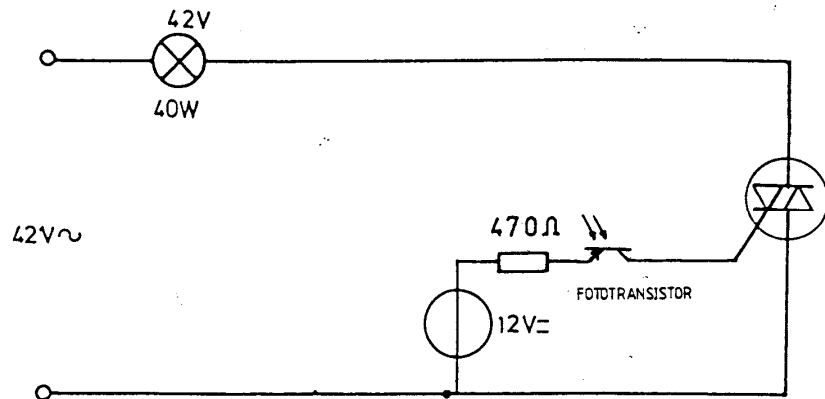
Een diac is dus symmetrisch opgebouwd en is daardoor zeer geschikt in wisselspanningstoepassingen. Fabrikanten van diac's besteden grote zorg aan het realiseren van identieke ontsteek –en brandspanningen voor beide stroomrichtingen.



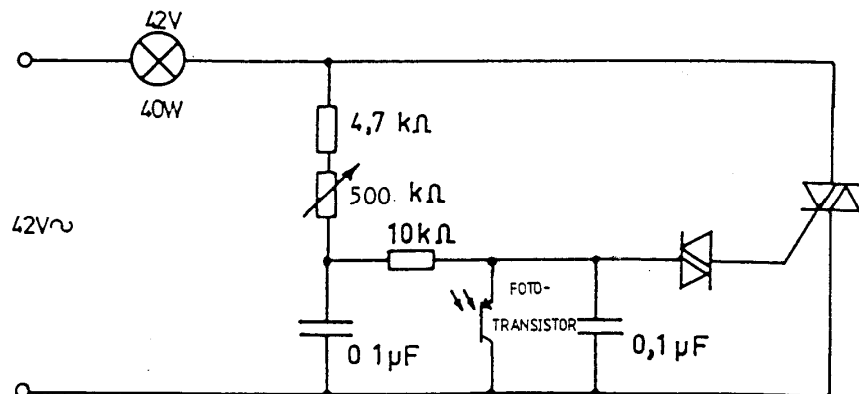
OPGAVE.

Bouw en beproef de onderstaande schakelingen.

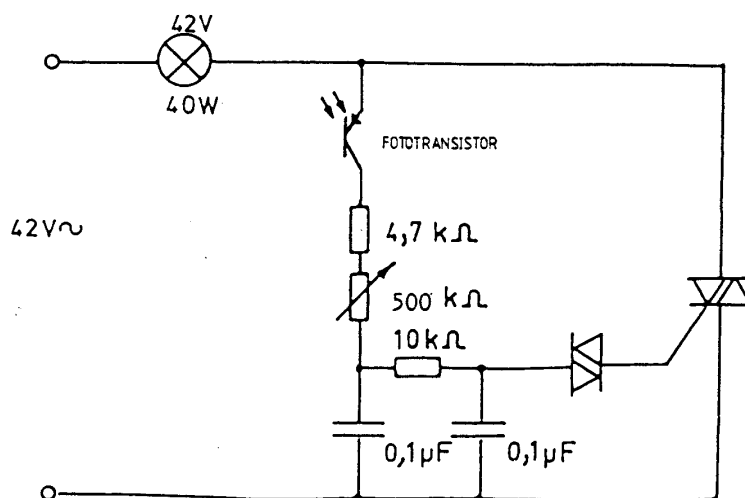
DC sturing van een Triac.



Schemerschakelaar 1



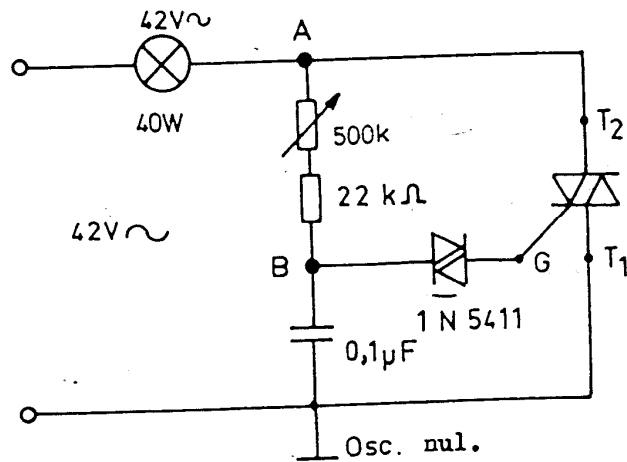
Schemerschakelaar 2



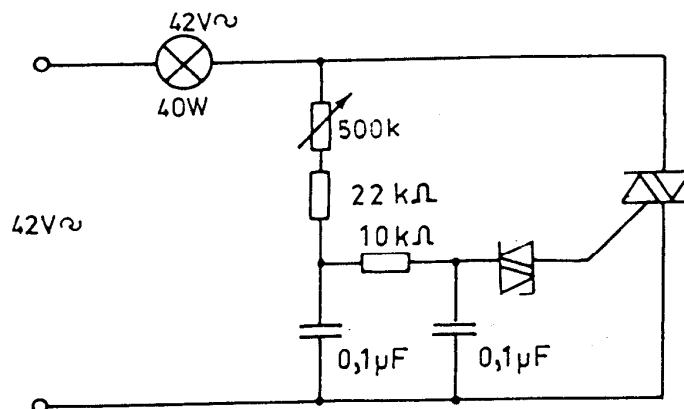
## OPGAVE.

Bouw en probeer de onderstaande schakelingen uit.  
 Bekijk de spanningsvormen over de belasting bij diverse standen van de potentiometer.

Schakeling 1.



Schakeling 2,



Schakeling 3.

Aan/uit-sturing.

