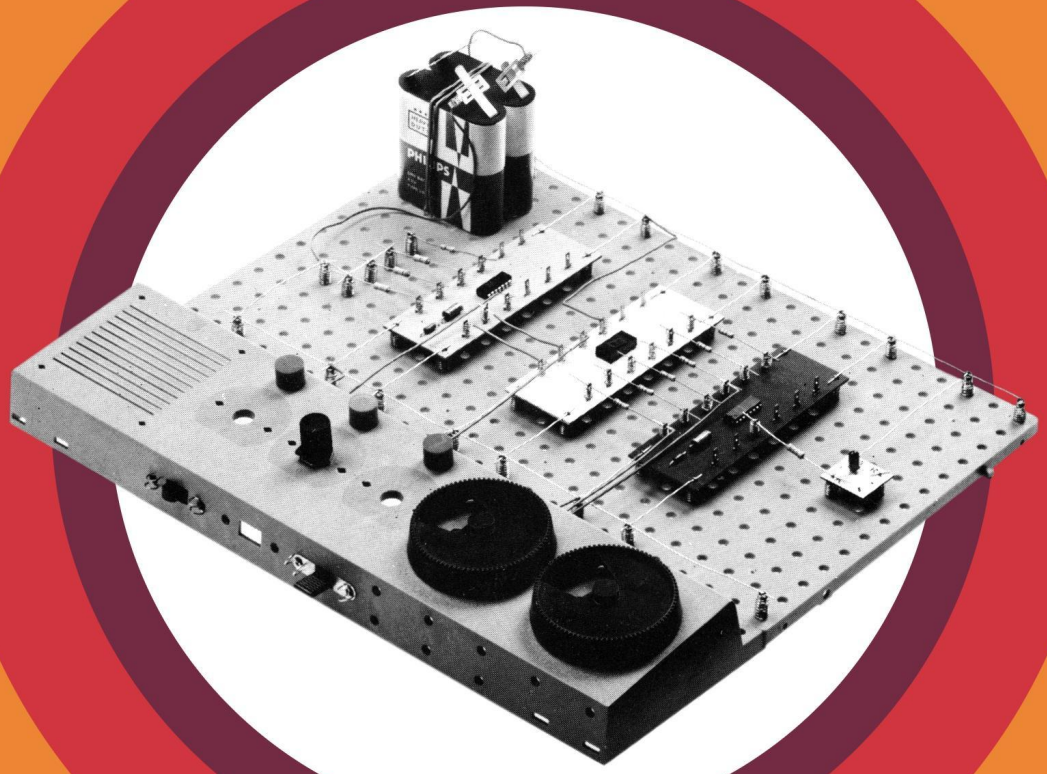
PHILIPS

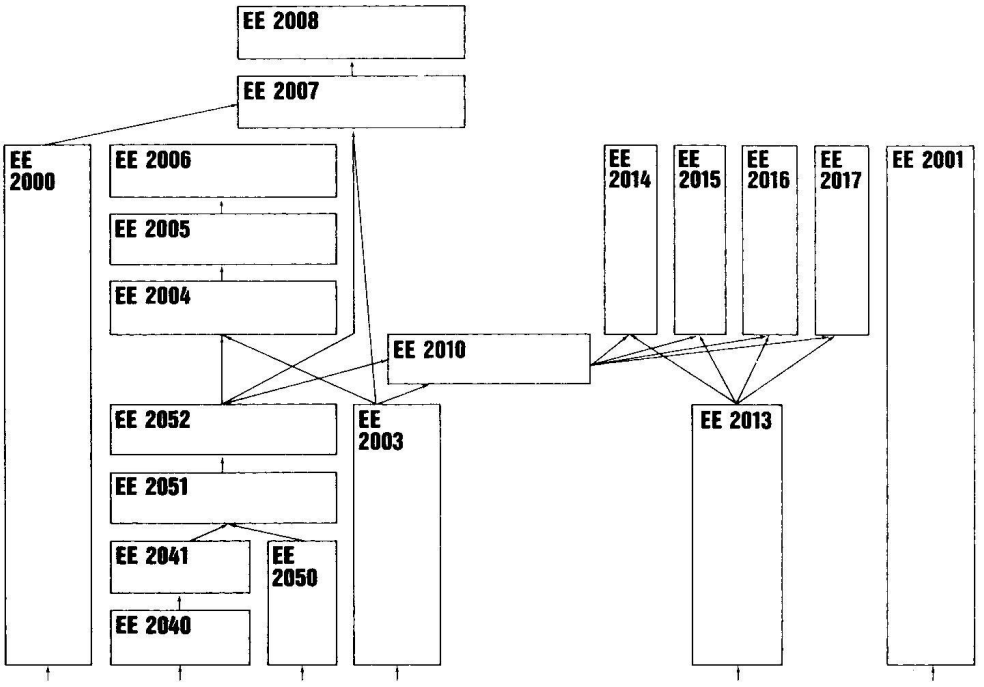
Grondbeginselen van de moderne halfgeleider-technieken

Handleiding voor de elektronika-experimenteerdoos EE 2014 Meettechniek

NL



Elektronische Experimenteerdozen



Alle in deze publikatie opgenomen gegevens zijn medegedeeld zonder octrooigarantie van de N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken te Eindhoven.

Alle rechten voorbehouden.
Nadruk, ook gedeeltelijk, verboden.
Technische wijzigingen voorbehouden.
Uitgave 1977.

Copyright: N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven 1976.

Grondbeginselen van de moderne halfgeleider-technieken

Handleiding voor de elektronika experimenteerdoos EE 2014

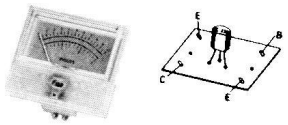
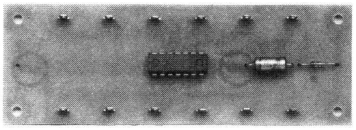
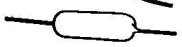
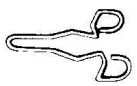
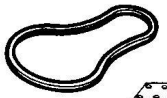
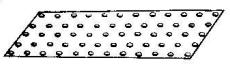
Meettechniek

Inhoudsopgave

		Pagina
	Voorwoord	3
	Afbeeldingen van de onderdelen en inhoudsopgave van de experimenteerdoos	4
1.	**Algemene montagevoorschriften**	5
2.	**Grondbeginselen van de moderne bouwelementen**	6
2.3.	Algemene meettechniek	6
2.3.1.	Het meetinstrument	7
2.3.2.	Het meten van spanningen	8
2.3.3.	Het meten van stromen	10
2.3.4.	Het meten van weerstanden	12
4.	**Elektronische apparaten**	13
4.9.	Elektronisch apparaat voor het meten van spanningen	13
4.9.1.	FET-voltmeter	13
4.9.1.1.	IJkschakeling voor FET-voltmeter	16
4.9.1.2.	Spanningsdeler	16
4.9.1.3.	Regelbare spanningsdeling	17
4.9.1.4.	Hoogohmige spanningsdeler	18
4.9.1.5.	Laagohmige spanningsdeler	19
4.9.1.6.	Weerstandsnetwerken	20
4.9.1.7.	Metingen aan dioden	21
4.9.1.8.	Metingen aan een zener-diode	22
4.9.1.9.	Metingen aan de capaciteitsdiode	23
4.9.1.10.	Metingen aan de lichtgevende diode	24
4.9.1.11.	Het aangeven van spanningen in schakelschema's	25
4.9.1.12.	Metingen aan transistors	26
4.9.1.13.	Het meten aan een transistortrap in collector-basisschakeling	27
4.9.1.14.	Het meten aan een emitter-basisschakeling	28
4.9.1.15.	Het meten aan een transistor-schakeltrap	29
4.9.2.	FET-milli-ampèremeter	30
4.9.2.1.	Het verloop van de stroom in een seriestroomkring	31
4.9.2.2.	Het verloop van de stroom in een vertakte stroomkring	32
4.9.2.3.	Het verloop van de stroom in een transistorschakeling	33
4.9.3.	Apparaat voor het meten van wisselspanningen	34
4.9.3.1.	Signaalgever	35
4.9.3.2.	Hoogdoorlaatfilter	36
4.9.3.3.	Laagdoorlaatfilter	37
4.9.3.4.	Emittervolger	38
4.9.3.5.	Emitter-basisschakeling	38
4.9.5.	Apparaat voor het meten van weerstanden	39
4.9.6.	Transistormeetinstrument voor PNP-transistors	40
4.9.7.	Transistormeetinstrument voor NPN-transistors	42
4.9.8.	Meetinstrument voor het meten van frequenties	43
4.9.9.	Meetinstrument voor het meten van capaciteiten	44
4.9.10.	Meetinstrument voor het meten van de belichtingssterkte	45
4.9.11.	Elektronische thermometer	46
4.9.12.	Geluidssterktemeter	47
4.9.13.	Toerenteller	48
4.9.14.	Reactietijdmeter	49
	Schakelsymbolen	50
	Symbolen van het bedradingsschema	50
	Technische gegevens	50
	Kleurcodetabel	50

Voorwoord

De technische vooruitgang op alle gebieden van de samenleving zou zonder elektronika niet denkbaar zijn. Of het nu gaat om apparaten voor dagelijks gebruik of om gecompliceerde, industriële regelinstallaties - elektronische onderdelen zijn onmisbaar.
Door de ontwikkeling van de ruimtevaart steeg de behoefte aan miniatuurtechniek en de onderdelen die hierdoor ontstonden kwamen alle terreinen van de elektronika ten goede. Door de voortdurend stijgende vraag daalden de kosten zodanig dat er als vanzelf andere toepassingsmogelijkheden ontstonden. Een voorbeeld hiervan is de produktie van moderne, elektronische zakrekenmachines die zonder geïntegreerde schakelingen en betrouwbare uitleeseelementen niet mogelijk geweest zou zijn.
Deze Philips Elektronika-Experimenteerdoos bevat de modernste onderdelen en aan de hand van verschillende gebruiksmogelijkheden worden hun betekenis en hun functie duidelijk gemaakt. Hierdoor kunnen we niet al te diep ingaan op de grondbeginselen van de elektronika en een voorwaarde voor het werken met deze experimenteerdoos is dan ook dat de gebruiker reeds in het bezit is van de basisdozen EE 2010 of EE 2013 van de elektronika-serie 2001. Deze aanvullingsdoos behandelt hoofdzakelijk de meettechniek en hierbij worden moderne onderdelen zoals b.v. een draaispoelmeter, een NTC-weerstand en een zener-diode gebruikt.

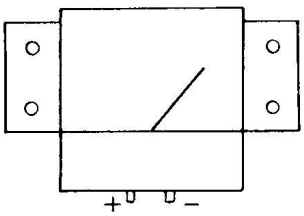
Onderdeel	Bestelnr.	Artikel		Inhoud
	349.1218	Meetinstrument 200 µA		1
	1211	Transistor BC 158* Kleur: blauw		1
	1305	Geïntegreerde schakeling (IC) LM 3900* Kleur: geel		1
	1125	Diode BA 318*		2
	1311	Zenerdiode BZX 79 C5 V1		1
	1004	Weerstand* 1/4 Watt	10 ohm	1
			47 ohm	1
			100 ohm	1
			1 000 ohm	2
			2 200 ohm	1
			3 900 ohm	1
			4 700 ohm	1
			10 000 ohm	3
			22 000 ohm	1
			47 000 ohm	1
			100 000 ohm	1
			220 000 ohm	1
			470 000 ohm	2
			1 000 000 ohm	6
			2 200 000 ohm	1
			4 700 000 ohm	1
			10 000 000 ohm	1
	1040	Instelpotentiometer 47 000 ohm		2
	1063	NTC-weerstand 47 kohm		1
	1005	Polyester condensator*	0,047 µF	1
			0,1 µF	1
			0,22 µF	1
	1006	Elektrolytische condensator*	100 µF	1
	1007	Keramische condensator*	100 pF	1
			1 000 pF	1
			10 000 pF	2
	1016	Blanke draad		4 m
	1017	Geïsoleerde draad		4 m
	1020	Haarspeldveer		50
	1021	Tonveer		50
	1022	Spiraalveer		20
	1028	Elastiek		2
	1130	Montageplaat		1
	1133	Batterijklem		4
	1256	Sokkel		1
	1265	Plakband		1
	5015	Beugel met knop		1
	1754	Handleiding		1

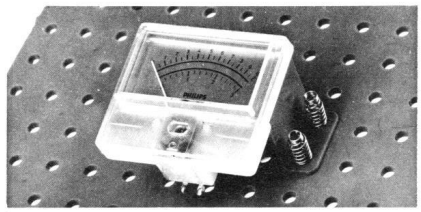
* Deze onderdelen kunnen ook een andere waarde hebben (vergelijk Algemene montagevoorschriften en codetabel).

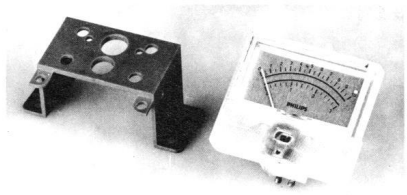
1. Algemene montagevoorschriften

1.6. Het bevestigen van de onderdelen

Het meetinstrument (1218)
Om het meetinstrument op de montageplaat te bevestigen hebben we de sokkel (1256) nodig. Hierop plakken we eerst een stuk tweezijdig klevend plakband en dan drukken we de meter stevig op de sokkel. De twee pennetjes aan de achterzijde moeten in de tegenoverliggende openingen vallen. Het verdient aanbeveling om dan eerst de aansluitdraden met behulp van spiraalveertjes aan het meetinstrument vast te maken. Deze draden moeten worden voorzien van een plus- en een minteken, zoals aangegeven naast de soldeeroogjes aan het meetinstrument.
De sokkel monteren we op de bekende wijze op de montageplaat met behulp van haarspeld- en tonveren.



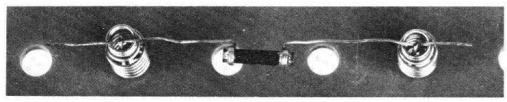


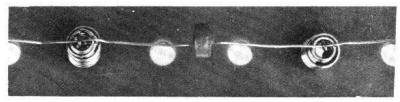


Afb. 1

NTC (1063)
De NTC (temperatuurafhankelijke) weerstand wordt met de aansluitdraden direct aan de klemmen bevestigd.



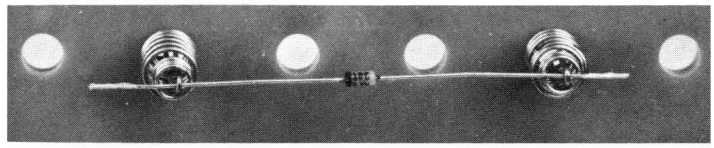




Afb. 2

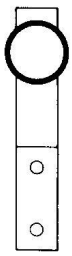
Zener-diode (1311)
De zener-diode kan direct met de aansluitdraden aan de klemmen worden bevestigd. De aansluitingen zijn op het huis aangegeven. Let goed op de juiste aansluiting. De kathode is aangegeven door een gekleurde ring.

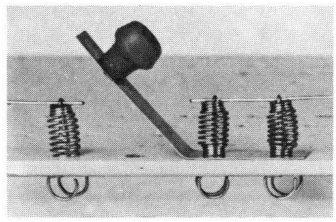




Afb. 3

Beugel met knop (5015)
De beugel wordt op de montageplaat bevestigd met twee klemmen (zie afb. 4). Het maakcontact wordt gevormd door een andere klem.
Bij sommige toestellen moet de schakelaar voortdurend ingeschakeld zijn. In dat geval kunnen de twee buitenste klemmen worden doorverbonden met behulp van een blanke draad.





Afb. 4

2. Grondbeginselen van moderne bouwelementen

2.3. Algemene meettechniek

Onder meten verstaan we het bepalen van hoeveelheden, grootheden of andere eenheden waarbij een te meten grootheid wordt vergeleken met een andere van dezelfde soort, de z.g. **maateenheid.** Het meetproces zelf resulteert in een **meetgetal.** Het produkt van een meetgetal en de eenheid is de natuurkundige grootheid (meetgrootheid).
De meettechniek omvat alle handelingen met behulp waarvan metingen kunnen worden verricht. Hiertoe behoren b.v. **weegschalen** die het gewicht aangeven op een schaal met behulp van een wijzer die door een veer wordt bewogen, en ook **thermometers.** Hierbij wordt het volume van een bepaalde hoeveelheid kwikzilver vergroot of verkleind al naargelang de temperatuursverandering die kan worden afgelezen op een schaal.
In de elektronische meettechniek worden alle soorten eenheden en natuurkundige grootheden omgezet in elektrische stromen en spanningen die dan in elektronische schakelingen worden verwerkt en met aanwijsinstrumenten zichtbaar gemaakt. Bovendien kunnen in elektrische systemen gemeten spanningen en stromen worden vergeleken met bekende waarden.
Omdat de elektrische processen in de stroomkring niet zichtbaar zijn is het noodzakelijk deze processen eerst met behulp van metingen te volgen. Daarom worden in de betreffende schakeling meetinstrumenten ingebouwd en de werking van de stroom zichtbaar gemaakt met een aanwijsinstrument.

2.3.1. Het meetinstrument

Hoofdzakelijk worden aanwijsinstrumenten toegepast waarvan de wijzeruitslag wordt veroorzaakt door de beweging van een draaispoeltje in een magnetisch veld. Om de beweging van het spoeltje in het magnetisch veld te bewerkstelligen moet er een stroom door het spoeltje gestuurd worden. De spoel zelf heeft een ohmse weerstand – de inwendige weerstand – die van belang is voor het doel waarvoor de meter wordt ontworpen en voor de wijze waarop hij zal worden gebruikt. Het meetinstrument in deze experimenteerdoos heeft een inwendige weerstand van 750 Ω en een volle wijzeruitslag bij een stroom van ca 200 μA.

Bij het vakkundig meten van elektrische grootheden moet op enkele bijzonderheden worden gelet. Meetinstrumenten zijn ingedeeld in kwaliteitsklassen aan de hand waarvan de meetnauwkeurigheid wordt vastgesteld. Bedraagt deze b.v. 5% dan krijgen we het volgende resultaat:

meetgebied 10 volt
5% van 10 volt = 0,5 V

Een tolerantie van 5% wil dus zeggen dat een afwijking van 0,5 V naar boven of naar beneden toelaatbaar wordt geacht. De echte waarde kan dus liggen tussen 10,5 V en 9,5 V. Deze tolerantie van 0,5 V geldt nu echter ook voor het begin van de schaal. Wanneer we een spanning van 1 volt meten op het 10 V-bereik dan kan de absolute waarde

1 + 0,5 V = 1,5 V of
1 – 0,5 V = 0,5 V

bedragen. Hieruit blijkt dat het belangrijk is om het meetbereik steeds zodanig te kiezen dat de wijzer steeds zover mogelijk uitslaat, bij voorkeur tot in het laatste gedeelte van de schaal. Een volgende aanwijzing voor de juiste omgang met een meetinstrument heeft betrekking op het vaststellen van onbekende elektrische grootheden. We beginnen de meting altijd met het grootste meetgebied. Hierdoor wordt voorkomen dat de wijzer hard de hoek inslaat en daardoor verbogen wordt. Bij een volkomen foutieve instelling kan het meetinstrument stuk gaan.

Bij alle metingen in een elektrische stroomkring speelt het bestaande verband tussen stroomsterkte, spanning en weerstand een fundamentele rol die is vastgelegd in de wet van Ohm:

$$\text{elektrische stroomsterkte} = \frac{\text{elektrische spanning}}{\text{elektrische weerstand}}$$

Om deze samenhang in formulevorm weer te geven gebruiken we afkortingen voor de verschillende elektrische grootheden. I staat voor stroomsterkte, U voor spanning en R voor de elektrische weerstand. Het verband kan nu worden uitgedrukt in de volgende formule:

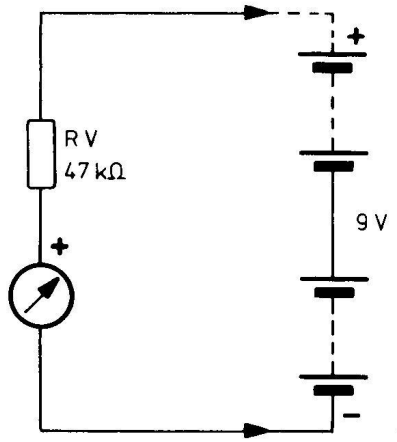
$$I = \frac{U}{R}$$

oftewel:

$$U = R \cdot I \text{ en } R = \frac{U}{I}$$

2.3.2. Het meten van spanningen

In afbeelding 2.1. zien we een eenvoudig instrument voor het meten van spanningen, geschikt voor een bereik van 10 volt volle schaaluitslag.



Afb. 2.1

Omdat dit apparaat een inwendige weerstand (R_i) van 750 Ω heeft en bij volle schaaluitslag een stroomopname van ca 200 μA blijkt volgens de wet van Ohm:

$$U = R_i \cdot I$$
$$U = 750 \cdot 0{,}0002 \text{ [V]}$$
$$U = 0{,}15 \text{ V}$$

Om de wijzer helemaal te laten uitslaan is dus een spanning van 0,15 V noodzakelijk. Voor het verkrijgen van een 10 V-bereik moet er dus een voorschakelweertsand (R_v) worden berekend en dit is mogelijk met behulp van de wet van Ohm. Omdat het instrument 0,15 V nodig heeft om de wijzer helemaal te laten uitslaan moet de spanning van 10 V met behulp van de voorschakelweerstand dalen met 10 − 0,15 = 9,85 V.

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

$$R_v = \frac{9{,}85}{0{,}0002} \text{ [Ω]}$$

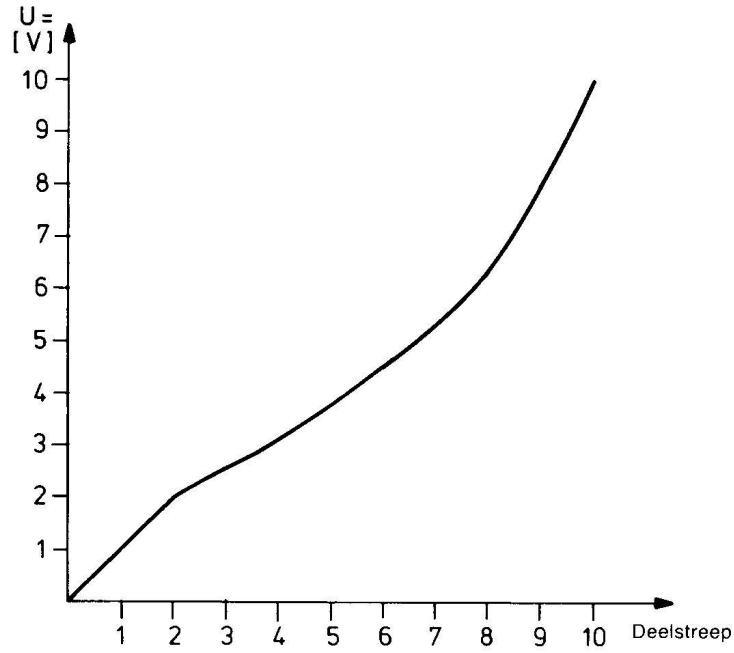
$$R_v = 49\,250 \text{ Ω}$$

In plaats van de berekende waarde kan de gestandaardiseerde waarde van 47.000 Ω = 47 kΩ worden toegepast.
De afwijking ligt binnen de tolerantie van 5% en kan daarom verwaarloosd worden.
Teneinde de berekening wat te vereenvoudigen kan de spanning die het instrument zélf nodig heeft worden verwaarloosd. Bij het aangegeven meetbereik van 10 volt bedraagt de fout van 0,15 V slechts 1,5%. Hoe groter het meetgebied, hoe geringer de fout. Bij 100 V bedraagt zij slechts 0,15%. Bij kleinere meetgebieden moet wel degelijk rekening gehouden worden met de spanning die het instrument gebruikt. Bij 1 volt kan het resultaat anders wel 15% verschillen.
Wanneer het instrument van afb. 2.1. wordt aangesloten op de bedrijfsspanning van 9 volt slaat de wijzer bijna helemaal uit.

Door de constructie van het meetgedeelte werkt het instrument niet lineair. Om alle spanningswaarden te kunnen aflezen moeten we te werk gaan volgens de hierna volgende vergelijkingstabel:

Deelstreep	Spanning
1	1 volt
2	2 volt
3	2,6 volt
4	3,1 volt
5	3,7 volt
6	4,4 volt
7	5,3 volt
8	6,4 volt
9	8,0 volt
10	10,0 volt

Aan deze tabel zien we dat er bij dit meetinstrument geen lineair verband bestaat tussen de spanning en de stand van de wijzer. Dit is bewust op de koop toe genomen ten gunste van een zeer stabiele uitvoering van het instrument, vooral omdat dit verschijnsel bij de andere in dit boek behandelde apparaten in ruime mate wordt gecompenseerd door de elektronische schakelingen.
De waarden kunnen ook worden weergegeven in een ijkcurve (afb. 2.2):

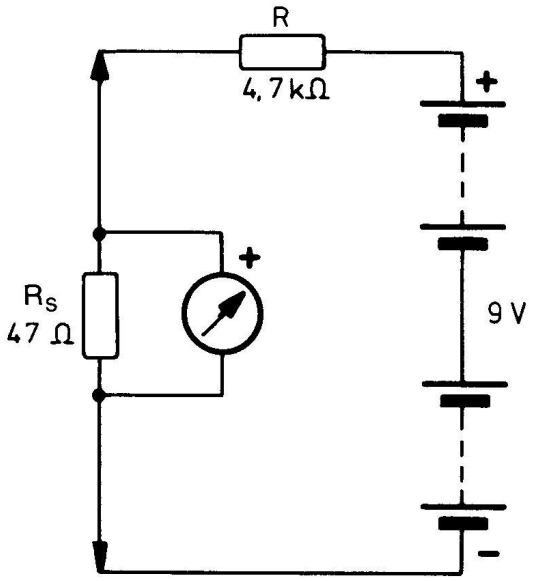


Afb. 2.2

Het instrument voor het meten van spanningen wordt met de klemmen altijd parallel op de punten van de stroomkring aangesloten waartussen de spanning moet worden gemeten. Hierbij moet goed op de juiste aansluiting worden gelet.

2.3.3. Het meten van stromen

Bij stroommetingen is de wijzeruitslag van het instrument afhankelijk van de stroom die door het spoeltje vloeit. Bij een passende ijking kunnen we de te meten stroom zonder omrekening direct aflezen.
Een stroommeter moet direct in de stroomkring worden geschakeld. De inwendige weerstand van de spoel veroorzaakt een vermindering van de oorspronkelijke stroom. Deze stroomvermindering mag alleen maar verwaarloosd worden als de inwendige weerstand van het instrument zeer klein is ten opzichte van de overige weerstanden in de stroomkring. Het spoeltje met zijn wikkeling van zeer dunne draad voldoet niet aan deze voorwaarde. Daarom wordt parallel aan het spoeltje een ,,shuntweerstand" (R_s) van kleinere waarde aangesloten. Op deze wijze kan het gewenste stroombereik worden gekozen.



Afb. 2.3

De stroommeter volgens afb. 2.3 is werkzaam in het gebied van 3 mA. Voor dit bereik moet een shuntweerstand (R_s) toegepast worden. Ook bij een meetgebied van 3 mA mag maar 200 μA door de meter lopen. De resterende 2,8 mA moet door de shuntweerstand R_s gestuurd worden.
Bij de berekening gaat men ervan uit dat bij twee parallel geschakelde weerstanden de stroom omgekeerd evenredig is aan deze weerstanden.

$$R_s : R_i = I_2 : I_1$$

$$R_s = \frac{R_i \cdot I_2}{I_1} [\Omega]$$

$$R_s = \frac{750 \cdot 0{,}0002}{0{,}0028} [\Omega]$$

$$R_s \approx 53{,}6\ \Omega$$

In plaats van de berekende waarde van 53,6 Ω wordt de gestandaardiseerde waarde van 47 Ω toegepast.

Zoals weergegeven in afb. 2.3 moet de stroom door een weerstand R = 4,7 kΩ gemeten worden. Bij een bedrijfsspanning van 9 volt moet er dus volgens de wet van Ohm

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

$$I = \frac{9}{4700}\ [A]$$

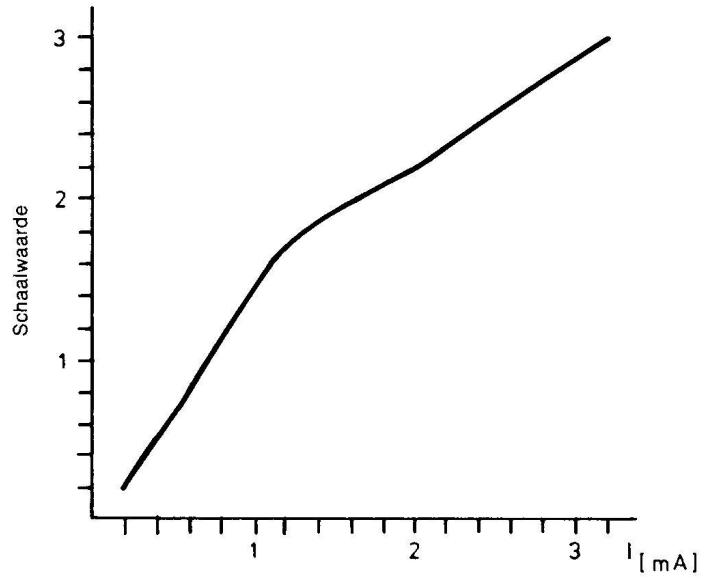
$$I \approx 0{,}002\ A$$

een stroom van ca 2 mA lopen.

Op het meetinstrument lezen we een schaalwaarde van 2,2 af, maar omdat het instrument vanwege de constructie niet lineair werkt moeten we gebruik maken van een omrekeningstabel, net als bij het meten van spanningen.

Schaalwaarde	Stroom
0,2	0,2
0,4	0,3
0,6	0,4
0,8	0,6
1	0,7
1,2	0,9
1,4	1
1,6	1,1
1,8	1,3
2	1,6
2,2	2
2,4	2,3
2,6	2,6
2,8	2,9
3	3,2

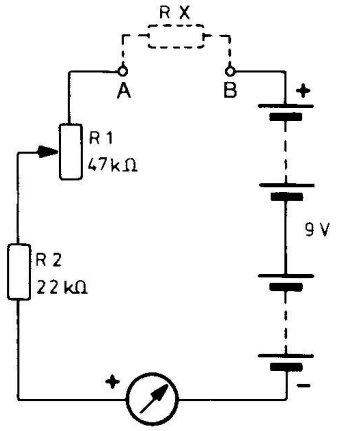
In de ijkcurve (afb. 2.4) zijn de waarden grafisch weergegeven. Tussenwaarden kunnen worden afgelezen uit de curve.



Afb. 2.4

2.3.4. Het meten van weerstanden

Voor het samenspel van de drie elektrische grootheden stroom, spanning en weerstand is het vaak van belang om de waarde van een weerstand te bepalen.



Afb. 2.5

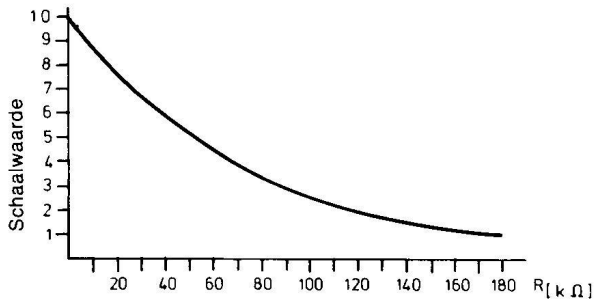
Bij het meten van een weerstand zoals weergegeven in afb. 2.5. moet het meetinstrument eerst zodanig worden ingesteld dat de wijzer helemaal uitslaat. Dit gaat als volgt: we overbruggen de klemmen A en B met een draad en draaien dan net zo lang aan de potentiometer tot de wijzer helemaal uitslaat.
Als we nu de draad tussen A en B weer wegnemen en een onbekende weerstand R_x tussen de klemmen schakelen kunnen we de weerstandswaarde aflezen omdat de stroom wordt verkleind door elke weerstand die in de kring wordt geschakeld. Hoe groter de weerstand, hoe kleiner de stroomsterkte. Het instrument wijst dus omgekeerd aan:

kleine weerstand - wijzer slaat ver uit
grote weerstand - wijzer slaat niet ver uit

Deze omgekeerde manier van aangeven is gebruikelijk bij alle normale ohmmeters. Uit de tabel kunnen we de weerstand aflezen bij een bepaalde stand van de wijzer.

Schaalwaarde	Weerstandswaarde	
1	180	kΩ
2	120	kΩ
3	82	kΩ
4	68	kΩ
5	56	kΩ
6	39	kΩ
7	27	kΩ
8	18	kΩ
9	8,2	kΩ
10	0	Ω

Tussenliggende waarden kunnen worden afgelezen uit de ijkcurve (afb. 2.6).



Afb. 2.6

4. Elektronische apparaten

4.9. Elektronisch apparaat voor het meten van spanningen

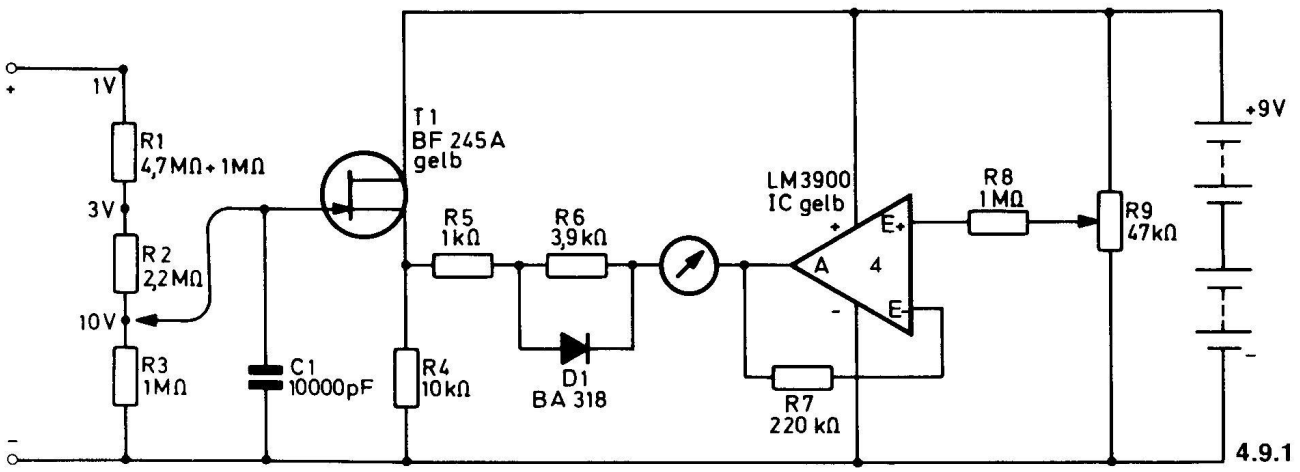
Met de tot dusver beschreven toestellen kunnen op vrij simpele wijze metingen worden verricht. Om te komen tot nauwkeuriger resultaten hebben we echter elektronische schakelingen nodig om het meetinstrument te vervolmaken. Deze schakelingen worden hierna beschreven en toegepast.

4.9.1. FET-voltmeter

Met dit meetinstrument kunnen vrij nauwkeurige metingen worden verricht. In dit opzicht overtreft het het toestel zoals beschreven bij afb. 2.1 en in sommige gevallen zelfs een gebruikelijk, universeel meetinstrument. Hierbij is niet zozeer de absolute nauwkeurigheid doorslaggevend, maar veel meer de juiste onderlinge verhouding tussen de gemeten waarden.
Dit elektronische meetinstrument voor spanningen kunnen we beschouwen als een basistoestel. Voorzien van de noodzakelijke uitbreidingen kan het ook dienen als:

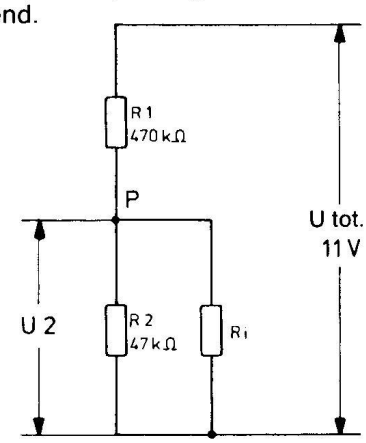
weerstandsmeter (ohmmeter),
stroommeter (ampèremeter),
capaciteitsmeetinstrument,
frequentiemeter,
voltmeter voor wisselspanning,
transistortester.

Opbouw van het toestel volgens montagetekening 4.9.1 op een gedeelte van de montageplaat. Het meetgebied moet worden ingesteld op 10 volt. Daartoe leggen we een verbinding tussen de gate van T 1 en de klem van 10 V. Na het aansluiten op de bedrijfsspanning moet de wijzer van het instrument uitslaan wanneer aan potentiometer R_9 wordt gedraaid. Met R_9 stellen we ook de nul-waarde in. Om te controleren of het toestel goed functioneert verrichten we een proefmeting. We sluiten de pluspool van de spanningsdeler aan op + 9 V (bedrijfsspanning). De wijzer moet uitslaan. Is dit niet het geval schakel dan onmiddellijk het toestel uit en zoek de fout.
De te meten spanning wordt altijd met de ingang (+ en −) verbonden. Een ander meetgebied kan worden verkregen door de gate met een ander punt van de spanningsdeler te verbinden.



Beschrijving van de schakeling

Dit apparaat bevat twee aparte schakelingen. Een FET-voortrap met T 1 verhoogt de gevoeligheid en maakt de ingang hoogohmig. Een z.g. brugschakeling met een operationele versterker in één vertakking dient voor het corrigeren van het nulpunt.
Voor een voltmeter is het van belang dat de ingang hoogohmig is. Hoe hoger deze is, hoe nauwkeuriger de meetresultaten. Een voorbeeld:
De spanningen op een spanningsdeler zoals weergegeven in afb. 4.1 moeten worden berekend.



Afb. 4.1

Rekenkundig is de spanning op punt P volgens de eerste wet van Kirchhoff

$$R_{tot} : R_2 = U_{tot} : U_2 \qquad (1)$$
$$517\,000 : 47\,000 = 11 : x \text{ (volt)}$$
$$x = 1 \text{ volt}$$

Sluiten we nu parallel aan R_2 een voltmeter aan met een inwendige weerstand van $R_i = 10\,k\Omega$ dan is de weerstandsverhouding veranderd. De vervangingsweerstand R'' van de weerstanden R_2 en R_i bedraagt volgens de 2e wet van Kirchhoff

(2)

$$R'' = \frac{R_2 \cdot R_i}{R_2 + R_i}\ [\Omega]$$

$$= \frac{47\,000 \cdot 10\,000}{47\,000 + 10\,000}\ [\Omega]$$

$$\approx 8250\ \Omega$$
$$\approx 8{,}25\ k\Omega$$

Wanneer we deze weerstandswaarde opnemen in de berekening volgens (1) dan krijgen we

$$478{,}25 : 8{,}25 = 11 : x \text{ (volt)}$$
$$x = 0{,}19 \text{ V}$$

De inwendige weerstand van de voltmeter heeft de spanning U_2 dus verschoven van 1 V naar 0,19 V en heeft daardoor de meting belangrijk beïnvloed! Nu nog een berekening met een hoogohmig, elektronisch meetinstrument. Bij dit toestel bedraagt de inwendige weerstand $R_i = 9\ M\Omega$. Wanneer we deze waarde opnemen in de formule volgens (2) krijgen we:

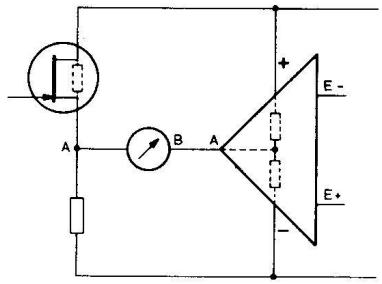
$$R = \frac{47 \cdot 9000}{47 + 9000}\ [k\Omega]$$

$$\approx 46{,}7\ k\Omega$$

De spanning op punt P bedraagt dan volgens (1):

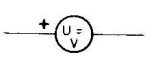
$$516{,}7 : 46{,}7 = 11 : x \text{ (volt)}$$
$$x = 0{,}994 \text{ V}$$

Wanneer we de berekende meetwaarden van de hoogohmige voltmeter vergelijken met die van de laagohmige voltmeter, namelijk 0,994 V en 0,19 V, zien we waarom de inwendige weerstand van doorslaggevende betekenis is voor een meetinstrument.
In de schakeling fungeert de FET als impedantie-omvormer met R_4 als source-weerstand. Het meetgebied wordt vastgelegd met de ingangsspanningsdeler $R_1/R_2/R_3$. C_1 voorkomt dat wisselspanningen op de gate terecht komen. De spanning wordt afgenomen van source-weerstand R_4 en ligt via R_5 en R_6 aan de pluspool van de meter. D_1 dient voor verbetering van de lineariteit omdat zijn „weerstand" binnen bepaalde grenzen verandert als er spanning op staat. De minpool van de meter is aangesloten op de uitgang van de gelijkspanningsversterker Op 4. Het werkpunt en daarmee de inwendige weerstand kan met R_9 op E+ worden ingesteld. Met deze regeling kunnen we voor de meting de wijzer op nul zetten.
Op het eerste gezicht is niet te zien hoe de schakeling functioneert. Het meetgedeelte bevindt zich namelijk in een brugschakeling die voor een beter begrip schematisch wordt weergegeven (afb. 4.2).



Afb. 4.2

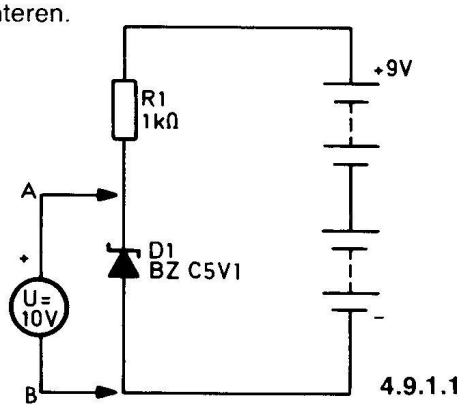
De inwendige weerstand van T_1 en weerstand R_4 alsook de operationele versterker met zijn „inwendige spanningsdeler" vormen samen de beide spanningsdelers van een weerstandsbrug. De ene wordt gevormd door T_1 met R_4 en de andere door de „inwendige spanningsdeler". De spanningen op de punten A en B zijn gelijk wanneer de weerstandsverhoudingen van de beide spanningsdelers gelijk zijn. Tussen A en B bestaat dan geen spanningsverschil omdat op beide punten dezelfde spanning ten opzichte van nul staat. De brug is in evenwicht. Wanneer nu de weerstandsverhouding op één spanningsdeler verschuift ontstaat er tussen de punten A en B een spanningsverschil dat door de meter wordt aangegeven. In de schakeling werkt T_1 als variabele weerstand waarvan de waarde afhangt van de spanning die aan de gate wordt toegevoerd. Wanneer de inwendige weerstand van T_1 toeneemt stijgt de spanning op T_1 en omgekeerd. De weerstandsverhouding van het tweede deel van de brug is ook veranderlijk. Daardoor kan met potentiometer R_9 de aan E+ toegevoerde spanning worden veranderd. Dientengevolge kan de spanning aan de aansluitingen van het instrument op nul worden ingesteld. We kunnen ook met de potentiometer alléén de tweede spanningsdeler van de brug instellen.
De operationele versterker maakt het mogelijk het nulpunt precies en constant af te regelen.



Opmerking: de weerstanden R_5 en R_6 zijn van belang voor de ijkschakeling van het toestel, ze hebben geen invloed op het functioneren van de brugschakeling.
Wanneer het toestel dienst doet als spanningsmeter in andere schakelingen gebruiken we altijd nevenstaand symbool.

4.9.1.1. IJkschakeling voor FET-voltmeter

Met behulp van deze eenvoudige schakeling kunnen we het toestel ijken door vergelijking met een zener-spanning. Hierbij wordt de nauwkeurigheid van de absolute meetwaarden bepaald door de toelaatbare spanningstolerantie van de zener-diode. Bij deze en de volgende eenvoudige „onderzoekschakelingen" zijn vanzelfsprekend de montagetekeningen weggelaten omdat iedereen ze makkelijk kan monteren.



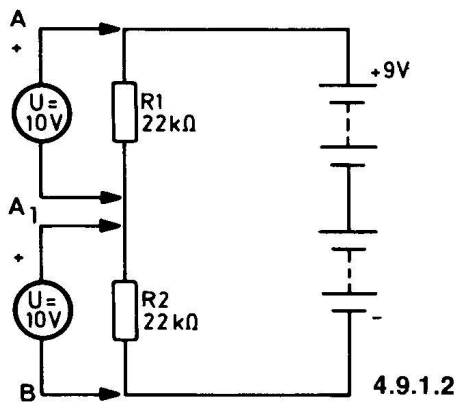
4.9.1.1

Voor het ijken van het toestel gebruiken we het meetgebied van 10 V. Dit gegeven vinden we in het schakelschema steeds weer terug in het symbool voor het meetinstrument. We verbinden het toestel met de meetpunten A en B en wel de pluspool met A en de minpool met B. Het instrument moet een waarde aangeven tussen 4,8 en 5,4 V (voor de tolerantie van de zener-diode zie 4.9.1.8). Is de aangegeven waarde groter dan monteren we parallel aan het instrument een weerstand. De waarde kunnen we experimenteel bepalen. Zij moet tussen 4,7 kΩ en 47 kΩ liggen. Is de door de meter aangegeven waarde kleiner dan sluiten we parallel aan weerstand R_5 een andere weerstand aan waarvan we de waarde eerst moeten bepalen. Deze waarde ligt eveneens tussen 4,7 kΩ en 47 kΩ.
Wanneer we het toestel hebben ingesteld op een waarde tussen 4,8 en 5,4 V is de ijking beëindigd. De nauwkeurigheid is voor alle aangegeven proeven voldoende; de onderlinge verhoudingen van de meetwaarden kloppen precies.

Spanningsmetingen
Nu kunnen we met de FET-voltmeter de spanningen in verschillende elektronische schakelingen meten.

4.9.1.2. Spanningsdeler

Meetbereik 10 V gebruiken. Min-aansluiting van de FET-voltmeter 4.9.1 verbinden met punt B van schakeling 4.9.1.2.



4.9.1.2

Meting 1: totale spanning over de spanningsdeler meten. Deze komt overeen met de batterijspanning. We gaan als volgt te werk: de pluspool van het meetinstrument wordt verbonden met punt A en daarna wordt de spanningswaarde afgelezen van de meter. Bij nieuwe batterijen kan de gemeten spanning de 9 volt overschrijden!
Meting 2: om deelspanningen van de spanningsdeler te kunnen meten verbinden we de pluspool van het meetinstrument met punt A_1, de minpool blijft verbonden met punt B. Het instrument geeft nu de halve spanning aan en deze staat over R_2. – Meetinstrument losmaken van de schakeling.
Om de spanning over R_1 te meten verbinden we de minpool van het meetinstrument met punt A_1 en de pluspool met A. Het meetinstrument wijst weer de halve voedingsspanning aan.
Met de hier beschreven meting hebben we de eerste wet van Kirchhoff bevestigd die zegt dat bij een spanningsdeler de totale spanning wordt gedeeld naar verhouding van de weerstanden (zie ook Hoofdstuk 4.9.1). Dus:

$$\begin{aligned} U_{tot} &: U_1 = R_{tot} : R_1 \\ 9 &: x = 44 : 22\ [V] \\ & x = 4{,}5\ \text{volt.} \end{aligned} \qquad (1)$$

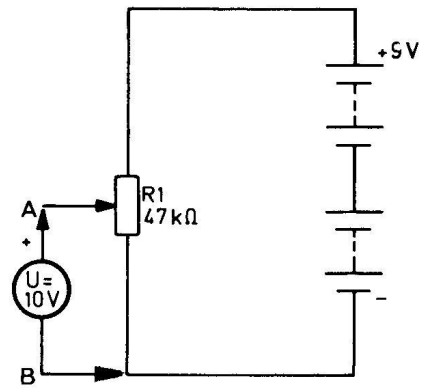
De wet van Kirchhoff geldt voor alle weerstandsverhoudingen. Vervangen we b.v. in deze schakeling R_2 door een weerstand van 47 kΩ dan krijgen we de volgende waarden volgens (1):

$$\begin{aligned} 9 : x &= 69 : 47\ [V] \\ x &\approx 6{,}1\ V \end{aligned}$$

De meter wijst deze spanning over R_2 aan.
Er zijn echter afwijkingen mogelijk als gevolg van de toleranties. De 5% van de weerstanden kunnen elkaar namelijk compenseren maar zij kunnen ook bij elkaar worden opgeteld. Dit geldt voor metingen in alle schakelingen.

4.9.1.3. Regelbare spanningsdeling

Met behulp van een potentiometer kunnen we een bepaalde continue spanning delen. De weerstandsbaan van de potentiometer wordt door het sleepcontact in twee delen gesplitst. Hierdoor ontstaan twee weerstanden waarvan de onderlinge verhouding de gewenste deelspanning bepaalt.
Om deze deelspanning te kunnen meten verbinden we de minpool van de FET-voltmeter 4.9.1 (meetgebied 10 V) met punt B en de pluspool van het meetinstrument met het sleepcontact (punt A). Wanneer we aan de potentiometer draaien wijst het instrument verschillende spanningen aan die door het sleepcontact van de weerstandsbaan worden afgenomen.



4.9.1.3

Hoog- en laagohmige spanningsdelers

Bij het construeren van weerstandsnetwerken komt het erop aan of een spanningsdeler hoog- of laagohmig is. De voorwaarden zullen we uiteenzetten aan de hand van twee schakelingen.

4.9.1.4. Hoogohmige spanningsdeler

De schakeling bestaat uit een spanningsdeler R_1/R_2 en de parallel aan R_2 geschakelde weerstand R_3. Volgens formule (1) wordt de spanning op punt A als volgt berekend:

$$\begin{array}{lll} U_{tot} : U_2 & = & R_{tot} : R_2 \\ 9 : x & = & 320 : 100 \text{ [V]} \\ x & \approx & 2{,}8 \text{ V} \end{array}$$

Wanneer we de spanning meten over R_2 blijkt die slechts ca 1,6 V te bedragen. Het resultaat van de berekening wordt beïnvloed door de parallel aan R_2 aangesloten weerstand R_3. R_2 en R_3 samen hebben een vervangingsweerstand die kleiner moet zijn dan de kleinste weerstand van beide. Door de parallelschakeling van de weerstanden is het totale geleidingsvermogen verhoogd. De vervangingsweerstand kunnen we berekenen met behulp van de tweede wet van Kirchhoff (2):

$$R_{tot} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \text{ [}\Omega\text{]}$$

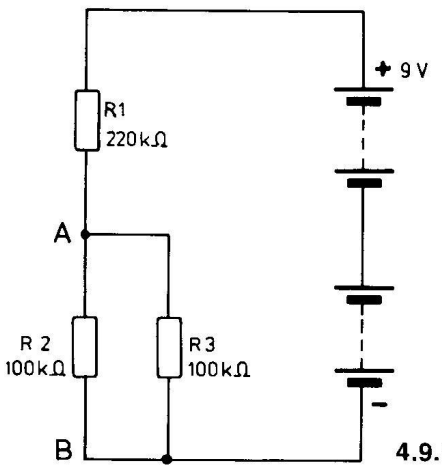
$$R_{tot} = \frac{100 \cdot 100}{100 + 100} \text{ [k}\Omega\text{]}$$

$$= 50 \text{ k}\Omega$$

Bij de berekening van de spanningsdeler moeten we de waarde van R_2 dus op 50 kΩ stellen, de vervangingsweerstand van de twee parallel geschakelde weerstanden:

$$\begin{array}{lll} U_{tot} : U_{2/3} & = & R_{tot} : R_{2/3} \\ 9 : x & = & 270 : 50 \text{ [V]} \\ x & \approx & 1{,}6 \text{ V} \end{array}$$

Meetgegevens en theoretische waarde stemmen dus overeen.



4.9.1.4

4.9.1.5. Laagohmige spanningsdeler

Laagohmige spanningsdelers zijn niet zo afhankelijk van belastingen als hoogohmige. Hoe meer stroom er van de spanningsdeler wordt afgenomen des te laagohmiger hij moet zijn. Anders zou de afgenomen spanning kunnen dalen.
In tegenstelling tot de hoogohmige spanningsdeler (zie 4.9.1.4) gebruiken we hier voor $R_1 = 22\ k\Omega$ en voor $R_2 = 10\ k\Omega$. Hieruit kunnen we aan de hand van formule (1) de deelspanning berekenen.

$$\begin{array}{lll} U_{tot} : U_2 & = & R_{tot} : R_2 \\ 9 \quad : x & = & 32 : 10\ [V] \\ \quad x & \approx & 2{,}8\ V \end{array}$$

We zien hier dus dezelfde spanningsdeling als bij hoogohmige weerstanden (zie 4.9.1.4). De formule zegt ook dat de spanningsdeling wordt bepaald door de verhouding van de weerstanden en niet door hun grootte.
Schakelen we nu parallel aan R_2 weer een weerstand van 100 kΩ dan kunnen we met behulp van formule (2) de vervangingsweerstand berekenen van R_2 en R_3

$$R_{tot} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$$

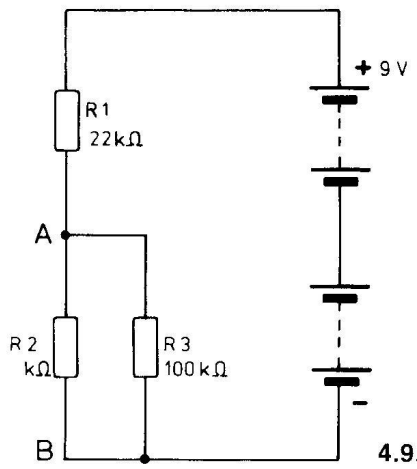
$$R_{tot} = \frac{10 \cdot 100}{10 + 100}\ [k\Omega]$$

$$R_{tot} \approx 9\ k\Omega$$

Nemen we deze waarde op in formule (1) dan kunnen we de werkelijke spanning over R_2 als volgt berekenen:

$$\begin{array}{lll} R_{tot} : R_{23} & = & U_{tot} : U_{2/3} \\ 31 \quad : 9 & = & 9 : x\ [V] \\ \quad x & \approx & 2{,}6\ V \end{array}$$

Wanneer we de berekende spanningen (2,8 V en 2,6 V) met elkaar vergelijken zien we dat er een relatief kleine verschuiving heeft plaatsgevonden. De afwijking is in elk geval veel kleiner dan bij de hoogohmige spanningsdeler (1,6 V). Men zegt dan ook: hoe laagohmiger de spanningsdeler, hoe minder afhankelijk van belastingen de afgenomen spanning is.



4.9.1.5

4.9.1.6. Weerstandsnetwerken

In schakelingen zijn weerstanden vaak parallel of in serie geschakeld, soms zelfs allebei tegelijk. De diverse optredende spanningen moeten worden berekend om te voorkomen dat de schakeling niet goed functioneert.
Schakeling 4.9.1.6 bestaat uit 2 spanningsdelers waarvan de tweede parallel aan een deelweerstand van de eerste is aangesloten: R_1/R_2 delen de totaalspanning (bedrijfsspanning). R_3/R_4 delen bovendien de spanning over R_2.
Voor R_2, R_3 en R_4 kunnen we de vervangingsweerstand R_2' berekenen met behulp van formule (2):

$$R_2' \quad \frac{R_2 \cdot (R_3 + R_4)}{R_2 + R_3 + R_4}$$

$$R_2' = \frac{22 \cdot (100 + 220)}{22 + 100 + 220} \text{ [k}\Omega\text{]}$$

$$R_2' \approx 20{,}6 \text{ k}\Omega$$

Deze waarde wordt toegepast in plaats van R_2 en daarmee berekenen we de spanningswaarden volgens formule (1):

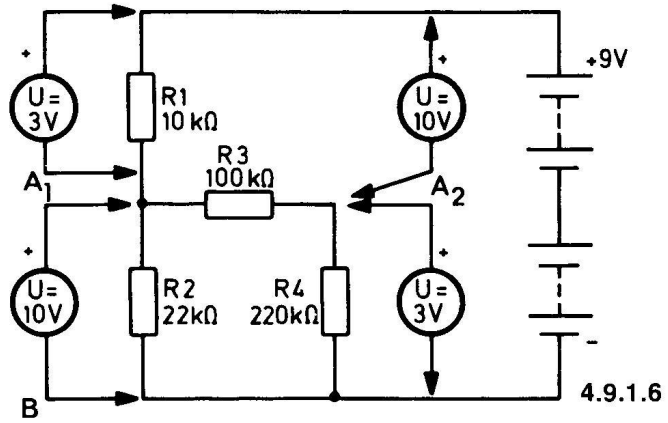
$$U_{tot} : U_2 = R_{tot} : R_2'$$
$$9 : x = 30{,}6 : 20{,}6 \text{ [V]}$$
$$x = 6{,}1 \text{ V}$$

Deze spanning staat ook over spanningsdeler R_3/R_4 en wordt verder gedeeld met behulp van formule (1):

$$U_{tot} : U_4 = R_{tot.} : R_4$$
$$6{,}1 : x = 320 : 220 \text{ [V]}$$
$$x = 4{,}2 \text{ V}$$

Over weerstand R_4 staat 4,2 V. Dan staat er over R_3
$6{,}1 \text{ V} - 4{,}2 \text{ V} = 1{,}9 \text{ V}$

Door deze spanningen te meten overtuigen we ons ervan dat de waarden kloppen. We gaan hierbij als volgt te werk: we verbinden de minpool van het meetinstrument met punt B van de schakeling, de pluspool vervolgens met punt A_1. Nu meten we de spanning over R_2. Daarna verbinden we de pluspool van het toestel met punt A_2 en lezen de spanning over R_4 af. Als er afwijkingen voorkomen die hoger zijn dan de tolerantie van de onderdelen is er een fout gemaakt bij de montage van de schakeling. Het kan ook veroorzaakt worden door oude weerstanden. Door oververhitting kan hun waarde aanzienlijk stijgen. Het onderdeel moet dan vervangen worden.



4.9.1.7. Metingen aan dioden

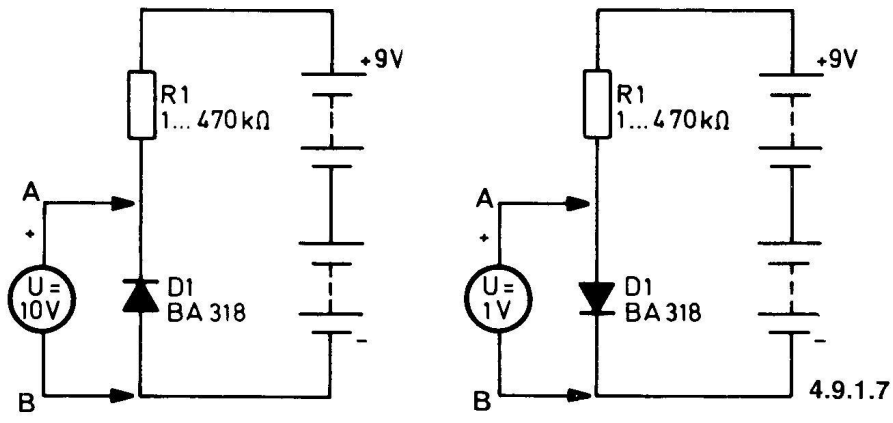
Deze meting leert ons iets over de functie van een diode. De diode is met een voorschakelweerstand in een stroomkring geschakeld en we meten de spanning over die diode. We sluiten de minpool van de FET-voltmeter 4.9.1. aan op punt B en de pluspool op A.

1e meting: U = 9 V; R_1 = 1 kΩ; meetgebied 10 V.
Over de diode meten we de volle bedrijfsspanning.

2e meting: U = 9 V; R_1 = 470 kΩ; meetgebied 10 V.
Het meetinstrument geeft weer de volle bedrijfsspanning aan. Er is dus geen sprake van spanningsdeling. De diode fungeert als een zeer hoge weerstand en is in sperrichting geschakeld.

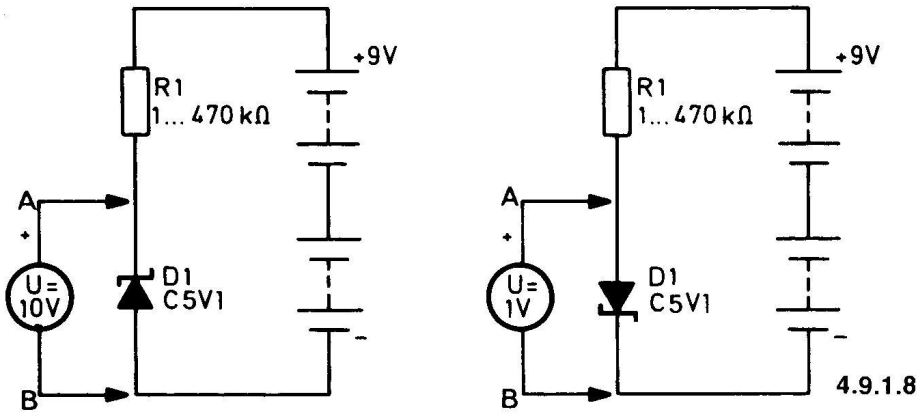
3e meting: U = 9 V; R_1 = 1 kΩ; meetgebied 1 V.
De diode omkeren. Minpool van het meetinstrument verbinden met punt B, de pluspool met A.
Het instrument geeft een waarde aan tussen 0,5 V en 0,8 V.

4e meting: in de voorgaande schakeling wordt de weerstand R_1 = 1 kΩ vervangen door een weerstand van 470 kΩ.
Het instrument geeft ongeveer 0,5 V aan. De diode is in doorlaatrichting geschakeld en heeft dan een lage eigen weerstand. De waarde is niet constant, maar wordt bepaald door de stroom die er doorheen loopt. Daarom verandert de spanning over de diode in doorlaatrichting nauwelijks. Een belangrijke verandering van de weerstandswaarde van R_1 verandert de spanning nauwelijks zoals blijkt uit de metingen 3 en 4. Een diode kan dus gebruikt worden om spanning constant te houden.



4.9.1.8. Metingen aan een zener-diode

Zener-dioden zijn onderdelen die speciaal ontwikkeld werden om spanningen constant te houden. Hun functie zullen we onderzoeken in de volgende meetschakeling.
De zener-diode is in sperrichting opgenomen in een stroomkring, met R_1 = 1 kΩ in serie geschakeld. Sluiten we nu het meetinstrument – meetgebied 10 V – aan over de zener-diode (punten A en B) dan geeft dit 5,1 V aan. Vervangen we R_1 door een weerstand van 470 kΩ dan meten we weer ca 5,1 V. De spanning over de diode is dus constant ca 5,1 V, onafhankelijk van de grote verandering in weerstandswaarde. Deze constante spanning wordt op een heel andere manier bereikt dan bij een gewone diode (zie 4.9.1.7). De zener-diode is namelijk in sperrichting geschakeld terwijl bij de gewone diode dit effect alleen voorkomt wanneer hij in doorlaatrichting is geschakeld. Bij de hier gebruikte zener-diode wordt de blokkerende werking bij ca 5,1 V opgeheven zodat er een stroom gaat lopen. Als we deze stroom met behulp van voorschakelweerstanden binnen toelaatbare grenzen houden kunnen we door het **gecontroleerde doorslagproces** een constante spanning over de zener-diode laten ontstaan. Natuurlijk kan een zener-diode ook in doorlaatrichting worden geschakeld. Wanneer we de diode omkeren en de spanning meten die er over staat krijgen we een waarde tussen 0,6 en 0,8 V. In doorlaatrichting functioneert een zener-diode dus net als een gewone diode.

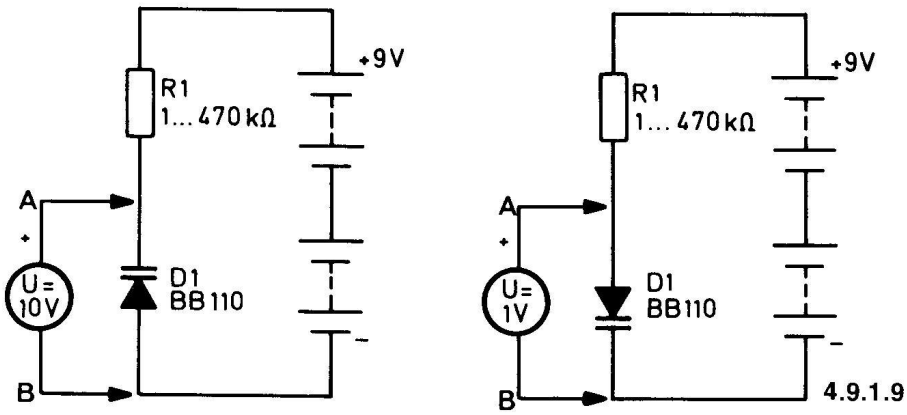


4.9.1.9. Metingen aan de capaciteitsdiode

Een capaciteitsdiode is een bijzonder soort halfgeleiderdiode. De werking ervan is hetzelfde als van een normale diode zoals uit de hierna volgende meetschakeling blijkt.
De capaciteitsdiode wordt samen met een weerstand in een stroomkring opgenomen. De spanning over de diode wordt gemeten.

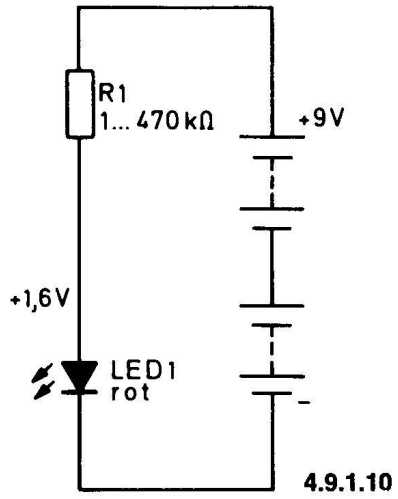
1e meting: R_1 = 1 kΩ, D_1 in sperrichting (kathode aan punt A, batterijspanning 9 V).
De meter geeft de volle bedrijfsspanning aan. Weerstand R_1 = 1 kΩ wordt vervangen door 470 kΩ. Nu staat er over de capaciteitsdiode weer de volle bedrijfsspanning. De diode is in sperrichting geschakeld en fungeert daarom als een hoge weerstand. R_1 en D_1 kunnen we beschouwen als een spanningsdeler waarbij de diodeweerstand extreem hoog is.

2e meting: de capaciteitsdiode wordt in doorlaatrichting geschakeld. Dit gaat als volgt in zijn werk: we keren de diode om zodat de kathode aan punt B ligt en de anode aan A. We meten de spanning over de capaciteitsdiode eerst met een weerstand R_1 = 1 kΩ in serie en dan met een weerstand van 470 kΩ. Het meetgebied stellen we in op 1 volt. In beide gevallen geeft de meter ca 0,7 V aan. De capaciteitsdiode werkt als een normale diode wanneer hij in doorlaatrichting geschakeld is. In de spanningsdeler met R_1 daalt de spanning over de diode dan ook in geringe mate.



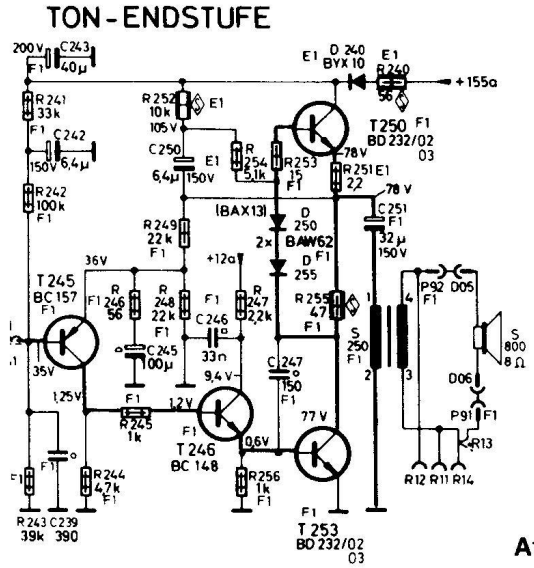
4.9.1.10. Metingen aan de lichtgevende diode

Lichtgevende dioden zijn halfgeleiderelementen die net zo werken als normale dioden en bovendien licht uitstralen als ze in doorlaatrichting geschakeld zijn. In de hierna volgende metingen wordt het verband aangegeven tussen lichtsterkte en spanning.
In het schakelschema is het symbool van het meetinstrument weggelaten, alleen de spanning is nog aangegeven. De aangegeven spanning is altijd ten opzichte van de minpool van de batterij.
De lichtgevende diode is in doorlaatrichting, met een voorschakelweerstand in serie, in een stroomkring opgenomen. R_1 en de weerstandswaarde van de lichtgevende diode vormen een spanningsdeler. De bedrijfsspanning wordt altijd zodanig gedeeld dat er + 1,6 V over de LED staat, ongeacht de waarde van weerstand R_1. Wanneer we de ene keer voor R_1 een weerstand van 1 kΩ gebruiken en de andere keer 470 kΩ dan verandert de spanning nauwelijks. De lichtuitstraling lijkt in het geheel niet in overeenstemming met de relatief constante spanning over de lichtgevende diode. Door de verschillende waarden van weerstand R_1 is de stroom die door de LED loopt ook niet steeds even groot. De lichtuitstraling is afhankelijk van de stroomsterkte, niet van de spanning. Bij 470 kΩ is de stroom zo zwak dat de LED niet meer brandt.



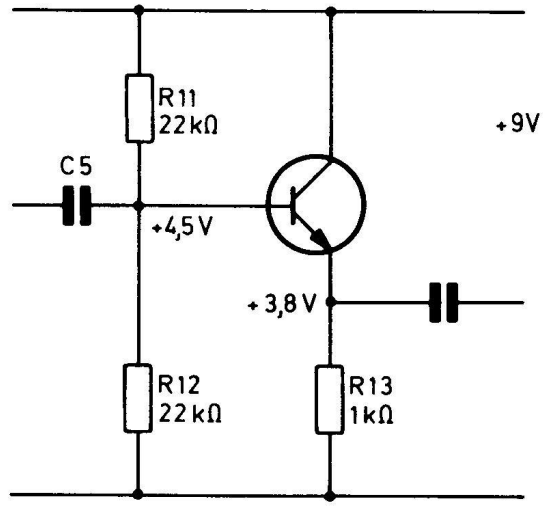
4.9.1.11. Het aangeven van spanningen in schakelschema's

Tegenwoordig worden bij veel elektronische apparaten schakelschema's bijgevoegd voor service en dus voor eventuele reparaties. Om het opsporen van storingen te vergemakkelijken worden op bepaalde punten spanningswaarden aangegeven. Afb. 4.3. toont een gedeelte van zo'n schakelschema.



Afb. 4.3

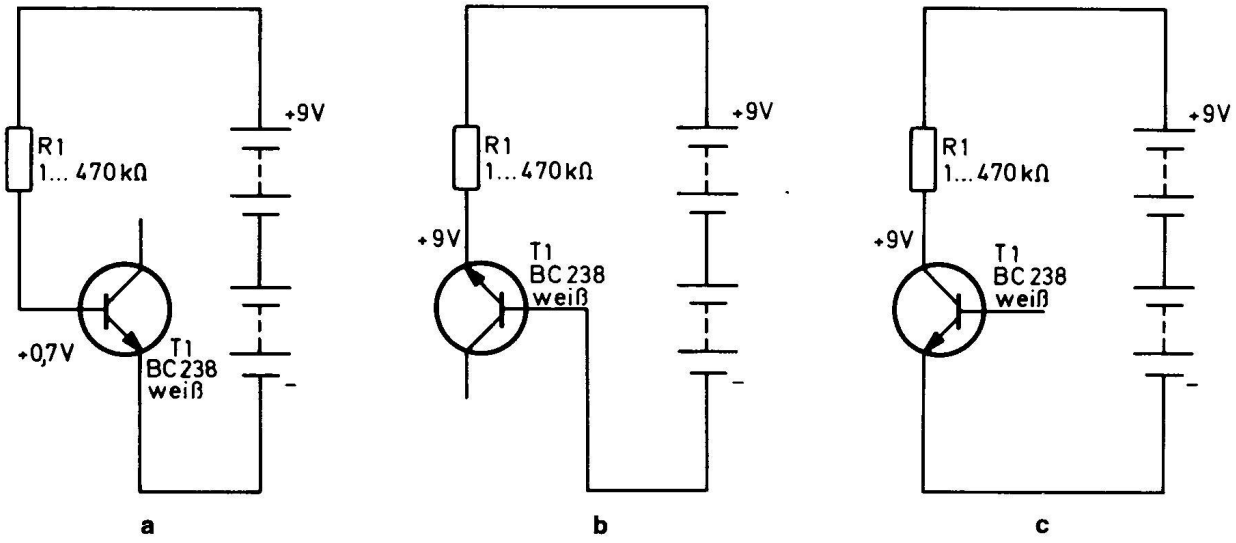
We bouwen eerst schakeling 4.9.1.11 en sluiten die aan op de bedrijfsspanning. Om de aangegeven waarden te kunnen nameten verbinden we de min van het meetinstrument met het aardpotentiaal. Tenzij anders vermeld is dit nul of massa (minpool van batterij). Met een verbindingskabel aan de pluspool van het meetinstrument ,,tasten" we de meetpunten af waarbij goed rekening moet worden gehouden met het juiste meetgebied. De aangegeven spanning moet dus binnen dit gebied liggen. Als de gemeten waarde afwijkt van de aangegeven waarde kan zich op die plaats een defect bevinden dat kan worden veroorzaakt door beschadigde onderdelen of door een fout bij de constructie. Het defect wordt dus door het nameten van de aangegeven waarden ingesloten. Bij hoogohmige spanningsdelers die b.v. worden toegepast voor het verkrijgen van de basisvoorspanning van transistors, is de inwendige weerstand van het meetinstrument zeer belangrijk (zie 2.3.2). Daarom vinden we in de schakelschema's van elektronische apparaten meestal ook gegevens betreffende de meetinstrumenten die gebruikt moeten worden.



4.9.11

4.9.1.12. Metingen aan transistors

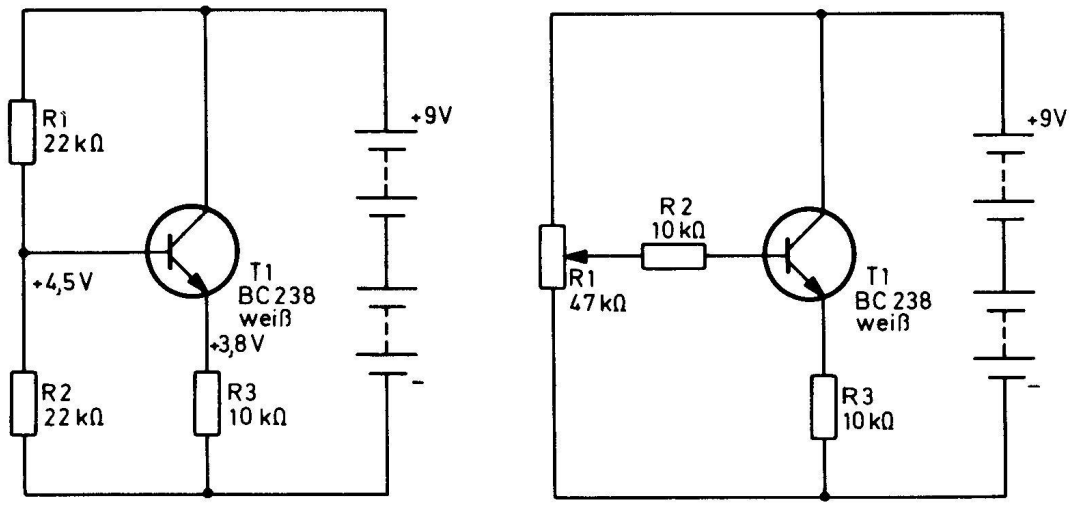
Defecten en storingen aan transistors kunnen reeds met behulp van eenvoudige metingen worden opgespoord.
In schakeling a is de basis-emitterleiding van een transistor samen met een serieweerstand in een stroomkring opgenomen. De collector wordt niet aangesloten.
Wanneer we R_1 = 1 kΩ kiezen geeft de meter 0,7 V aan over emitter en basis. Vervangen we de weerstand door een weerstand van 470 kΩ dan verandert die spanning niet.
De basis-emitterleiding gedraagt zich als een diode die in doorlaatrichting is geschakeld (zie afb. 4.9.1.7). In schakeling b is de basis-emitterovergang, de emitterdiode van de transistor, in sperrichting met een serieweerstand aangesloten. Wanneer we voor R_1 = 1 kΩ kiezen staat er op de emitter de volle bedrijfsspanning, zoals de meter aangeeft. Vervangen we R_1 door een weerstand van 470 kΩ dan blijft op de emitter de volle bedrijfsspanning staan. Het is mogelijk dat bij deze meting blijkt dat er onder bepaalde omstandigheden tussen emitter en basis van de transistor een geringere spanning staat. De doorslagspanning van de emitterdiode is dan overschreden en nu gedraagt hij zich als een zener-diode (zie afb. 4.9.1.8). Wanneer de spanning echter daalt tot beneden 4 volt dan is er geen sprake van een zener-effect en is de transistor defect.
Een derde mogelijkheid voor het meten van een transistor is aangegeven in schakeling c. Een transistor is met een serieweerstand in een stroomkring opgenomen. Gemeten wordt hier aan de emitter-collectorleiding bij niet aangesloten basis.
De meter geeft steeds de volle bedrijfsspanning aan, onverschillig of R_1 nu 1 kΩ of 470 kΩ is. De transistor fungeert als een zeer hoge weerstand en omdat zijn basis niet aangesloten is kan hij ook niet geleidend worden. Wanneer de meetresultaten afwijken van de aangegeven waarden is de transistor defect.



4.9.1.12

4.9.1.13. Het meten aan een transistortrap in collector-basisschakeling

Schakeling a is een emittervolger (transistor in collector-basisschakeling). De basisvoorspanning wordt verkregen via spanningsdeler R_1/R_2. R_3 fungeert als emitterweerstand.
Daar de spanningsdeler bestaat uit twee weerstanden van gelijke grootte ($R_1 = R_2 = 22\ k\Omega$) wordt de bedrijfsspanning gedeeld in een verhouding van 1 : 1 zodat er op de basis 4,5 V staat. De transistor geleidt. De stroom die er doorheen loopt veroorzaakt over emitter-weerstand R_3 een spanningsverlies, in dit geval 3,8 V. De spanning op de emitter is dus 3,8 V ten opzichte van de 0 (minpool van de batterij). Het spanningsverschil tussen basis en emitter bedraagt $4,5 - 3,8 = 0,7$ V. Wanneer de metingen ditzelfde resultaat opleveren is de transistor naar alle waarschijnlijkheid in orde.
In schakeling b vervangen we de spanningsdeler, bestaande uit twee weerstanden, door een potentiomter $R_1 = 47\ k\Omega$ waardoor het mogelijk wordt de basisspanning te variëren en zo het gedrag van de transistor te onderzoeken. In de basisleiding is $R_2 = 10\ k\Omega$ opgenomen. Hierdoor voorkomen we dat de volle bedrijfsspanning op de basis kan komen als het middencontact van de potentiometer aan + 9 V ligt. Het meetinstrument is tussen basis (+) en emitter (–) geschakeld.
Wanneer we de basisspanning vanaf 0 volt gaan verhogen loopt er na het overschrijden van de drempelspanning een stroom. Hierdoor verandert de spanning op de emitter, maar het verschil van 0,7 V tussen basis en emitter blijft gelijk.



a b

4.9.1.13

4.9.1.14. Het meten aan een emitter-basisschakeling

In afb. 4.9.1.14. zien we een normale versterkertrap. R_1/R_2 fungeert als spanningsdeler voor het verkrijgen van de basisspanning. R_3 fungeert als collectorweerstand en R_4 als stabilisatieweerstand in de emitterleiding. Door de eerder genoemde spanningsdeler staat er op de basis 1,8 V. Op de emitter staat dan 1,8 – 0,7 = 1,1 V.
Deze spanning ontstaat over de emitterweerstand R_4 = 1 kΩ. Door deze weerstand vloeit een stroom die we kunnen berekenen met behulp van de wet van Ohm:

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

$$I = \frac{1{,}1}{1000}\ [A]$$

$$I = 0{,}0011\ A$$

$$I = 1{,}1\ mA$$

Deze stroom, verminderd met de basisstroom, loopt ook in de collectorleiding. Daar de basisstroom zeer gering is kunnen we hem bij verdere berekeningen verwaarlozen.
Over collectorweerstand R_3 ontstaat dan een spanning van ca 5 V (wet van Ohm). Tussen emitter en collector van de transistor staat dan nog

$$9 - 5 - 1{,}1 = 2{,}9\ V.$$

Wanneer de gemeten spanningen erg afwijken van de aangegeven waarden is de transistor beschadigd of defect.
Een verandering van de basisspanning die we b.v. kunnen bewerkstelligen door een andere weerstandsverhouding van de spanningsdeler, verschuift de gemeten waarden natuurlijk. Een hogere basisspanning verhoogt ook de emitterspanning zoals blijkt uit de navolgende berekening:

Basisvoorspanning	= 2,0 V
Spanning tussen basis-emitter	= 0,7 V
Spanning op de emitter	= 2,0 – 0,7 = 1,3 V

Dan bedraagt de stroom door R_4 volgens de wet van Ohm:

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

$$I = \frac{1{,}3}{1}\ [mA]$$

$$I = 1{,}3\ mA$$

Over R_3 = 4,7 kΩ valt dan, eveneens volgens de wet van Ohm, een spanning van:

$$U = I \cdot R$$

$$U = 1{,}3 \cdot 4{,}7\ [V]$$

$$U \approx 6{,}1\ V$$

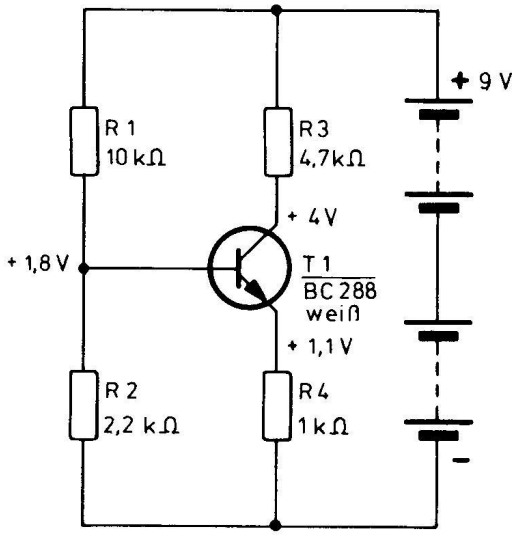
Tussen emitter en collector staat dan 9 – (6,1 + 1,3) = 1,6 V.
Wanneer we de resultaten van de eerste meting vergelijken met die van de tweede dan zien we dat de spanningen bij andere stroomsterkten verschuiven: hoe groter de stroom, hoe kleiner de collectorspanning, hoe hoger echter de emitterspanning.

4.9.1.15. Het meten aan een transistor-schakeltrap

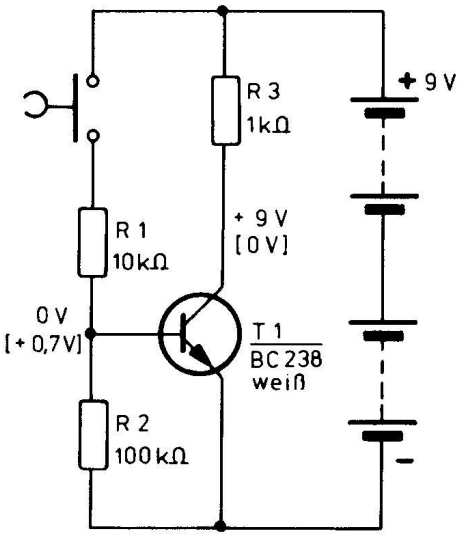
Schakeling 4.9.1.15 bevat een schakeltransistor T_1 met bijbehorende weerstanden alsook een drukschakelaar voor het inschakelen.
Wanneer de drukschakelaar geopend is krijgt de basis van de transistor geen voorspanning. Daarom geleidt deze niet en staat er op zijn collector de volle bedrijfsspanning (+ 9 V).
Wanneer we de schakelaar bedienen ontstaat er via de spanningsdeler R_1/R_2 een spanning op de basis. T_1 geleidt oftewel hij is open. De relatief hoge stroom veroorzaakt over R_3 een spanningsval die zo mogelijk in de buurt van de bedrijfsspanning moet liggen. Op de collector van de transistor staat dan nog een kleine restspanning. De grootte hiervan wordt bepaald door het type en wordt door de fabrikant opgegeven ($U_{CE\ sat}$).
Het door de transistor opgenomen vermogen (verliesvermogen) blijft ook in open toestand klein zoals blijkt uit de volgende berekening:

$$I = 10\ mA,\ U_{CE\ sat} = 0{,}8\ V$$
$$P = U \cdot I$$
$$P = 0{,}8 \cdot 0{,}01\ [W]$$
$$P = 0{,}008\ W$$

Om die reden moet de restspanning van schakeltransistors zo klein mogelijk zijn.



4.9.1.14



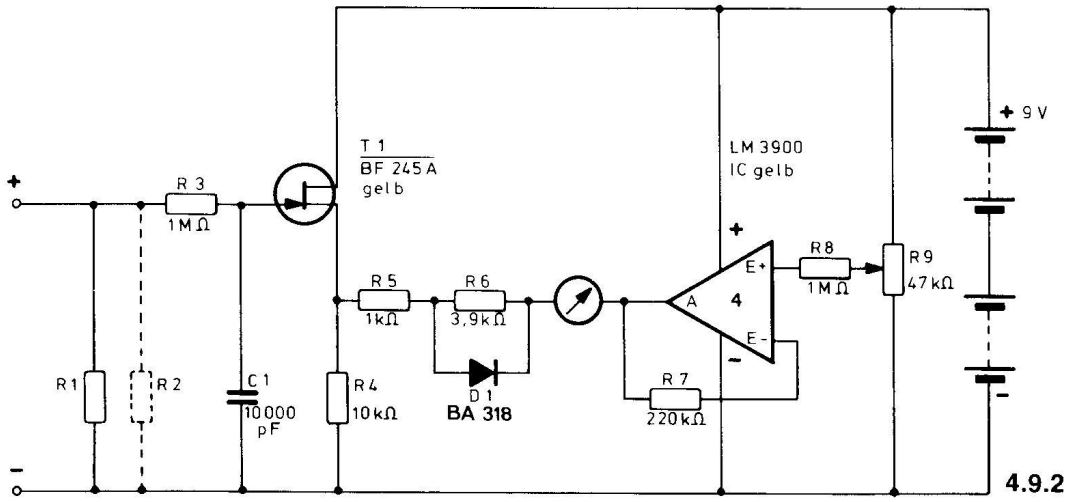
4.9.1.15

4.9.2. FET-milli-ampèremeter

Met dit instrument kunnen stroommetingen worden uitgevoerd in verschillende meetgebieden. Het meetgebied wordt bepaald door weerstand R_1 of door twee parallel geschakelde weerstanden (R_1/R_2).
Opbouw van het toestel volgens montagetekening 4.9.2.
Al naargelang het gewenste meetgebied moeten voor R_1/R_2 de volgende weerstandswaarden worden toegepast:

Meetgebied	R_1	R_2
1 mA	1 kΩ	vervalt
3 mA	1 kΩ	470 Ω
10 mA	100 Ω	vervalt
30 mA	100 Ω	47 Ω
100 mA	10 Ω	vervalt

Belangrijk: bij het meten van de stroom moet goed op de stroomrichting gelet worden anders slaat de wijzer naar de verkeerde kant uit. De met + gemerkte klem van de milli-ampèremeter moet daarom altijd aan het positieve punt in de te meten schakeling worden aangesloten.

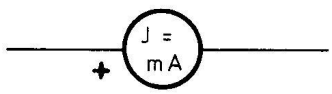


Beschrijving van de schakeling

De kern van deze schakeling wordt gevormd door de FET-voltmeter van afb. 4.9.1. Wanneer we hem zouden gebruiken als voltmeter zou hij bij 1 V al vol uitslaan. Dat betekent dat er, wanneer het instrument vol uitslaat, over de weerstanden R_1 resp. R_1/R_2 altijd een spanning van 1 V moet vallen. Dit spanningsverlies kan onder bepaalde omstandigheden een rol spelen bij de te meten schakeling. Omdat het instrument zelden helemaal uitslaat kunnen we deze waarde bij vele metingen verwaarlozen.
Het nulpunt stellen we in met potentiometer R_9.

Opmerking:

Wanneer we het instrument gebruiken voor het meten van stromen in schakelingen gebruiken we altijd dit symbool:



Het plusteken geeft de overeenkomstige klem van het instrument aan.

Stroommetingen

Bij alle stroommetingen moet het meetinstrument **in** de stroomkring worden geschakeld.
Wanneer het symbool van het meetinstrument meer dan één keer in het schakelschema voorkomt betekent dat, dat we het **een voor een** tussen deze punten moeten gebruiken. De op dat moment niet gebruikte meetpunten moeten met draadverbindingen worden overbrugd.

4.9.2.1. Het verloop van de stroom in een seriestroomkring

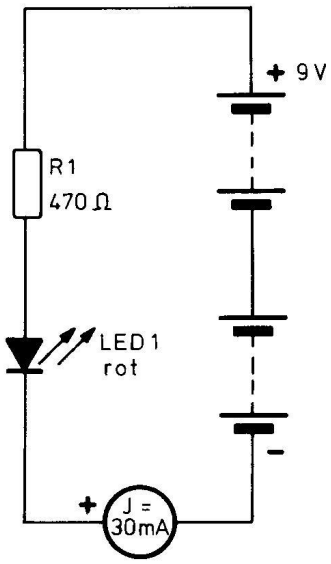
In stroomkring 4.9.2.1 zetten we het instrument achtereenvolgens in bij de met * gemerkte punten. We onderbreken de verbinding dus op de betreffende plaats in de schakeling en sluiten dan de stroommeter aan tussen de twee vrijgekomen punten. Voor deze metingen kiezen we een gebied van 30 mA. Het instrument wijst steeds ca 16 mA aan.
De meting toont aan dat door alle onderdelen dezelfde stroom loopt.

$$I_{tot} = I_1 = I_2 = I_3$$

Omdat de totale weerstand in een serieschakeling gelijk is aan de som van alle weerstanden samen ($R_{tot} = R_1 + R_2 + \ldots$), moeten we eerst R_{tot} berekenen.
Weerstand R_1 bedraagt 470 Ω.
De doorlaatweerstand (R_D) van de lichtgevende diode bedraagt ongeveer 100 Ω.
Hieruit volgt:

$$R_{tot.} = 470 + 100\ [\Omega]$$
$$R_{tot.} = 570\ \Omega$$

Bij een bedrijfsspanning van 9 V bedraagt de stroom volgens de wet van Ohm dus:



4.9.2.1

$$I = \frac{U}{R}$$
$$I = \frac{9}{570}\ [A]$$
$$I = 0{,}016\ A$$
$$I = 16\ mA$$

Opmerking:

De waarden stemmen natuurlijk alleen maar overeen wanneer de bedrijfsspanning inderdaad 9 V bedraagt.

4.9.2.2. Het verloop van de stroom in een vertakte stroomkring

In schakeling 4.9.2.2 zijn twee weerstanden met verschillende waarde parallel geschakeld.
Voor de meting aan R_1 kiezen we een gebied van 10 mA en voor de meting aan R_2 een gebied van 1 mA.
Bij een bedrijfsspanning van 9 V kunnen we de volgende meetresultaten berekenen:

1e meting voor $R_1 = 9$ mA
2e meting voor $R_2 = 0{,}9$ mA

Volgens een der wetten van Kirchhoff wordt de totale stroom gevormd door de som van de deelstromen:

$$I_{tot.} = I_1 + I_2 + \ldots$$

Volgens de wet van Ohm bedraagt de stroom in de twee takken:

door R_1: $I_1 = \frac{U}{R_1}$

$$I_1 = \frac{9}{1000}\ [A]$$

$$I = 0{,}009\ A$$

$$I_1 = 9\ mA$$

door R_2: $I_2 = \frac{U}{R_2}$

$$I_2 = \frac{9}{10000}\ [A]$$

$$I_2 = 0{,}0009\ A$$

$$I_2 = 0{,}9\ mA$$

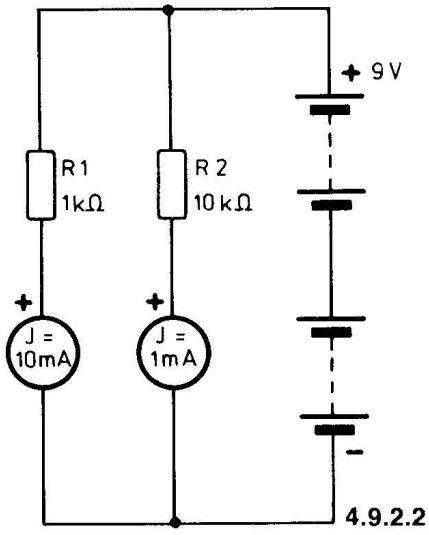
De totale stroom bedraagt dan:

$$I_{tot} = I_1 + I_2$$

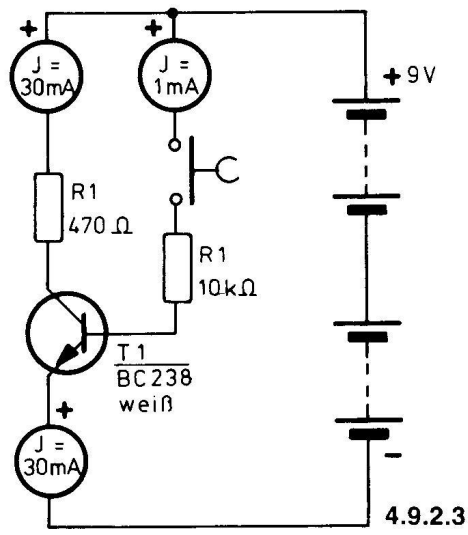
$$I_{tot} = 9 \cdot 0{,}9\ [mA]$$

$$I_{tot} = 9{,}9\ mA$$

Deze waarde kan met het instrument worden gemeten door het op de aangegeven plaats (*) in de hoofdstroomkring te schakelen.



4.9.2.2



4.9.2.3

4.9.2.3. Het verloop van de stroom in een transistorschakeling

In transistorschakeling 4.9.2.3 kunnen de verschillende stromen, de basisstroom enerzijds en de stroom in de collector-emitterleiding anderzijds, worden gemeten.
Voor de basisstroomkring kiezen we een gebied van 1 mA en voor de collector-emitterstromen een gebied van 30 mA.
Uit metingen bij geopende schakelaar blijkt dat er noch een bassisstroom, noch een collector- resp. emitterstroom loopt. De transistor is niet-geleidend omdat zijn basis niet gestuurd wordt.
Pas wanneer de schakelaar is gesloten kan met behulp van het meetinstrument een stroom worden aangetoond.

1e meting – basisstroom:	ca 0,8 mA
2e meting – collectorstroom:	ca 18 mA
3e meting – emitterstroom:	ca 18,8 mA

Doordat er tussen basis en emitter van de transistor altijd een spanningsverlies optreedt van 0,7 V staat er over weerstand R_1

$$9 - 0{,}7 = 8{,}3 \text{ V}$$

De basisstroom is:

$$I_B = \frac{U}{R_1}$$

$$I_B = \frac{8{,}3}{10000} \text{ [A]}$$

$$I_B = 0{,}00083 \text{ A}$$

$$I_B = 0{,}83 \text{ mA}$$

en de collectorstroom (na aftrek van de restspanning tussen collector-emitter):

$$I_C = \frac{U}{R_2}$$

$$I_C = \frac{8{,}3}{470} \text{ [A]}$$

$$I_C = 0{,}018 \text{ A}$$

$$I_C = 18 \text{ mA}$$

Omdat de restspanning tussen collector-emitter vaak verschilt (tolerantie van de transistors) kunnen ook de meetresultaten verschillen.
Als we de emitterstroom berekenen volgens

$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_E = 18{,}8 \text{ mA}$$

zien we dat er een iets grotere stroom loopt die echter nauwelijks kan worden aangetoond met het meetinstrument.
In deze schakeling werkt deze transistor als schakeltransistor met een stroomversterking B van:

$$B = \frac{I_C}{I_B}$$

$$B = \frac{18}{0{,}8}$$

$$B \approx 23$$

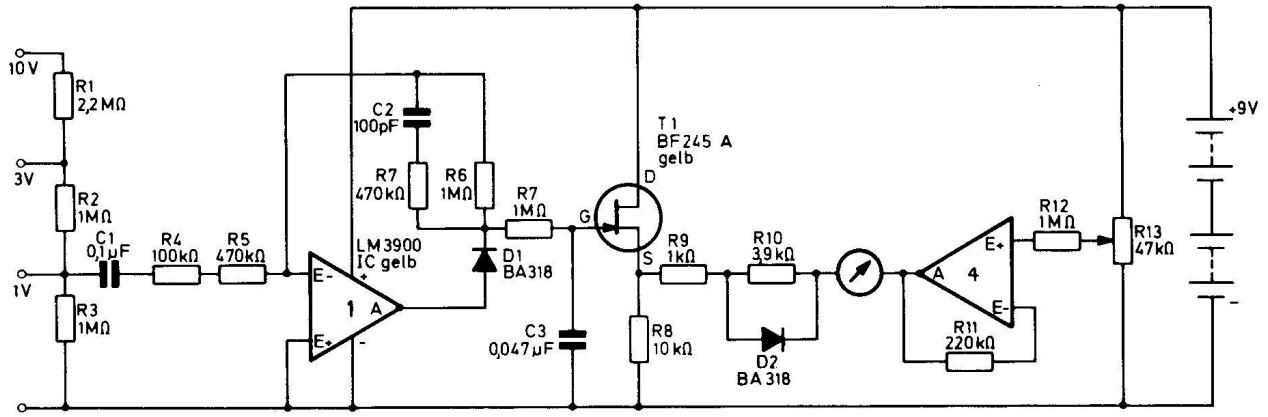
De collectorstroom is dus 23 × groter dan de basisstroom.

Wisselspanningen

Met het tot dusver beschreven meetinstrument kunnen alleen maar gelijkspanningen worden gemeten. Bij wisselspanningen zou de wijzer van het instrument het verloop van de spanning willen volgen en dientengevolge steeds rond het nulpunt blijven schommelen. Reeds bij frequenties van 20 Hz is de traagheid van de wijzer zó groot dat hij het verloop van de spanning niet meer kan volgen.

4.9.3. Apparaat voor het meten van wisselspanningen

Met dit apparaat kunnen signalen worden gemeten met een sinus- of rechthoekige vorm. Rechthoekspanningen moeten echter een pulsverhouding hebben van 1 : 1.
Opbouw van het toestel volgens montagetekening 4.9.3.



Beschrijving van de schakeling: **4.9.3**

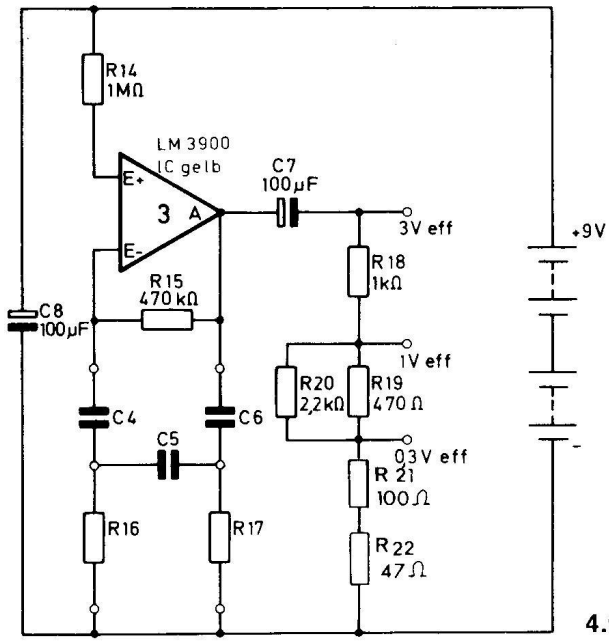
Het wisselspanningsmeetapparaat bevat een gelijkrichtergedeelte en de daarachtergeschakelde FET-voltmeter volgens afb. 4.9.1.
Een wisselspanning bereikt via C_1, R_4 en R_5 ingang E– van OP 1. De weerstanden R_1, R_2 en R_3 vormen de ingangsspanningsdeler en dienen voor het kiezen van het meetgebied. In de uitgangsleiding van OP 1 én tegelijkertijd in zijn tegenkoppelleiding is diode D_1 opgenomen die een dubbele functie heeft.
De diode zorgt voor het gelijkrichten van het wisselspanningssignaal. Omdat een diode zich bij gelijkrichting niet lineair gedraagt wordt bij lage spanningen maar een klein gedeelte via de tegenkoppelingstak terug naar ingang E– gevoerd; bij grotere spanningen daarentegen wordt relatief sterk tegengekoppeld. Hierdoor verschijnt er aan de ingang van de FET-voltmeter een signaal waarvan het gelijkspanningsgedeelte in lineaire verhouding staat tot de ingangswisselspanning.
Met R_7 en C_3 wordt de spanning gefilterd en daarna toegevoerd aan het aanwijsgedeelte.
Dit meetinstrument geeft niet het verschil aan tussen de grootste positieve en de hoogste negatieve waarde van de wisselspanning. Deze grootheid noemen we U_{tt}; dat betekent top tot top spanning. Het instrument geeft de effectieve waarde aan die algemeen gebruikt wordt. Deze waarde wordt afgekort tot U_{eff}. We kunnen U_{tt} berekenen door U_{eff} met $2 \cdot \sqrt{2}$ te vermenigvuldigen.
Met dit toestel kunnen metingen worden verricht aan alle toestellen van de EE-serie mits deze binnen een frequentiegebied van 30 Hz tot 10 kHz vallen. Ook LF-versterkers vallen hieronder.

4.9.3.1. Signaalgever

Voor het opsporen van defecten in versterkerschakelingen hebben we een ingangssignaal nodig dat in de versterker op verschillende meetpunten kan worden gevolgd.
Met deze generator kunnen rechthoeksignalen met frequenties tussen 50 Hz en 10 kHz worden opgewekt. De uitgangsspanning bedraagt naar keuze 0,3 V_{eff}, 1 V_{eff} of 3 V_{eff}.
Opbouw van het toestel volgens montagetekening 4.9.3.1.
Omdat deze generator meestal tegelijk met het meetinstrument voor wisselspanningen volgens afb. 4.9.3 wordt gebruikt bouwen we hem samen met dat instrument op één montageplaat. Ter controle kunnen we tussen 0 en uitgang 0,3 V_{eff} een luidspreker aansluiten. Wanneer we het toestel inschakelen moet er een aanhoudende toon weerklinken. Zo niet, dan onmiddellijk het toestel uitschakelen en het defect opsporen.

Beschrijving van de schakeling:

De toongenerator bestaat uit een operationele versterker OP 3 met een tegenkoppelingsweerstand R_{15} waarmee tesamen met R_{14} het werkpunt van OP 3 wordt ingesteld. Parallel over R_{15} zijn de frequentiebepalende elementen R_{16}, R_{17}, C_4, C_5 en C_6 gemonteerd waarmee het frequentiegebied vast is ingesteld. Het frequentiegebied kan worden veranderd door het vervangen van één of meer onderdelen zoals blijkt uit de volgende tabel:



4.9.3.1

Frequentie (Hz)	R_{16}	R_{17}
250	47 kΩ	22 kΩ
500	15 kΩ	10 kΩ
1 000	1,5 kΩ	10 kΩ
2 500	1,5 kΩ	470 Ω
5 000	470 Ω	100 Ω
10 000	100 Ω	1500 Ω

C_5 C_6 elk 10.000 pF
C_4 10.000 pF (bij 10.000 Hz – 1000 pF)

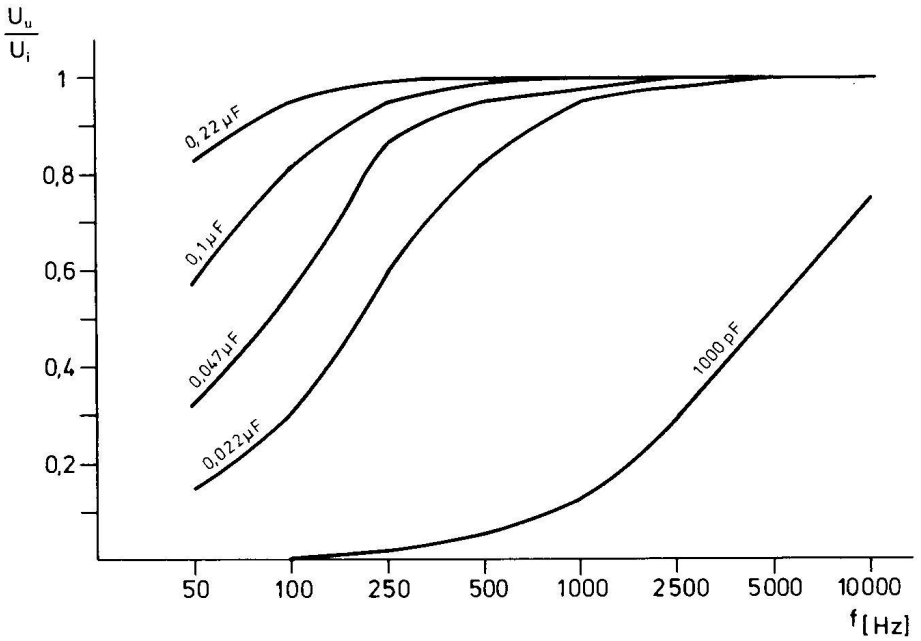
Met deze signaalgever kunnen de spanningsverhoudingen in versterkerschakelingen worden vastgesteld. Met de bekende ingangsspanning – 0,3 V_{eff} of 1 V_{eff} of 3 V_{eff} – kunnen de spanningen in de verschillende versterkertrappen alsook aan de uitgang worden gemeten. Op deze manier kunnen we heel snel vaststellen of een versterkertrap goed werkt.
Of een versterker bij alle frequenties goed werkt kunnen we vaststellen door een signaal van gelijk niveau maar met verschillende frequenties aan de ingang van die versterker toe te voeren. Aan de grootte van het uitgangssignaal kunnen we dan zien bij welke frequentie de betreffende versterker het beste functioneert.

Diverse wisselspanningsmetingen

Bij verschillende schakelingen en toestellen uit de EE-series worden o.a. hoogdoorlaat- en laagdoorlaatfilters toegepast en beschreven. Met het meetinstrument (4.9.3) en de signaalgever (toestel 4.9.3.1) kan het frequentieverloop van deze schakelingen gemeten en grafisch uitgezet worden.

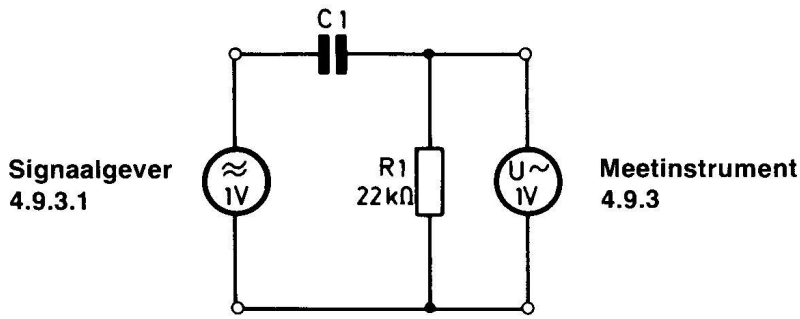
4.9.3.2. Hoogdoorlaatfilter

Een hoogdoorlaatfilter onderdrukt alle lage frequenties beneden een bepaalde frequentie en laat hogere frequenties ongehinderd passeren. Wanneer we met de signaalgever signalen met oplopende frequenties aan de ingang van het hoogdoorlaatfilter toevoeren kunnen we met het meetinstrument de resultaten vaststellen die ongeveer overeenkomen met onderstaande grafiek (afb. 4.4).



Afb. 4.4

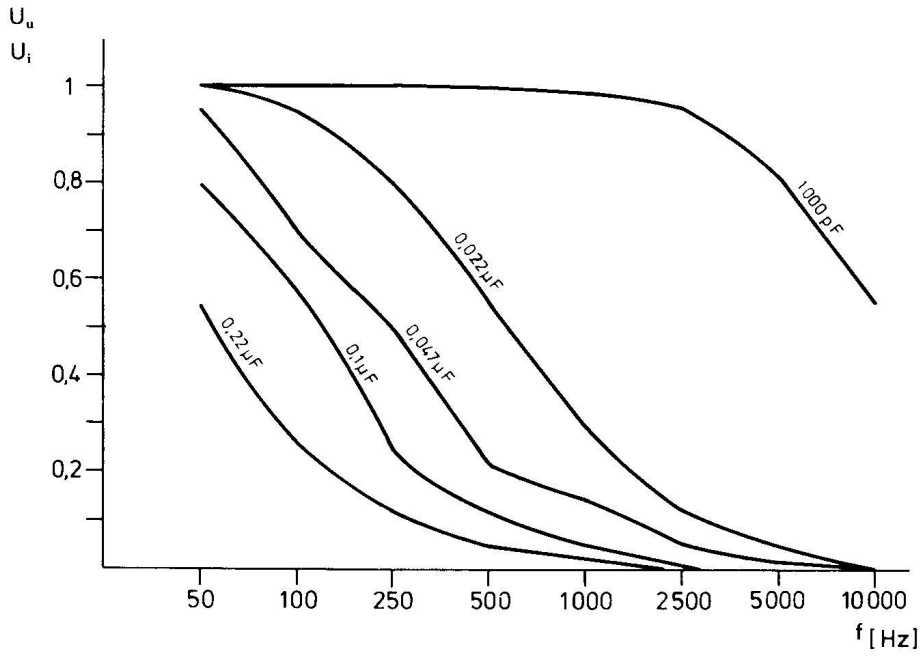
We zien duidelijk dat de verhouding tussen de uitgangsspanning en de ingangsspanning ($U_u : U_i$) bij lage frequenties bijna nul is terwijl bij toenemende frequentie de uitgangsspanning bijna tot het peil van de ingangsspanning stijgt.
Wanneer we condensator C van het hoogdoorlaatfilter vervangen door een condensator met een andere waarde dan zien we dat de curve verschuift naar de hogere frequenties naarmate de condensator kleiner is.



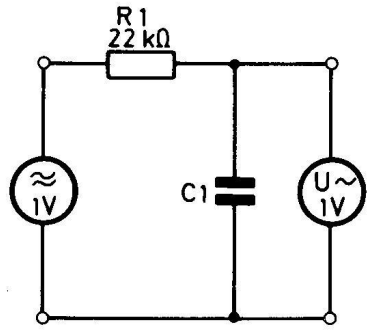
4.9.3.2

4.9.3.3. Laagdoorlaatfilter

In een laagdoorlaatfilter is spanning U_u aan de uitgang bij lage frequenties bijna net zo groot als spanning U_i aan de ingang beneden een bepaalde frequentie. Verhogen we met een generator (toestel 4.9.3.1) de ingangsfrequentie dan neemt de waarde van de wisselstroomweerstand van C_1 steeds meer af zodat er tenslotte geen spanning meer over staat. De curven verlopen dan ongeveer zoals weergegeven in onderstaande grafiek (afb. 4.5).



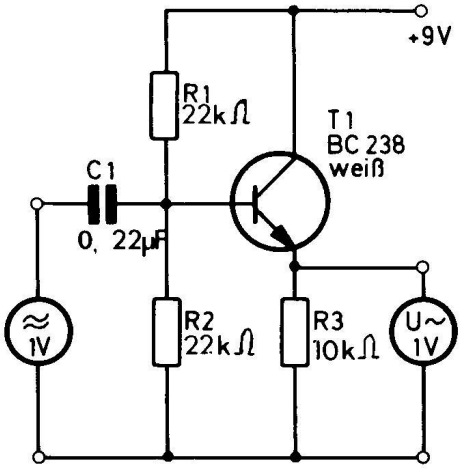
Afb. 4.5



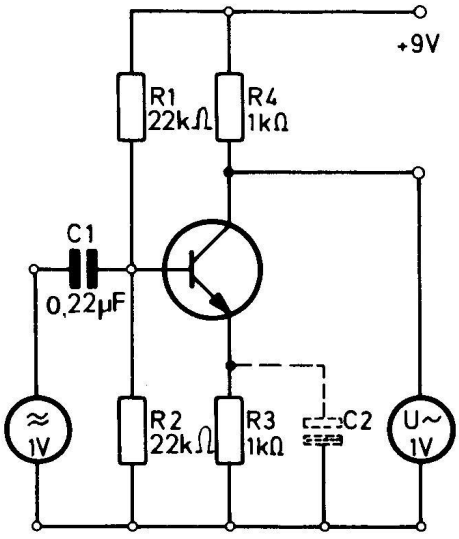
4.9.3.3

4.9.3.4. Emittervolger

Met het wisselspanningsmeetapparaat en de toongenerator kunnen ook metingen aan transistorschakelingen worden verricht. Wanneer we aan de ingang van schakeling 4.9.3.4 een wisselspanningssignaal van 1 V_{eff} toevoeren dan meten we op de uitgang – dus op de emitter van de transistor – een spanning van 1 V_{eff}. Deze spanningen zijn onafhankelijk van de frequentie van het signaal en worden alleen begrensd door het type transistor. De spanningsversterking van deze schakeling is dus 1. Zo'n emittervolger wordt ook niet gebruikt als spanningsversterker, maar als stroomversterker en impedantie-omvormer. Tegenover een hoge ingangsweerstand staat namelijk een lage uitgangsweerstand.



4.9.3.4



4.9.3.5

4.9.3.5. Emitter-basis-schakeling

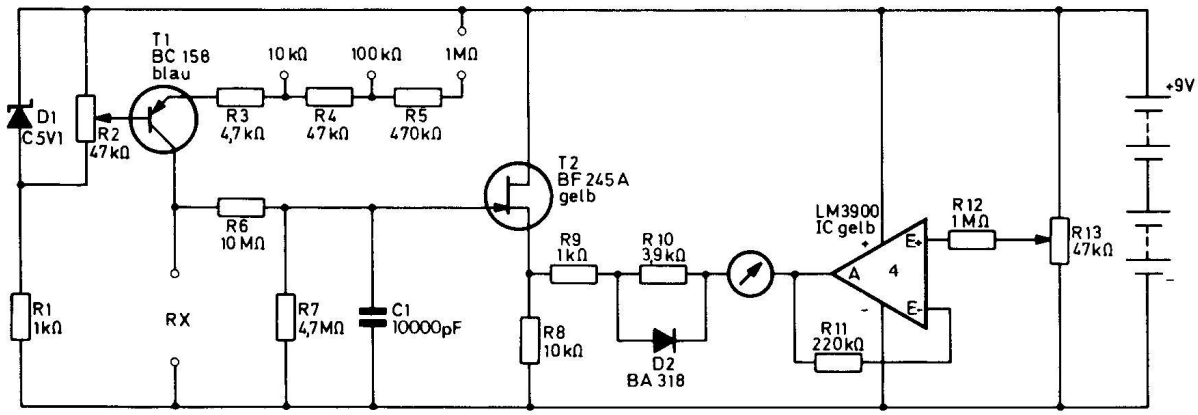
Wanneer we aan de ingang van de emitter-basis-schakeling een wisselspanning U_{eff} = 1 V toevoeren dan meten we op de collector van deze schakeling eveneens een spanning van 1 V. Voordat we condensator C_2 = 100 µF inbouwen moet de ingangsspanning worden gereduceerd tot 0,3 V_{eff} en het meetinstrument worden ingesteld op een bereik van 10 V.
De uitgangsspanning wordt aanmerkelijk hoger na het inbouwen van C_2, de versterkingsfactor stijgt dus aanzienlijk. De wisselstroomweerstand van condensator C_2 is zeer veel kleiner dan die van weerstand R_3 (1 kΩ). Daarom wordt de wisselspanning buiten R_3 omgeleid en de tegenkoppeling door de weerstand opgeheven. Wanneer we de waarde van C_2 veranderen – bij verschillende ingangsfrequenties – dan zien we dat er een verband bestaat tussen frequentie en capaciteit. Hoe kleiner C_2, hoe meer de hoge frequenties worden versterkt en de lage afgezwakt.
Ook de grootte van koppelcondensator C_1 is van belang voor de versterking van wisselspanningen van verschillende frequenties. Hoe kleiner C_1, hoe meer de hoge frequenties worden versterkt. De lage daarentegen worden afgezwakt.

4.9.5. Apparaat voor het meten van weerstanden

Met dit toestel kan de waarde van een onbekende weerstand worden vastgesteld. De te meten weerstand veroorzaakt een spanningsverandering in het apparaat die door het meetinstrument wordt aangegeven. Daar de spanningsverandering evenredig is met de weerstandswaarde kunnen na het ijken van de schaal de betreffende waarden direct worden afgelezen.
Opbouw van het toestel volgens montagetekening 4.9.5.
Om het toestel te testen maken we een verbinding tussen weerstand R_4/R_5 en + 9 V en overbruggen de met R_x gemerkte aansluitingen. Wanneer we dan aan potentiometer R_{13} draaien moet de wijzer uitslaan. Is dit niet het geval, dan onmiddellijk het toestel uitschakelen en het defect opsporen.

Het ijken van het toestel

Voor R_x een draadverbinding monteren en met potentiometer R_{13} het nulpunt instellen. Nu monteren we tussen de aansluitingen R_x een weerstand van 100 kΩ (draadverbinding verwijderen). Omdat door de verbinding R_4/R_5 met + 9 V het 100 kΩ-gebied is ingeschakeld moet potentiometer R_2 zodanig worden ingesteld dat de wijzer van het meetinstrument vol uitslaat (10 op de schaal).



4.9.5

Beschrijving van de schakeling

De basis van deze schakeling is de FET-voltmeter 4.9.1 (meetgebied 3 V) met T_2, het meetinstrument en de operationele versterker. Transistor T_1 met zener-diode D_1 vormt de voor nauwkeurige metingen noodzakelijke, constante stroombron. De gewenste spanning kan met potentiometer R_2 aan de basis van T_1 worden ingesteld. Wanneer de basisspanning vastligt is ook de emitterspanning constant.

Het gebied voor de weerstandsmeting kan worden vastgelegd door de weerstanden R_3, R_4 en R_5 naar keuze te verbinden met + 9 V.
Door deze weerstand in de emitterleiding van de transistor loopt dan een constante stroom die overeenkomt met die in de collector.

Gebied	Constante stroom
10 kΩ	300 μA
100 kΩ	30 μA
1 MΩ	3 μA

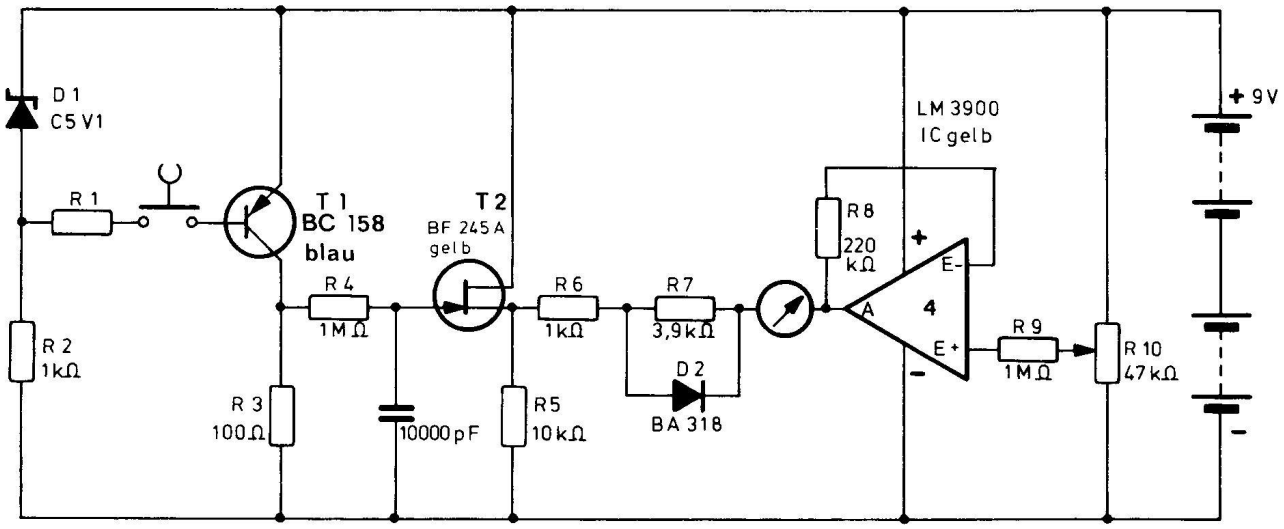
Deze stroom veroorzaakt over een onbekende weerstand tussen de aansluitingen R_x een spanningsverlies dat recht evenredig is met de waarde van de weerstand. Dit spanningsverlies wordt aangegeven door het meetinstrument. Sluiten we bij een gekozen meetgebied van 1 MΩ – R_5 aan + 9 V – tussen de aansluitingen R_x een weerstand van 470 kΩ aan dan resulteert dit volgens de wet van Ohm in:

$$U = R \cdot I$$
$$U = 470\,000 \cdot 0{,}000\,003\ [V]$$
$$U = 1{,}41\ V$$

Op de in 10 stukken verdeelde schaal van het meetinstrument wordt deze waarde aangegeven met 4,7, mits het toestel goed geijkt is. In het meetgebied van 1 MΩ (maximale waarde) komt dit overeen met een weerstandswaarde van 470 kΩ.

4.9.6. Transistormeetinstrument voor PNP-transistors

Een belangrijke taak van de transistor in schakelingen is het versterken van een klein ingangsvermogen tot een groot uitgangsvermogen. Hierbij kunnen stromen of spanningen of allebei versterkt worden. De verhouding tussen collector- en basisstroom is de versterkingsfactor B. Met behulp van dit toestel kan de stroomversterking in PNP-transistors worden gemeten.
Opbouw van het toestel volgens montagetekening 4.9.6.
Eerst schakelen we het toestel in zónder de te meten transistor om te zien of het functioneert. Daarna stellen we met potentiometer R_{10} het nulpunt in op het meetinstrument. Lukt dit niet, dan onmiddellijk het toestel uitschakelen en het defect opsporen.
Nu monteren we de transistor zoals aangegeven op de montagetekening. Wanneer we nu de schakelaar indrukken moet de wijzer uitslaan en als we de schakelaar weer loslaten moet de wijzer teruggaan naar 0. Wanneer de wijzer niet teruggaat naar 0 bij geopende schakelaar is de transistor defect.



4.9.6

Beschrijving van de schakeling:

Zener-diode D_1 zorgt voor een constante spanning van 5,1 V. Daar er over de basis-emitter overgang een spanning van ca 0,7 V verloren gaat, staat er, bij ingedrukte schakelaar, over R_1 [R_1 = 470 kΩ of 120 kΩ] ca 4,4 V. De overeenkomstige basisstroom I_B bedraagt bij R_1 470 kΩ volgens de wet van Ohm:

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

$$I = \frac{4{,}4}{470000}\ [A]$$

$$I = 0{,}00001\ [A]$$

$$I = 10\ \mu A$$

Bij een stroomversterkingsfactor van 1000 loopt er in de collectorkring van de transistor een stroom van 10 mA. Deze stroom veroorzaakt over R_3, in de collectorstroomkring van de transistor, een spanningsval van 1 V. Omdat met R_3 = 100 Ω tegelijkertijd een meetgebied van 10 mA is ingesteld slaat de wijzer van het meetinstrument vol uit.
Wanneer we weerstand R_1 = 470 kΩ vervangen door een weerstand van 120 kΩ wijst het meetinstrument bij volle uitslag dezelfde collectorstroom aan. Omdat er nu volgens

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

$$I = \frac{4{,}4}{120000}\ [A]$$

$$I = 0{,}000037$$

$$I = 37\ \mu A$$

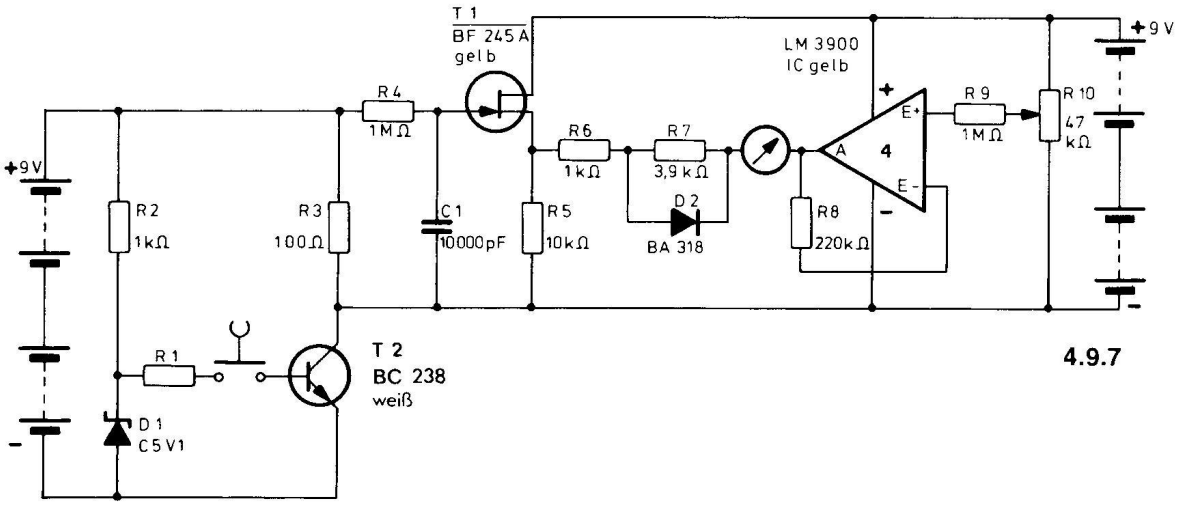
een bassisstroom van 37 μA loopt bedraagt de maximale versterkingsfactor B ca 300.
De stroomversterkingsfactor voor elk type transistor wordt door de fabrikant aangegeven.
De onderlinge verschillen kunnen zo groot zijn dat de maximale waarde een veelvoud van de minimale waarde bedraagt. Volgens de technische gegevens ligt zij tussen 75 en 500.

4.9.7. Transistormeetinstrument voor NPN-transistors

PNP- en NPN-transistors werken wat hun functie betreft hetzelfde. Hoewel deze beide met tegengestelde stroomrichtingen werken, waarmee natuurlijk in een schakeling rekening moet worden gehouden, schakelen en versterken ze elektrische stromen. Met dit meetinstrument kan de stroomversterking in NPN-transistors worden aangetoond.

Opbouw van het toestel volgens montagetekening 4.9.7.

Om de stroom in de collectorkring te kunnen meten hebben we een tweede spanningsbron nodig vanwege de polariteit van de spanningen. De meetschakeling met de NPN-transistor wordt via weerstand R_3 met de rest van de schakeling verbonden om het nulpunt in te stellen. Wanneer we nu aan potentiometer R_{10} draaien moet de wijzer uitslaan. Is dit niet het geval dan onmiddellijk het toestel uitschakelen en het defect opsporen. Als de wijzer wél uitslaat met R_{10} het nulpunt instellen.



Beschrijving van de schakeling:

Het toestel werkt volgens hetzelfde principe als beschreven bij schakeling 4.9.6.

De zener-diode D_1 is weer de constante stroombron. Wanneer de schakelaar gesloten is loopt er in de basis van de transistor bij R_1 = 470 kΩ een stroom van 10 μA. Daar het meetinstrument met R_3 ingesteld is op één gebied van 10 mA slaat de wijzer vol uit omdat over weerstand R_3 een spanningsverlies van 1 V optreedt. Dit is echter alleen het geval bij een stroomversterkingsfactor van B = 1000 omdat er dan in de collectorkring van de transistor een stroom loopt van 10 mA en in de basis een stroom van 10 μA. Bij R_1 = 120 kΩ bedraagt de versterkingsfactor B = 300 daar er door een basisstroom van 35 μA dezelfde collectorstroom van 10 mA wordt opgewerkt. Voor transistor BC 238 mag de stroomversterkingsfactor volgens opgave van de fabrikant tussen 125 en 900 liggen.

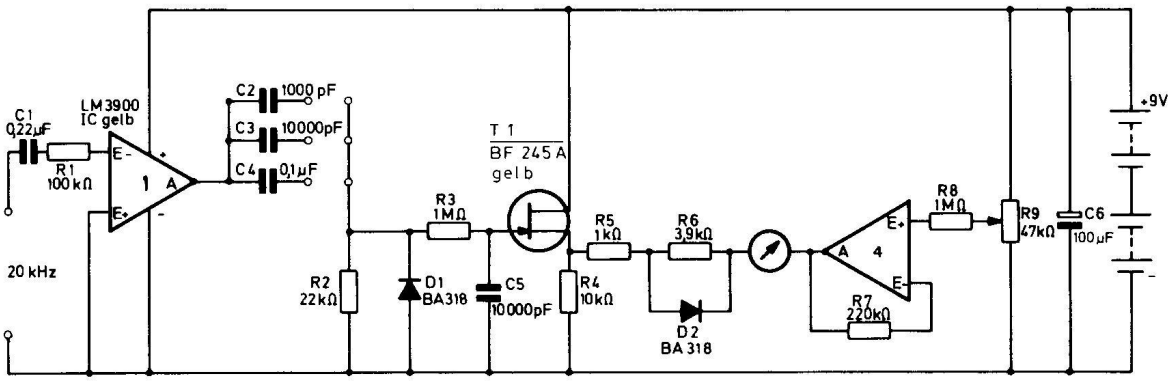
4.9.8. Meetinstrument voor het meten van frequenties

Meetinstrumenten voor het meten van frequenties worden niet alleen toegepast in de zend- en ontvangtechniek waar ze onmisbaar zijn voor het exact vaststellen van uitgezonden of ontvangen signalen, maar bovendien bij processen waarbij de frequentie, elektrisch of mechanisch, constant moet worden gehouden.

Opbouw van het toestel volgens montagetekening 4.9.8.

Het meetgebied bedraagt 10 kHz bij C_2, 1 kHz bij C_3 en 100 Hz bij C_4.

Door verlaging van de waarde van R_2 zijn andere meetgebieden mogelijk. Wanneer we parallel over R_2 een weerstand van 10 kΩ aansluiten krijgen we meetgebieden van 3 kHz, 300 Hz en 30 Hz. We kunnen het toestel testen door condensator C_1 aan de ingang met de vinger aan te raken. Wanneer we een meetgebied van 100 Hz hebben ingesteld wijst het instrument 50 Hz aan. Het menselijk lichaam neemt, net als een antenne, de elektromagnetische trillingen van de netspanning op en het meetinstrument reageert al op deze geringe wisselspanningen.



4.9.8

Beschrijving van de schakeling

Het grondprincipe van dit meetinstrument bestaat hieruit dat er via een differentieerschakeling (HF) uit een rechthoekspanning een spanning ontstaat die evenredig is met de frequentie. Deze spanning wordt door de FET-voltmeter 4.9.1. gemeten en aangegeven.

In operationele versterker OP 1 wordt uit elke gewenste wisselspanning aan de ingang een rechthoekspanning opgewekt die de condensatoren $C_2/C_3/C_4$ aan de uitgang van OP 1 oplaadt. De ontlading van de bij het meetgebied behorende condensator kan slechts geschieden over weerstand R_2 van de differentieerschakeling. Diode D_1 onderdrukt de negatieve perioden van de spanning. Hierdoor ontstaat er een spanning met steil oplopende en geleidelijk aflopende flanken. Het daaropvolgend laagdoorlaat-filter R_3/C_5 maakt van de zaagtandimpuls een spanning waarvan de hoogte een gemiddelde is tussen 0 en de positieve maximale waarde. Het meetinstrument geeft deze spanning aan. De waarde van deze spanning stijgt of daalt evenredig met de frequentie.

Met de astabiele multivibrator 3.1. uit EE 2013 kunnen verschillende frequenties worden opgewekt die met dit instrument gemeten kunnen worden. Door het veranderen van de frequentiebepalende elementen R_2 en C_1 kan worden aangetoond welk verband er bestaat tussen weerstands- en capaciteitswaarden enerzijds en de frequentie anderzijds.

4.9.9. Meetinstrument voor het meten van capaciteiten

Dit meetinstrument stelt ons in staat om een onbekende capaciteit te meten. Het is ook geschikt voor het meten van de exacte waarde van bekende condensatoren in serie- en parallelschakelingen. Zeer kleine capaciteiten (met een waarde onder 100 pF) kunnen echter niét worden gemeten.

Opbouw van het toestel volgens montagetekening 4.9.9.

Het nulpunt kan worden ingesteld met R_{13} wanneer C_x open is. Voor het afregelen van het toestel moet voor C_x een condensator met een waarde van 0,1 µF en voor R_1 een weerstand van 10 kΩ worden gemonteerd. Met potentiometer R_2 stellen we in op het cijfer 10 op de schaal, alle andere waarden kloppen dan zonder verdere correctie.

Beschrijving van de schakeling

Wat betreft constructie komt het toestel overeen met frequentiemeter 4.9.8. OP 1 vormt een rechthoekgenerator waarvan de frequentie tot op zekere hoogte kan worden veranderd met R_2. Het rechthoeksignaal laadt condensator C_x op en de ontlading kan alleen geschieden over R_1. C_x en R_1 vormen een differentieerschakeling waarin uit de rechthoekspanning een naaldimpuls wordt opgewekt. De uitgangsspanning die over R_1 wordt gemeten stijgt, al naargelang de hoogte van de frequentie van de generator resp. de capaciteit van C_x. De ontlaadtijd van C_x hangt af van R_1: is die waarde groot dan duurt het ontladen ook lang.

Het laagdoorlaatfilter R_7/C_2 maakt van de pulserende gelijkspanning een gelijkspanning met een gemiddelde waarde die door het meetinstrument wordt aangegeven.

Door toepassing van condensatoren in serie- of parallelschakelingen inplaats van C_x kunnen de totale capaciteiten experimenteel worden vastgesteld. Wanneer we b.v. twee condensatoren in serie schakelen kunnen we meten dat de totale capaciteit C kleiner is dan de kleinste, enkele capaciteit.

Voor twee in serie geschakelde condensatoren van 1000 pF en 10.000 pF kunnen we de volgende waarde berekenen:

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

$$C = \frac{22000 \cdot 1000}{22000 + 1000}\ [pF]$$

$$C = 957\ pF$$

Bij parallelschakelingen kan worden gemeten dat de totale capaciteit groter is dan de grootste afzonderlijke capaciteit.

Een voorbeeld:

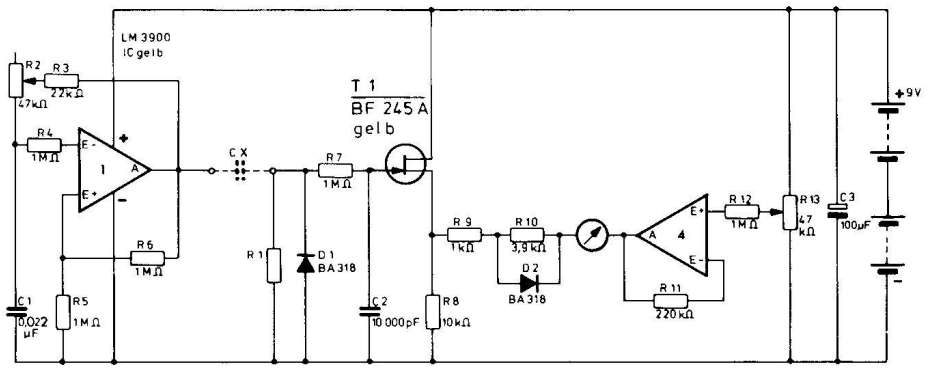
$C_1 = 1000$ pF,

$C_2 = 22.000$ pF.

$C = C_1 + C_2$,

$C = 1000 + 22.000$ [pF]

$C = 23.000$ pF.



4.9.9

Condensatoren hebben evenals andere onderdelen ook een tolerantie. Deze toleranties kunnen bedragen:

Polyester condensatoren	± 20%	Keramische condensatoren	
Elektrolytische	+ 100%	onder 1000 pF	± 10%
condensatoren	− 20%	boven 1000 pF	+ 100%
			− 20%

4.9.10. Meetinstrument voor het meten van belichtingssterkte

Verlichtingstechnici hebben tot taak het controleren van de verlichting in werkplaatsen, op straat en in andere openbare ruimten, en, indien nodig, moeten ze die ook corrigeren. Voor metingen wordt in alle gevallen een lichtsterktemeter gebruikt.

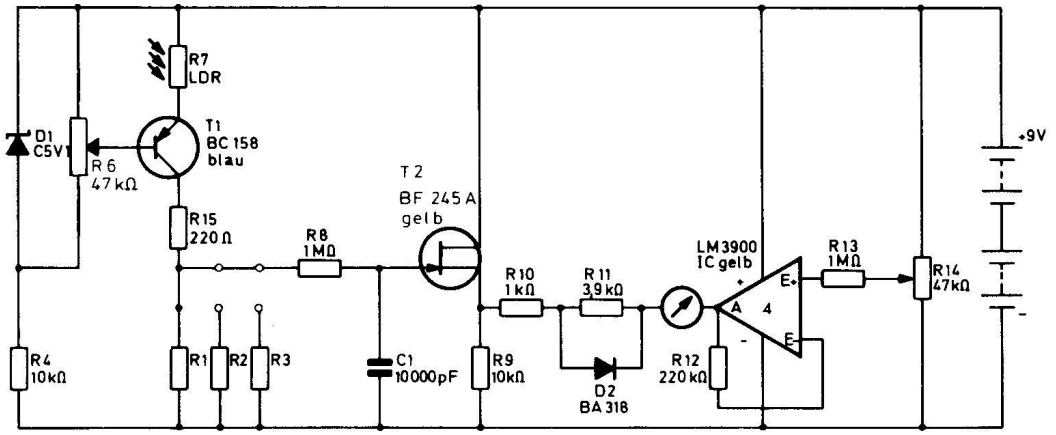
Opbouw van het toestel volgens montagetekening 4.9.10.

Het meetgebied wordt gekozen door verandering van de spanningsdeler die bestaat uit R_{15} en R_1, of R_2 of R_3.

$R_1 = 100\ \Omega$	Gebied 100 lx – 1000 lx
$R_2 = 1\ k\Omega$	10 lx – 100 lx
$R_3 = 10\ k\Omega$	1 lx – 10 lx

Na het inschakelen moet de wijzer uitslaan – als de LDR tenminste belicht wordt. Zo niet, dan meteen uitschakelen en de fout opsporen.

IJking: nulpunt instellen met R_{14} en dan meetgebied $R_2 = 1\ k\Omega$ inschakelen. LDR vervangen door een vaste weerstand van 1 kΩ. Nu met potentiometer R_6 wijzeruitslag instellen op maximum.



4.9.10

Beschrijving van de schakeling:

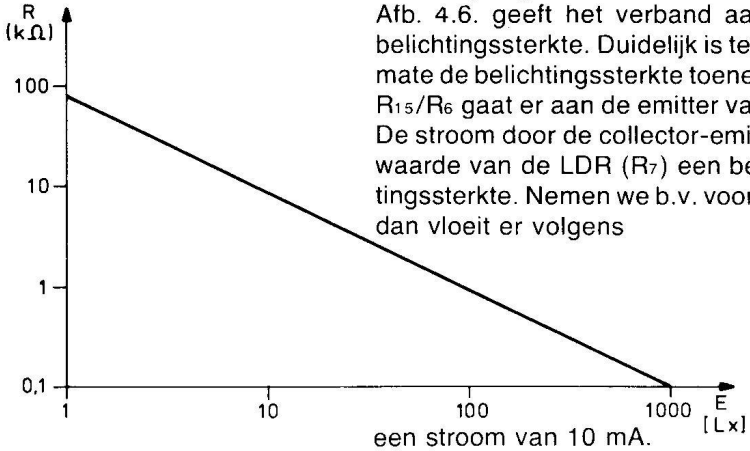
Afb. 4.6. geeft het verband aan tussen de weerstand van de LDR en de belichtingssterkte. Duidelijk is te zien dat de weerstandswaarde afneemt naarmate de belichtingssterkte toeneemt. Door de verhouding van de weerstanden R_{15}/R_6 gaat er aan de emitter van T_1 steeds een spanning van 1 Volt verloren. De stroom door de collector-emitterleiding van T_1 heeft voor elke weerstandswaarde van de LDR (R_7) een bepaalde waarde die zich richt naar de belichtingssterkte. Nemen we b.v. voor $R_7 = 100\ \Omega$ – dat komt overeen met 1000 lx – dan vloeit er volgens

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

$$I = \frac{1}{100}\ [A]$$

$$I = 10\ mA$$

een stroom van 10 mA.



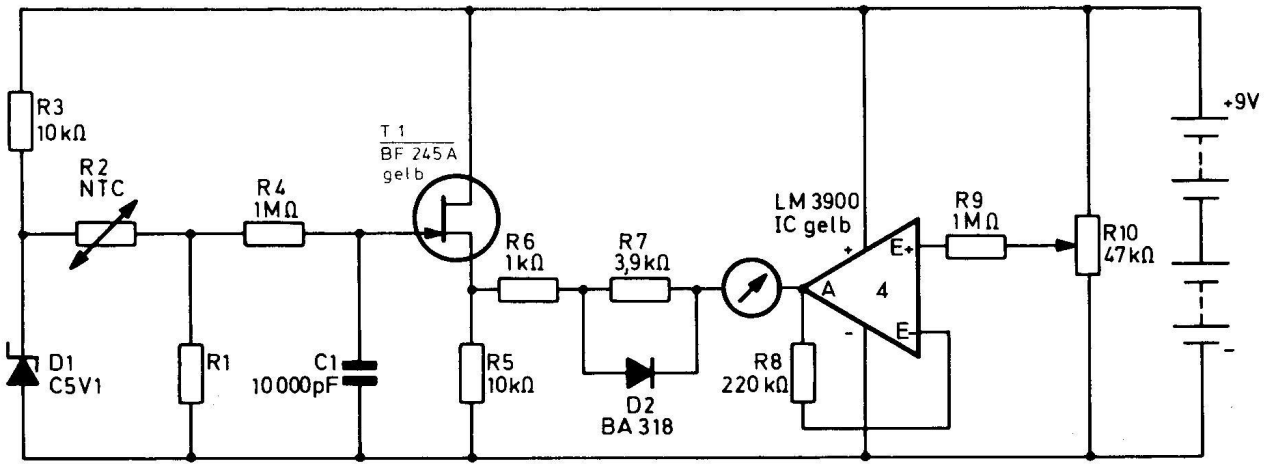
Afb. 4.6

Kiezen we het gebied 100 lx - 1000 lx dan valt er over $R_1 = 100\ \Omega$ een spanning van 1 V. Dientengevolge wijst het meetinstrument 10 aan. De juiste waarde van de belichtingssterkte verkrijgen we door te vermenigvuldigen met 100. Wanneer de wijzer vol uitslaat hebben we dus een belichtingssterkte van 1000 lx. Het andere gedeelte van de schakeling bestaat uit FET-voltmeter 4.9.1.

Met dit toestel kan de belichtingssterkte worden gemeten op verschillende plaatsen en bovendien kan ermee worden vastgesteld welke lichtbronnen objectief gezien voldoende belichtingsverhoudingen scheppen.

4.9.11. Elektronische thermometer

Analoge of digitale thermometers worden vooral gebruikt wanneer het meetpunt op enige afstand ligt van het punt waar de thermometer kan worden afgelezen. We kunnen daarvoor een opnemer – b.v. een NTC – op de gewenste plaats installeren en leidingen leggen naar de thermometer. Op die manier kunnen we temperaturen meten die geen enkele vloeistofthermometer kan verdragen. Natuurlijk moeten we dan wel andere opnemers gebruiken.
Opbouw van het toestel volgens montagetekening 4.9.11.
Met weerstand R_1 = 4,7 kΩ hebben we een temperatuurgebied ingesteld tussen 0° en + 30° C. Andere bereiken zijn mogelijk door verandering van R_1.
Na het inschakelen van het toestel – bij kamertemperatuur – moet de meter uitslaan. Gebeurt dit niet, dan onmiddellijk het toestel uitschakelen en de fout zoeken. Het nulpunt stellen we in met R_{10}.

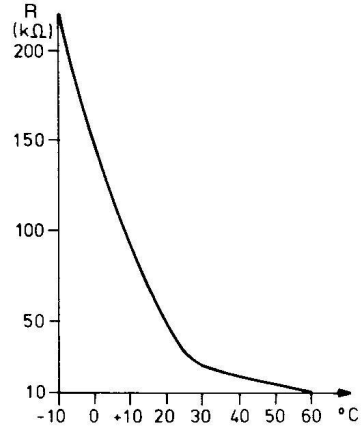


4.9.11

Beschrijving van de schakeling:

In afb. 4.7. zien we dat de verhouding tussen temperatuur en weerstand van de NTC niet lineair verloopt. De wijzeruitslag – die overeenkomt met een bepaalde spanning – moet aan de hand van de tabel worden omgerekend naar een temperatuur.

Temperatuur °C	R_{NTC}	U over R_1=4,7 kΩ
30°	25 kΩ	1 V
25°	47 kΩ	0,51 V
20°	57 kΩ	0,42 V
15°	70 kΩ	0,34 V
10°	90 kΩ	0,26 V
5°	120 kΩ	0,2 V
0°	150 kΩ	0,15 V

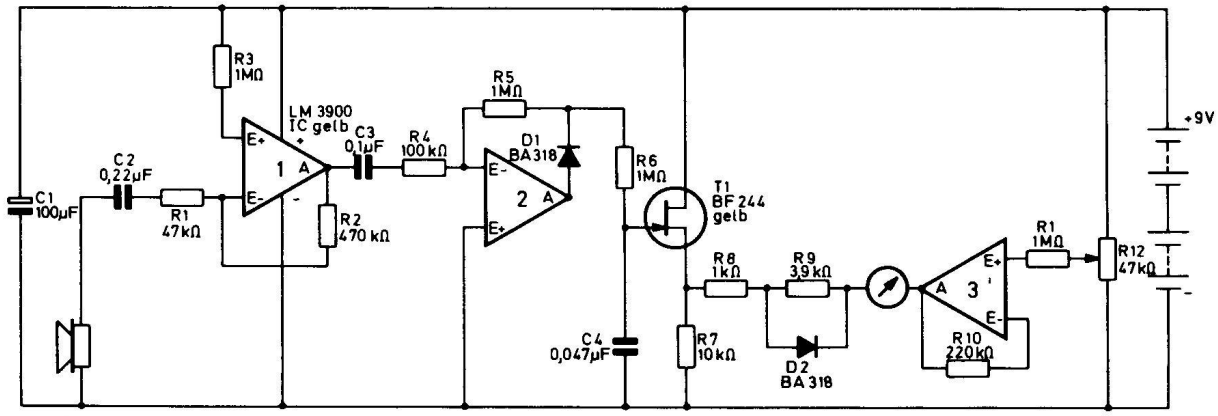


Afb. 4.7

Door een andere waarde te nemen voor R_1 kunnen we een ander temperatuurgebied instellen.
Door zener-diode D_1 wordt de NTC van een constante spanning voorzien en omdat zijn weerstand stijgt naarmate de temperatuur daalt ontstaat er een steeds groter spanningsverlies. De FET-voltmeter 4.9.1 kan dus via een omweg – het steeds veranderende spanningsverlies – ook gebruikt worden voor het meten van de temperatuur.

4.9.12. Geluidssterktemeter

Ons oor registreert de trillingen van een geluidsbron als geluidssterkte. Geluidssterkte wordt aangegeven in Foon en is een niet gemakkelijk te meten grootheid. Geluidssterkte daarentegen wél.
Opbouw van het toestel volgens montagetekening 4.9.12.
Wanneer we in de als microfoon geschakelde luidspreker praten moet de wijzer van het meetinstrument uitslaan. Is dat niet het geval, schakel dan onmiddellijk het toestel uit en zoek de fout.



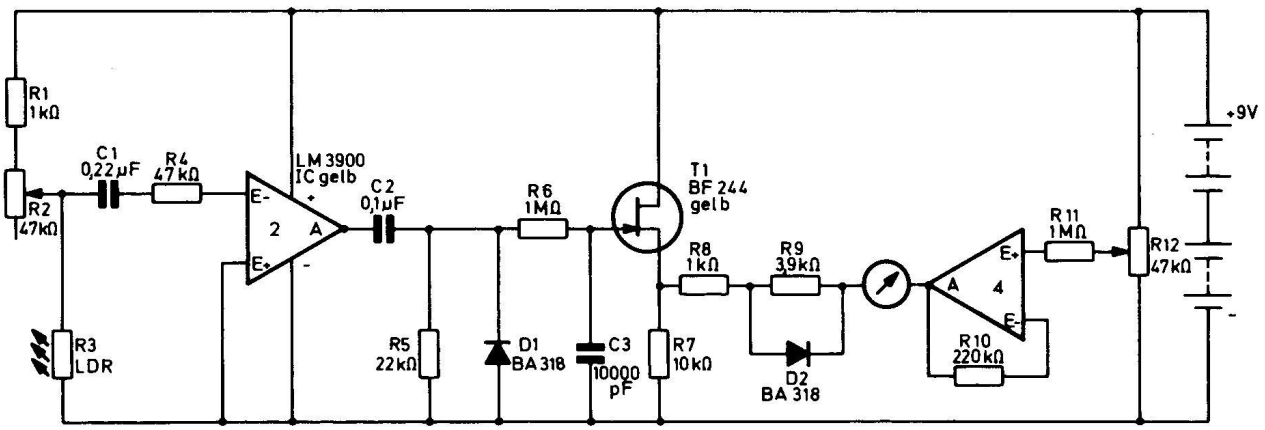
4.9.12

Beschrijving:

De wisselspanningsversterker OP 1 en de samen met diode D_1 als gelijkrichter fungerende OP 2 zijn voor de FET-voltmeter geschakeld.
Wanneer het membraan van de luidspreker geluidssignalen registreert wekken die een wisselspanning op die in OP 1 wordt versterkt en in OP 2 door diode D_1 wordt gelijkgericht.
Het meetinstrument geeft aan hoe sterk het signaal is dat door de luidspreker wordt opgevangen.

4.9.13. Toerenteller

Onder toerental verstaan we over het algemeen het aantal omwentelingen van een machine-onderdeel in een bepaalde tijd. Sommige machine- of auto-onderdelen hebben bovendien eigen trillingen. Wanneer het toerental van de motor samenvalt met die eigen trillingen ontstaan er resonantietrillingen die grote schade kunnen aanrichten. Toerentellers geven zulke kritische toerentallen aan op een schaal.
Met dit toestel kunnen we het aantal omwentelingen van een as – bijv. van een motor – vaststellen.
Opbouw van het toestel volgens montagetekening 4.9.13.
Wanneer we onze hand met gespreide vingers voor de LDR heen en weer bewegen moet het meetinstrument reageren. Zo niet, dan onmiddellijk het toestel uitschakelen en het defect opsporen.
Op een draaiende schijf die wordt aangedreven door b.v. een elektromotor zetten we met krijt een duidelijke streep. We kunnen ook een schijf met gaatjes gebruiken waar het licht doorheen valt. Daarna zetten we de motor met de schijf voor de LDR van het meetinstrument. Eventueel kunnen we ook een generator gebruiken met een frequentie van ten hoogste 100 Hz (overeenkomend met 6000 omw. per minuut) die een LED voedt (b.v. toestel 3.1.4 uit EE 2013).



4.9.13

Beschrijving van de schakeling:

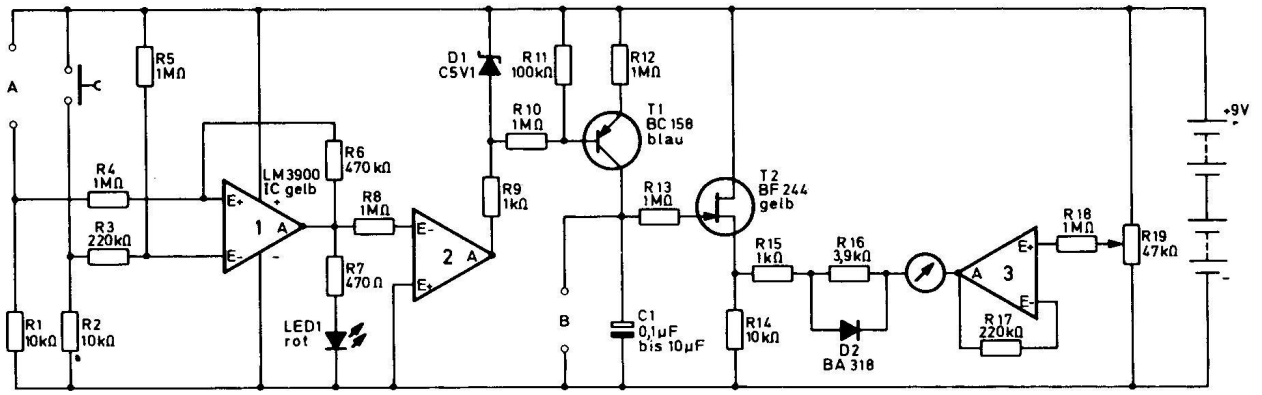
De LDR neemt de veranderingen in lichtsterkte op die worden veroorzaakt door de markering op de draaiende schijf. De daarbij ontstaande wisselspanning wekt in OP 2 een rechthoekspanning op die condensator C_2 oplaadt. Het signaal wordt verder verwerkt zoals bij toestel 4.9.8. De aanwijsschakeling met de tijdbepalende onderdelen C_2/R_5 is zo geconstrueerd dat deze 6000 toeren per minuut aangeeft wanneer de wijzer helemaal uitslaat.

4.9.14. Reactietijdmeter

Toestellen voor het meten van de reactietijd worden vaak gebruikt om vast te stellen hoeveel tijd er verstrijkt tussen het optreden van een signaal en het inschakelen van een contact. Om dit te kunnen vaststellen moet een proefpersoon op een knop drukken wanneer er een geluidssignaal weerklinkt of wanneer er een lichtsignaal aanflitst.

Opbouw van het toestel volgens montagetekening 4.9.14.

Na het sluiten van contact A gaat de LED branden. Wanneer we direct daarna de drukschakelaar bedienen kan de tijd die verstreken is worden afgelezen op de meter. Het toestel is echter niet geijkt op tiende of honderdste seconden.



4.9.14

Beschrijving van de schakeling:

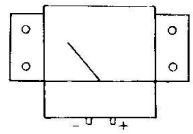
OP 1 fungeert als een flip-flop waarvan de ingangen E+ en E− resp. verbonden zijn met contact A en de drukschakelaar. Wordt A gesloten dan staat er aan de uitgang van OP 1 een 1-signaal en de LED brandt. Gelijktijdig staat er aan de uitgang van OP 2 een 0-signaal en daardoor wordt de constante stroombron T_1 met zener-diode D_1 ingeschakeld. Condensator C_1 wordt net zó lang met een constante stroom opgeladen als de knop is ingedrukt. De grootte van de lading wordt evenredig daarmee aangegeven door het instrument. Na het indrukken van de schakelaar blijft de wijzer staan omdat het laadproces is onderbroken. Hierdoor wordt namelijk de flip-flop teruggezet en dat veroorzaakt een 0-signaal aan de uitgang van OP 1 en een 1-signaal aan de uitgang van OP 2. Om het toestel weer bedrijfsklaar te maken moeten we de contacten B kortsluiten. Dan kan C_1 zich ontladen.

Schakelsymbolen

Symbolen van het bedradingsschema



Meetinstrument





NTC





Zener-diode



Technische gegevens

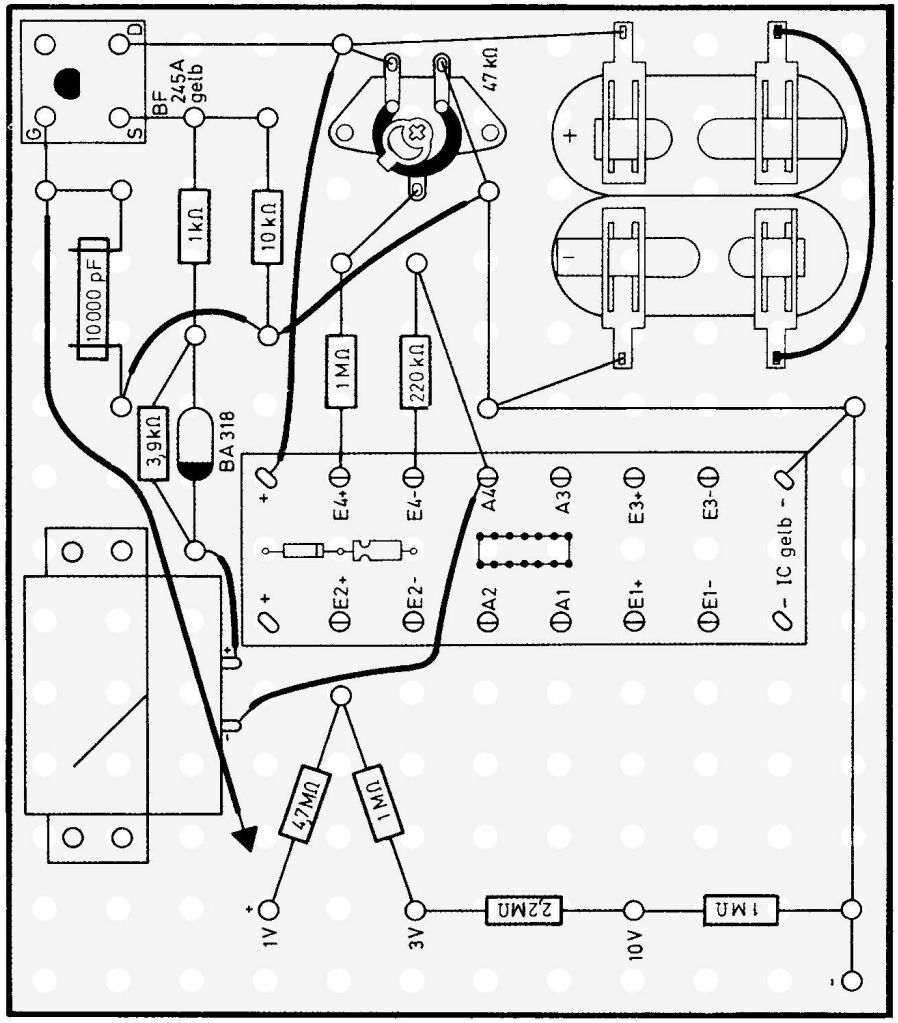
Transistor	BC 158
maximale basisstroom	10 mA
maximale collectorstroom	100 mA
maximaal dissipatie	200 mW
maximale collector-emitterspanning	15 V
stroomversterkingsfactor	100-900
gebruiksmogelijkheden	LF- en gelijkspannings-versterking

Zener-diode	BZX 79 C5 V1
Zener-spanning	5,1 V
Zener-stroom	10 mA

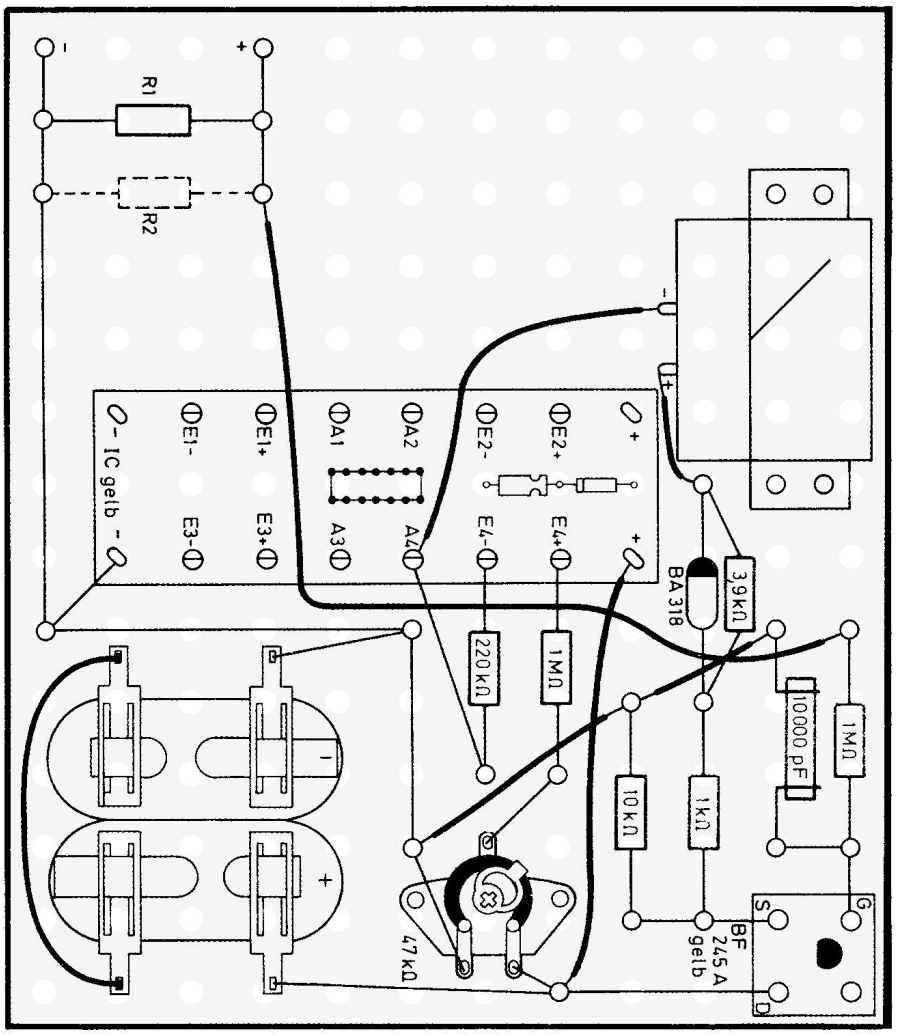
Kleurcodetabel

(aanvulling bij EE 2013)

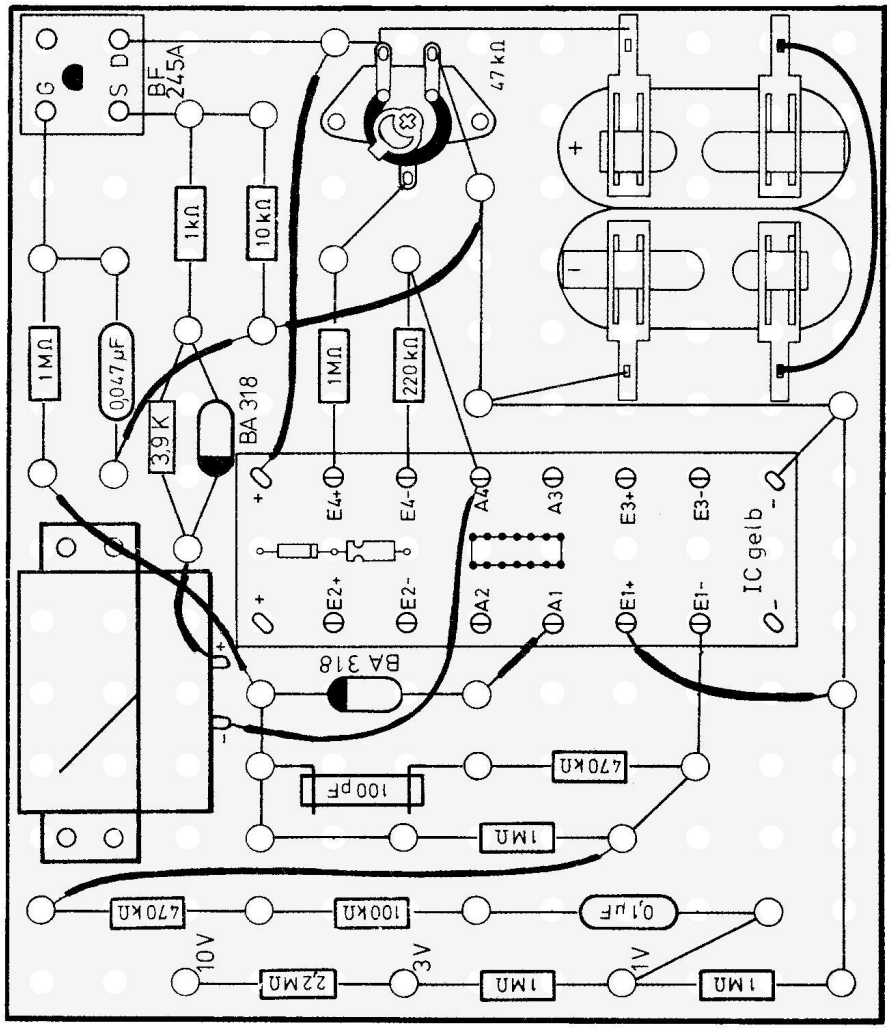
Weerstanden	Gekleurde ringen	Min. waarde	Max. waarde
10 ohm	bruin zwart zwart	—	11 ohm
47 ohm	geel violet zwart	43 ohm	51 ohm
100 ohm	bruin zwart bruin	91 ohm	110 ohm
3 900 ohm	oranje wit rood	3 600 ohm	4 300 ohm
2 200 000 ohm	rood rood groen	—	—
4 700 000 ohm	geel violet groen	—	—


BF 245A gelb
D
G
S
47 kΩ
1kΩ
10 kΩ
10000 pF
1 MΩ
220 kΩ
3,9kΩ
BA 318
+
E4+
E4-
A4
A3
E3+
E3-
IC gelb -
E2+
E2-
A2
A1
E1+
E1-
U+
U-
4,7MΩ
1MΩ
1V
3V
2,2MΩ
10V
1MΩ
-

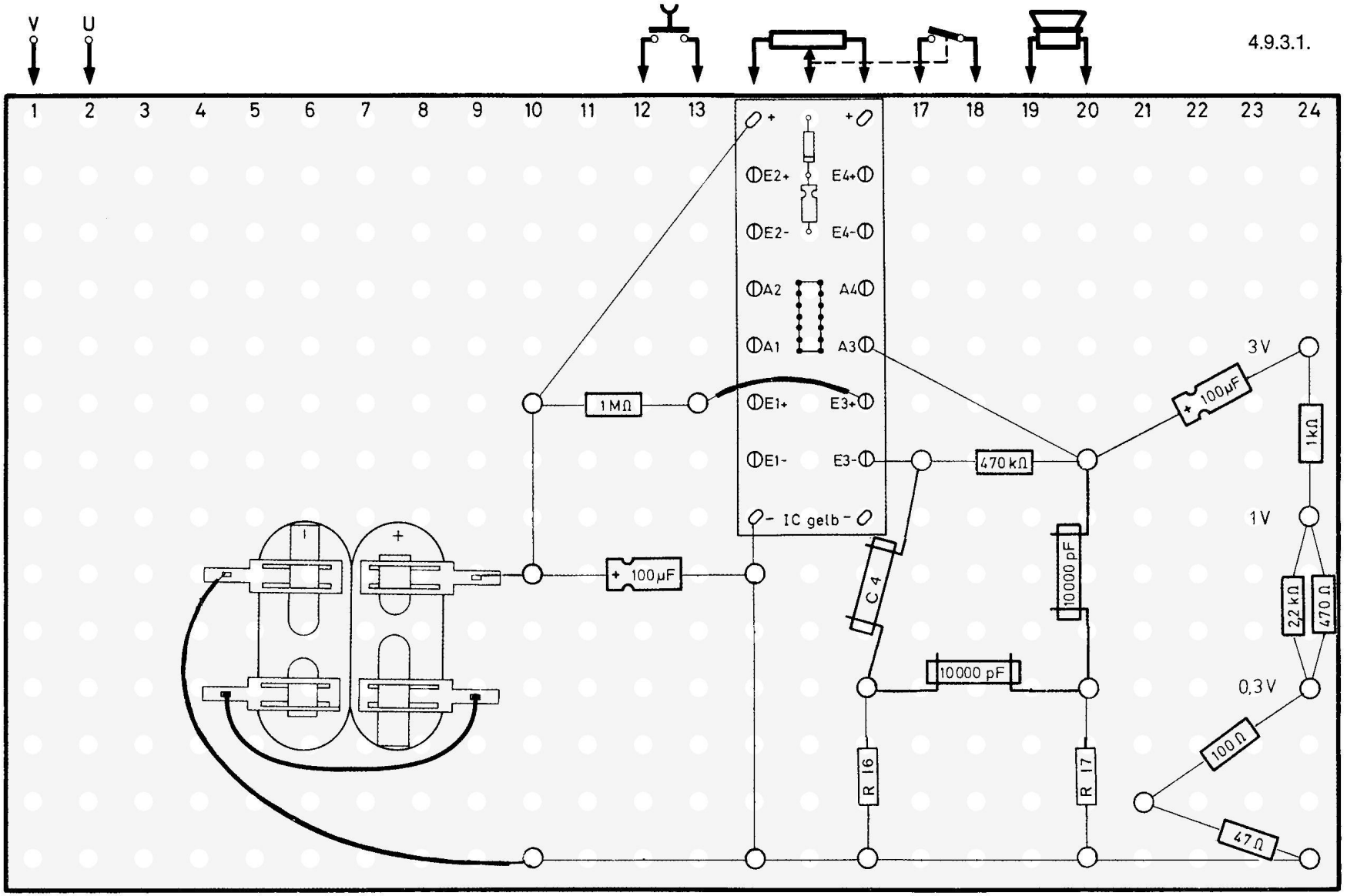
4.9.1.

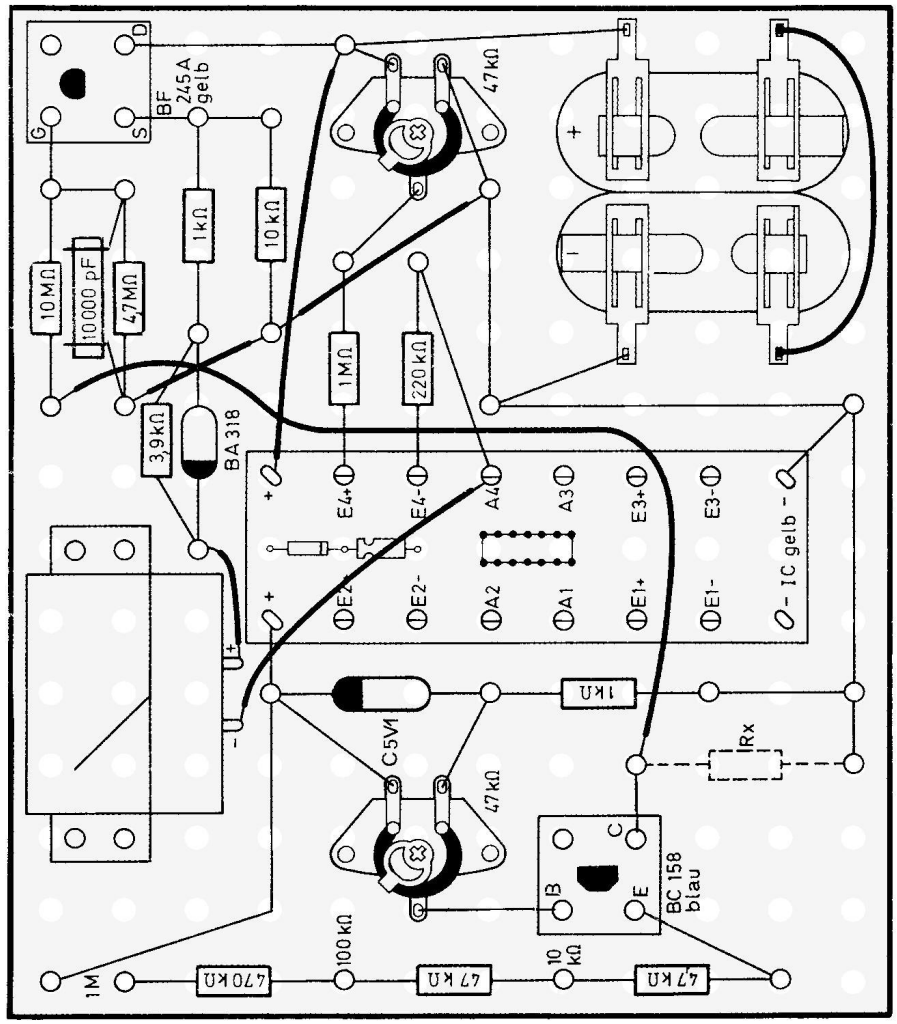

-
+
R1
R2
IC gelb
E1-
E1+
A1
A2
E2-
E2+
+
E3-
E3+
A3
A4
E4-
E4+
+
220 kΩ
1MΩ
47 kΩ
BA 318
3,9kΩ
10000 pF
1MΩ
10kΩ
1kΩ
BF
245 A
gelb
S
G
D

4.9.2.

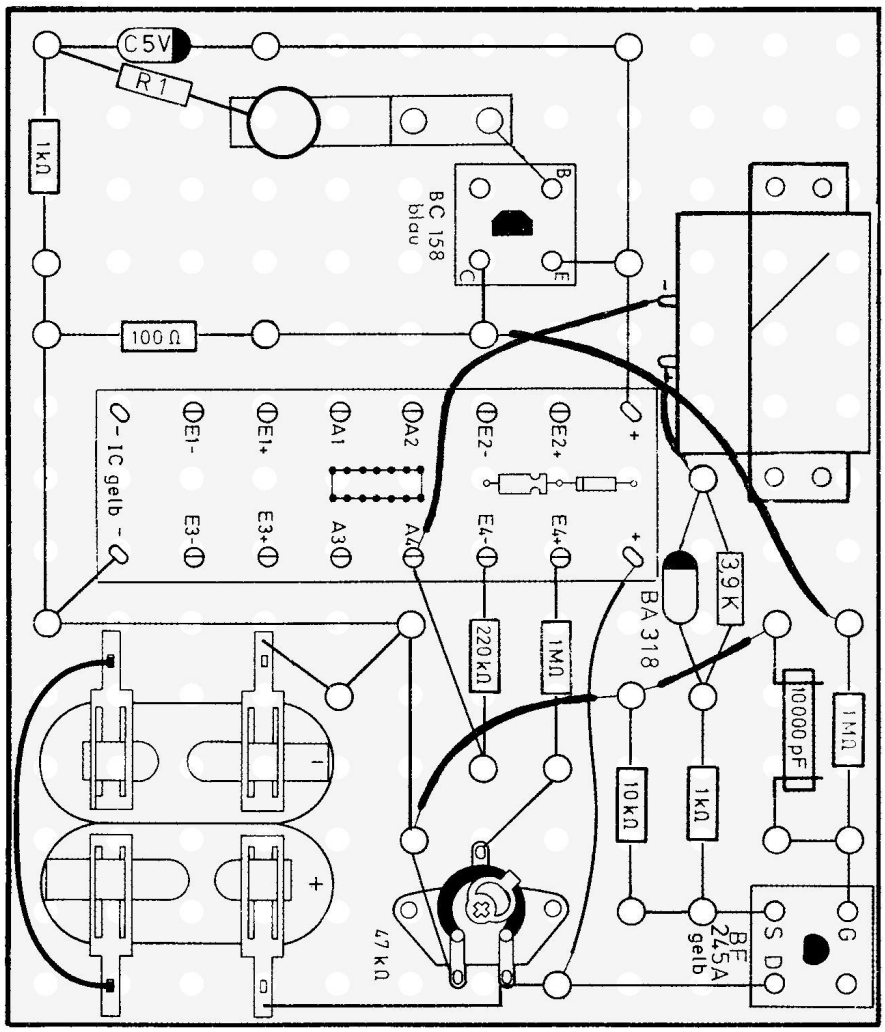

G
S D
BF 245A
47kΩ
1kΩ
10kΩ
1MΩ
0,047µF
3,9K
BA 318
1MΩ
220kΩ
+
E4+
E4-
A4
A3
E3+
E3-
IC gelb
-
E2+
E2-
A2
A1
E1+
E1-
BA 318
U+
U-
470kΩ
100pF
1MΩ
470kΩ
100kΩ
0,1µF
10V
2,2MΩ
3V
1MΩ
1V
1MΩ

4.9.3.

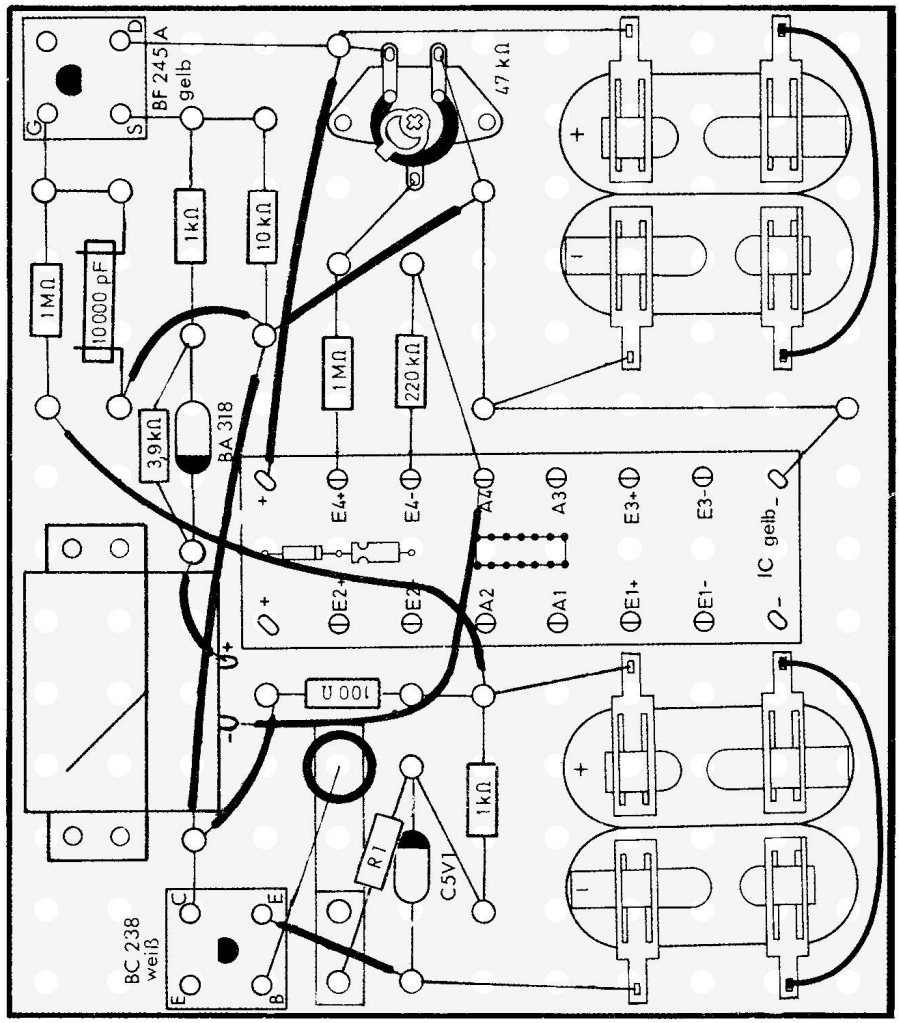

V
U
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 17 18 19 20 21 22 23 24
+
+
E2+
E4+
E2-
E4-
A2
A4
A1
A3
E1+
E3+
E1-
E3-
- IC gelb -
1 MΩ
+ 100µF
470 kΩ
+ 100µF
3V
1kΩ
1V
2,2 kΩ
470 Ω
0,3V
100 Ω
47 Ω
C 4
10000 pF
10000 pF
R 16
R 17


BF 245A gelb
G
D
S
10 MΩ
10000 pF
47 MΩ
1 kΩ
10 kΩ
47 kΩ
1 MΩ
220 kΩ
3,9 kΩ
BA 318
E4+
E4-
A4
A3
E3+
E3-
E2+
E2-
A2
A1
E1+
E1-
IC gelb -
U+
U-
C5V1
1 kΩ
Rx
47 kΩ
BC 158 blau
B
C
E
1M
470 kΩ
100 kΩ
47 kΩ
10 kΩ
47 kΩ

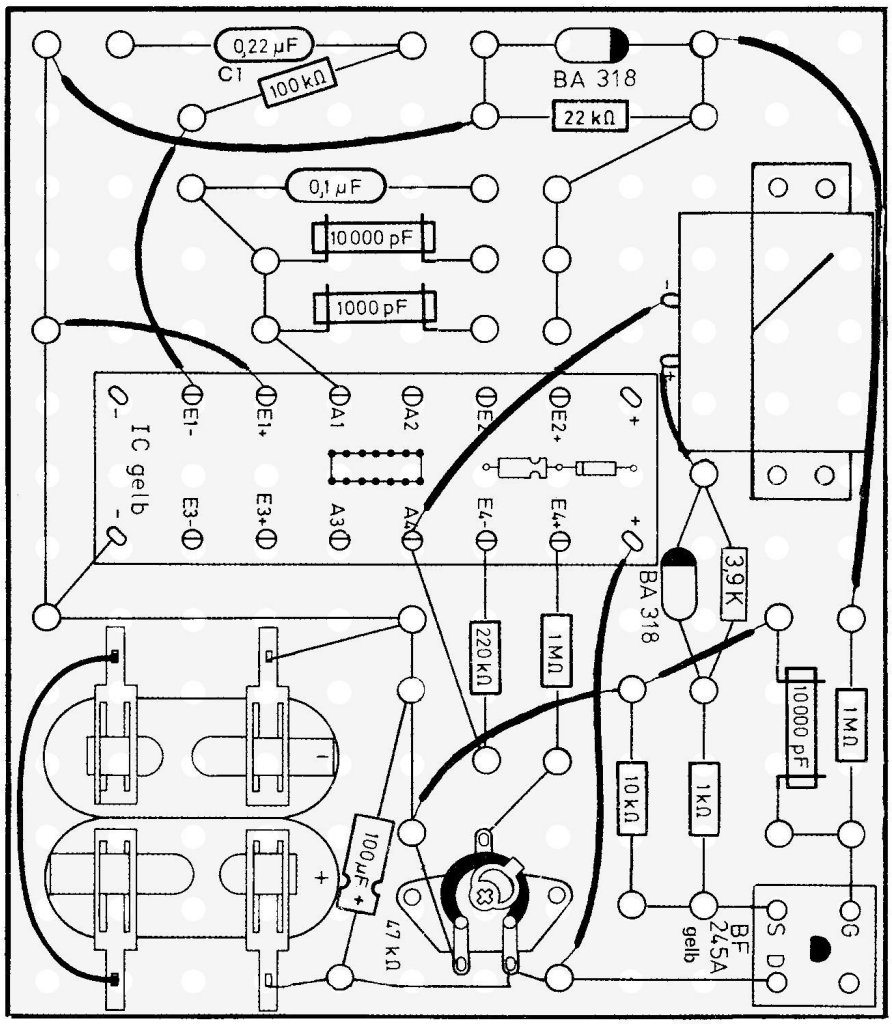
4.9.5.


C5V
R1
1kΩ
100Ω
BC 158
blau
B
C
E
IC gelb
A1
A2
E2-
E2+
E1-
E1+
E3-
E3+
A3
A4
E4-
E4+
BA 318
3,9K
220kΩ
1MΩ
10000pF
1MΩ
10kΩ
1kΩ
47kΩ
BF
245A
gelb
S
D
G

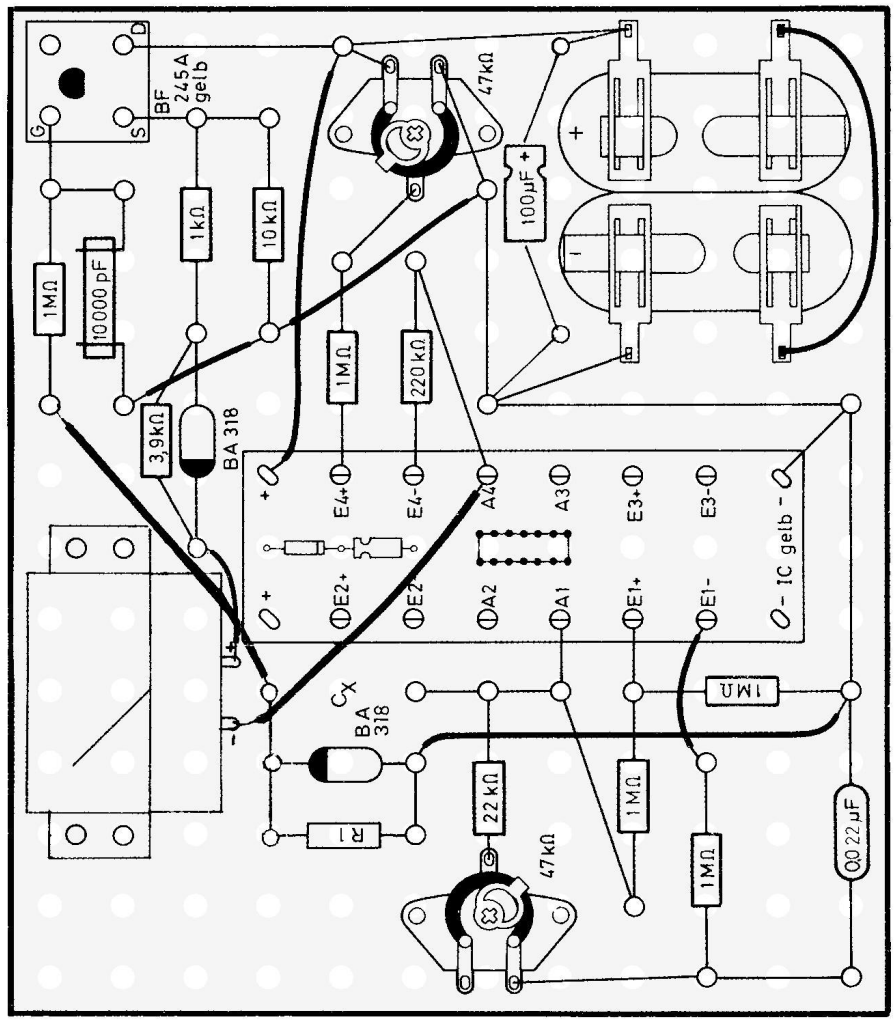
4.9.6.


BF 245A
gelb
G
D
S
1MΩ
10000 pF
1kΩ
10kΩ
47 kΩ
3,9kΩ
BA 318
1MΩ
220kΩ
+
E4+
E4-
A4
A3
E3+
E3-
IC gelb
-
+
E2+
E2-
A2
A1
E1+
E1-
U+
-U
100 Ω
1kΩ
R1
C5V1
BC 238
weiß
C
E
B
E

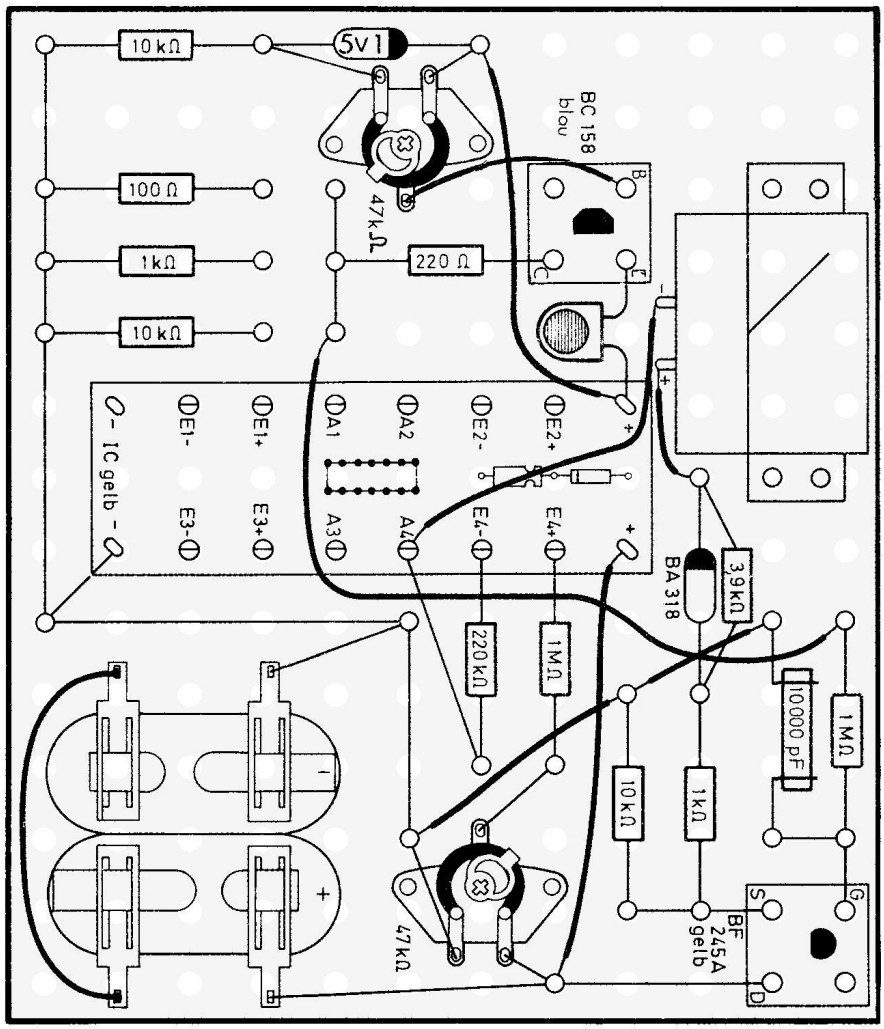
4.9.7.


0,22 µF
C1
100 kΩ
BA 318
22 kΩ
0,1 µF
10000 pF
1000 pF
IC gelb
E1-
E1+
A1
A2
E2-
E2+
+
-
E3-
E3+
A3
A4
E4-
E4+
+
BA 318
3,9 K
220 kΩ
1 MΩ
10000 pF
1 MΩ
10 kΩ
1 kΩ
100 µF
47 kΩ
BF 245A gelb
S
D
G

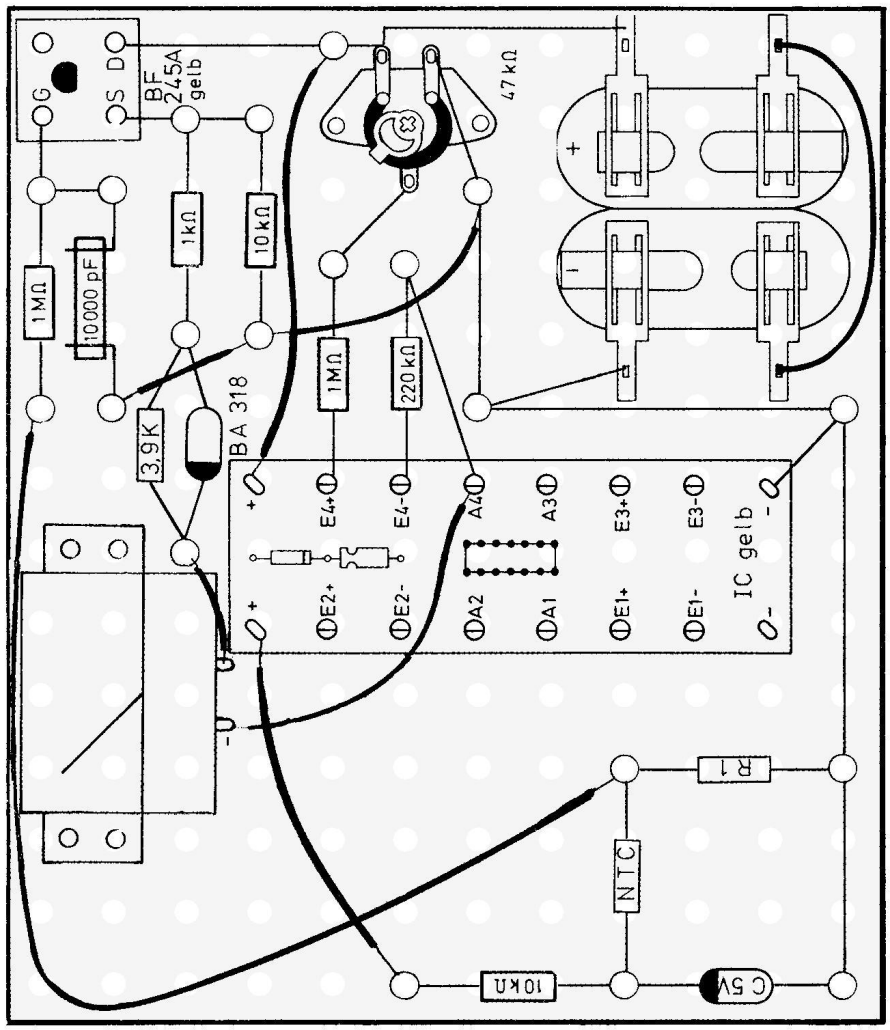
4.9.8.


BF 245A gelb
G
D
S
1MΩ
10000 pF
1kΩ
10 kΩ
47kΩ
100µF +
3,9kΩ
BA 318
1MΩ
220 kΩ
+
E4+
E4-
A4
A3
E3+
E3-
IC gelb -
E2+
E2-
A2
A1
E1+
E1-
Cx
BA 318
22 kΩ
47kΩ
1MΩ
1MΩ
1MΩ
0,022 µF

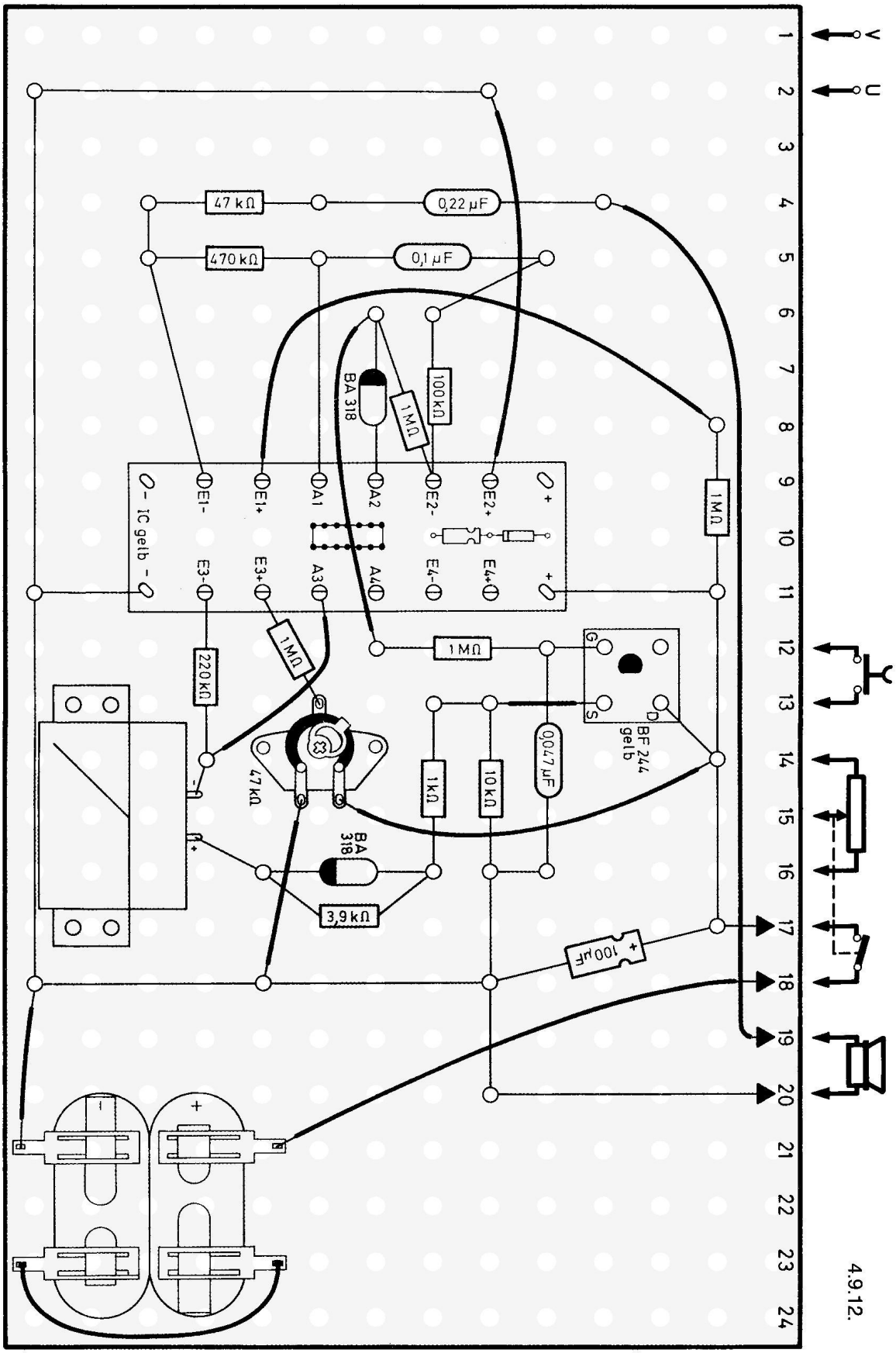
4.9.9.


10 kΩ
5V1
BC 158
blau
100 Ω
47kΩ
1kΩ
220 Ω
10 kΩ
E1-
E1+
A1
A2
E2-
E2+
IC gelb
E3-
E3+
A3
A4
E4-
E4+
BA 318
3,9kΩ
220 kΩ
1MΩ
10000 pF
1 MΩ
10 kΩ
1kΩ
47kΩ
BF
245A
gelb
S
G
D

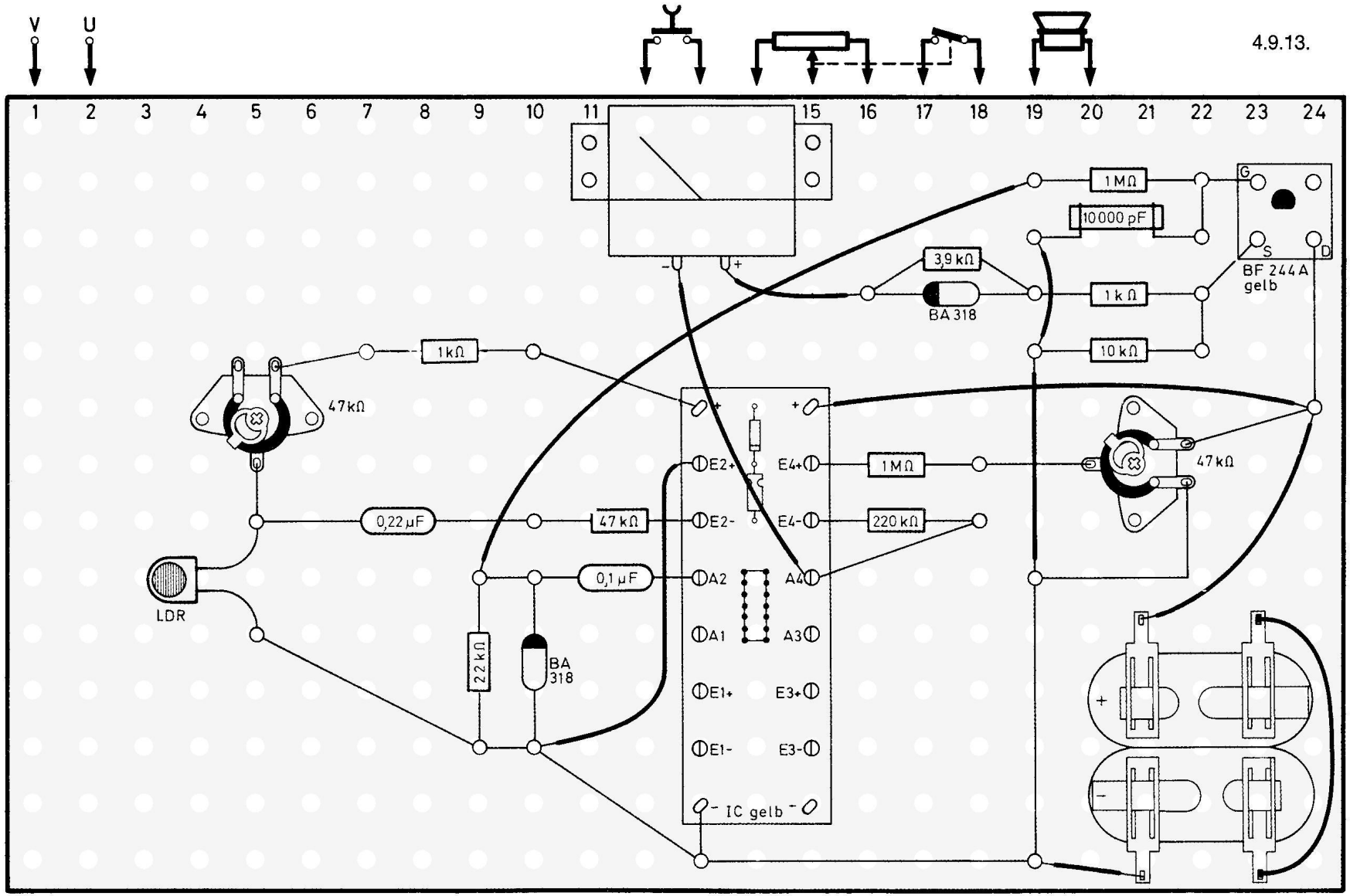
4.9.10.

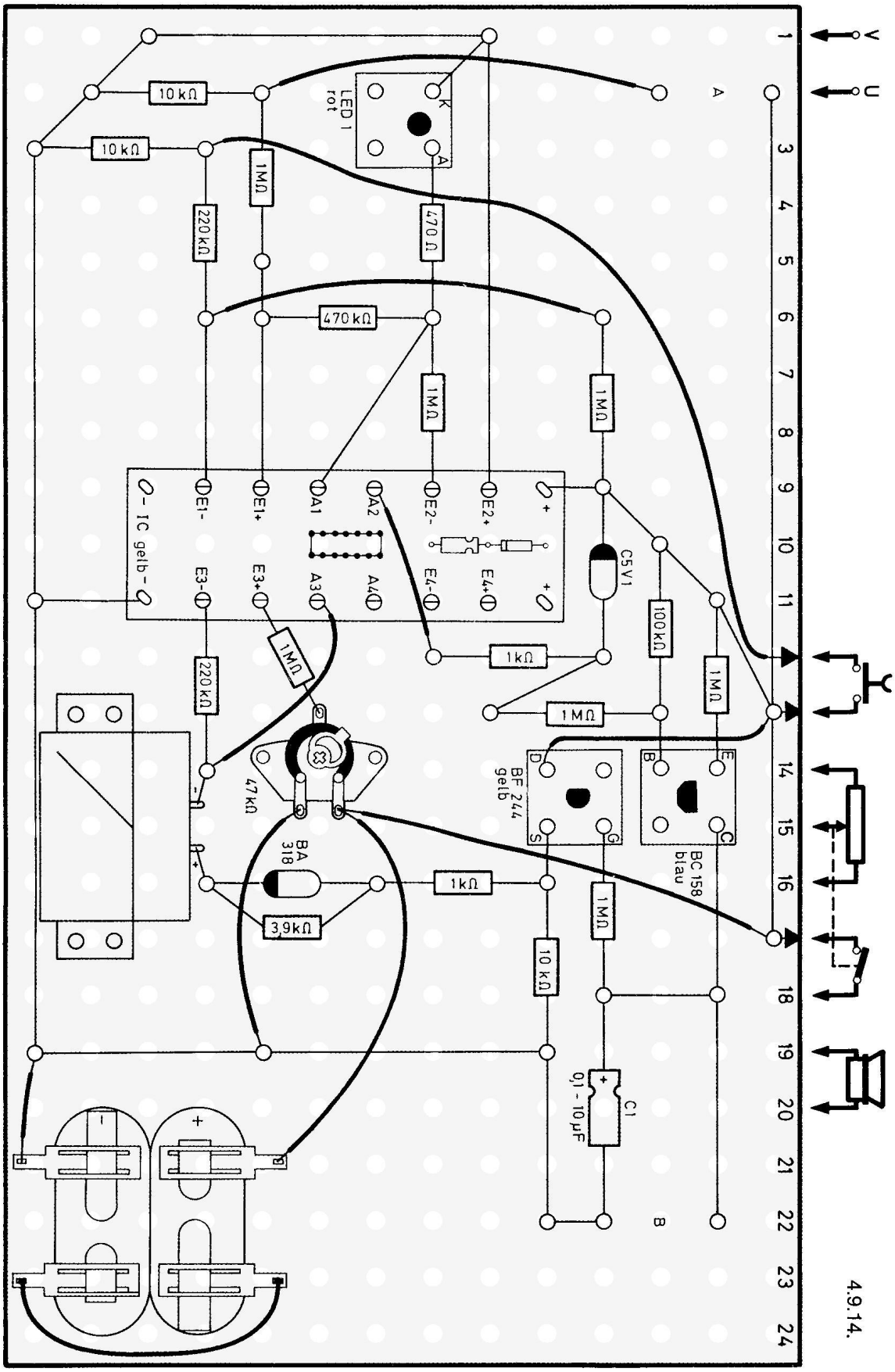

G
S D
BF 245A gelb
1MΩ
10000 pF
1kΩ
10kΩ
47kΩ
3.9K
BA 318
1MΩ
220kΩ
+
E4+
E4-
A4
A3
E3+
E3-
IC gelb
-
E2+
E2-
A2
A1
E1+
E1-
U
-U
R1
NTC
10kΩ
5V

4.9.11.


V
U
47 kΩ
0,22 µF
470 kΩ
0,1 µF
BA 318
100 kΩ
1 MΩ
E1-
E1+
A1
A2
E2-
E2+
+
- IC gelb -
E3-
E3+
A3
A4
E4-
E4+
+
1 MΩ
220 kΩ
1 MΩ
G
S
D
BF 244 gelb
0,047 µF
47 kΩ
1kΩ
10 kΩ
BA 318
3,9 kΩ
100 µF
-
+
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24

4.9.12.


V
U
4.9.13.
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
1MΩ
10000 pF
3,9 kΩ
BA 318
1 kΩ
10 kΩ
G
S
D
BF 244A
gelb
1kΩ
47kΩ
0,22µF
47 kΩ
0,1 µF
22 kΩ
BA
318
LDR
E2+
E2-
A2
A1
E1+
E1-
E4+
E4-
A4
A3
E3+
E3-
IC gelb
1MΩ
220kΩ
47kΩ
+
-


V
U
10 kΩ
10 kΩ
LED 1
rot
K
A
1MΩ
220 kΩ
470 Ω
470 kΩ
1MΩ
1MΩ
E1-
E1+
A1
A2
E2-
E2+
+
- IC gelb -
E3-
E3+
A3
A4
E4-
E4+
+
C5V1
100kΩ
1MΩ
1kΩ
1 MΩ
220 kΩ
1MΩ
47kΩ
BA
318
BF 244
gelb
D
S
G
B
E
C
BC 158
blau
1kΩ
3,9kΩ
1MΩ
10 kΩ
C1
0,1 - 10 µF
A
B
1 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

4.9.14.

NL