

fischertechnik[®] I-e

Een uitbreidingsniveau van het fischertechnik-systeem

Deel 2

Experimenteerhandleiding

[Blz. VIII]

Titelblad: meting van de lichtverdeling in een lichtgordijn

[Blz. IX]

Index van de experimenten

1. Spanningsdeler	104	27. Schakeldrempel van de <i>Schaltstab</i> , relatieve waarden	148
2. Serie-parallel-schakeling	106	28. Schakeldrempel van de <i>Schaltstab</i> , absolute waarden	149
3. Lichtgevoeligheid van een fotoweerstand	108	29. Optische as	150
4. Een wisselend licht maken	110	30. Eenvoudige waarnemingen aan lenzen	152
5. Pulserende gelijkspanning	111	31. Brekingswet	153
6. Terugkoppeling - meekoppeling - tegenkoppeling	112	32. Bepaling van de brandpuntsafstand van lenzen	154
7. Tijdgestuurde verlichting	114	33. Bepaling van de brandpuntsafstand van lenscombinaties	155
8. Stuur- en uitgangsspanning van een versterker	124	34. Afstellen van een lenslamp	156
9. Temperatuurgevoeligheid van een transistor	126	35. Omkering van de lichtstraal	157
10. Schakelgedrag en voedingsspanning van de <i>Schaltstab</i>	127	36. Werking van een diafragma	158
11. Interne spanningsvoorziening van het stuurcircuit	128	37. Afbeelding van diafragma-figuren	159
12. Oriënterende proeven met <i>Schaltstab</i> en fotoweerstand	129	38. Verbetering van de reikwijdte van een lichtslot	159
13. Rechthoekige verspreiding van de lichtstralen	130	39. Loop van de lichtstralen bij een vlakke spiegel	160
14. Donkerheidsgraad van schaduwen	130	40. Brandpuntsafstand van een holle spiegel	161
15. Gerichte en ongerichte reflectie	132	41. Lichtslot met lens en holle spiegel	161
16. Twee vlakken helemaal belichten middels spiegels	133	42. Experimenten met een flexibele spiegelstrip	161
17. Reflectiehoek	133	43. Lichtgordijnen	162
18. Meting van de lichtsterkte van een lamp (visueel)	136	44. Proeven met lichtgeleidende staven	163
19. Afhankelijkheid lichtsterkte van de voedingsspanning	138	45. Schemeringschakelaar als voorbeeld van een besturing	166
20. Lichtsterktemeting volgens Rumford	139	46. Schemeringschakelaar met inschakelvertraging	167
21. Een luxmeter bouwen	140	47. Sorteërinstallatie als voorbeeld van een sequentiële besturing	168
22. Richtkarakteristiek van een lamp	142	48. Synchronisatie van aandrijving als voorbeeld van een regeling	170
23. Richtkarakteristiek van een lenslamp	144	49. Verhoging van de regelsnelheid	173
24. Richtkarakteristiek van een lichtsensor	145	50. Voorbeeld van een grenswaarde-regeling	174
25. Invloed van een afschermkap op de karakteristiek	145	51. Pro-actieve regeling	176
26. Lampen vergelijken d.m.v. een brugschakeling	146		

[Blz. X]

INHOUDSOPGAVE

4.	Grondslagen van de schakeltechniek en elektronika	blz. 102		
4.1	De wet van Ohm	102		
4.2	Elektrisch vermogen en arbeid	102		
4.3	De spanningsdeler	104		
4.4	De serie-parallelschakeling	106		
4.5	Elektrische stroom en elektronen	106		
4.6	Aktieve en passieve componenten	108		
4.7	De fotoweerstand	108		
4.8	Eenvoudige proeven met een fotoweerstand	110		
4.8.1	Een wisselend licht maken	110		
4.8.2	Meting van een pulserende gelijkspanning	111		
4.8.3	Licht-elektronische terugkoppeling	112		
4.9	Het schakelrelais	113		
4.9.1	Het relais algemeen	113		
4.9.2	Het schakelrelais in de fischertechnik <i>Schaltstab</i>	114		
4.10	Gelijkrichten	116		
4.10.1	De gelijkrichterdiode	116		
4.10.2	Dubbelzijdige gelijkrichting	116		
4.10.3	Afvlakking van een pulserende gelijkspanning	117		
4.11	De versterker	118		
4.11.1	Zijn functie	118		
4.11.2	De schakeltransistor	118		
4.11.3	De besturing van de transistor door een fotoweerstand	120		
4.11.4	Stand "1" van de <i>Schaltstab</i>	120		
4.11.5	Stand "2" van de <i>Schaltstab</i>	121		
4.11.6	Schakelschema van de <i>Schaltstab</i>	122		
4.11.7	Stuklijst	122		
5.	Metingen aan de transistorversterker			124
5.1	Verband tussen stuur- en uitgangsspanning			124
5.2	Metingen met verlaagde voedingsspanning			127
5.3	Werking van de spanningsdeler met de <i>Schaltstab</i>			128
5.4	Eenvoudige metingen met de fotoweerstand			129
6.	Grondslagen van de lichttechniek			130
6.1	Lichtbronnen			130
6.2	Lichtabsorptie			131
6.3	Lichtreflectie			132
6.4	Reflectiehoek			133
6.5	Parallele lichtstralen			134
6.6	Begrippen uit de lichttechniek			134
6.6.1	Het lichtvermogen Φ			134
6.6.2	De lichtintensiteit I			135
6.6.3	De verlichtingssterkte E			135
6.6.4	De luminantie B			135

[Blz. XI]

7.	Meetmethoden in de lichttechniek	136	9.3.4	Meer lensvormen	154
7.1	Visuele vergelijking van de verlichtingssterkte	136	9.4	De dioptrie waarde van een lens	155
7.2	Helderheid van de lamp en voedingsspanning	138	9.5	De lichtsterkte van een lens	155
7.3	Een andere visuele methode	139	9.6	Achter elkaar schakelen van lenzen	155
7.4	Elektrische meting van de verlichtingssterkte	140	9.7	De loop van de lichtstralen in lenzen systemen	156
7.4.1	Principe	140	9.7.1	Algemeen	156
7.4.2	Luxmeter	140	9.7.2	Het afstellen van een lenslamp	156
7.4.3	Richtkarakteristiek van een lamp	142	9.7.3	De loop van de lichtstralen in een lenzen systeem	157
7.4.4	Richtkarakteristiek van een fotoweerstand	145	9.7.4	Diafragma in de lichtstraal	158
7.4.5	De brugschakeling	146	9.7.5	Afbeelding van een dradenkruis	159
7.4.6	Vergelijkende meting van lampen	146	9.7.6	Bundeling vóór de lichtsensor	159
8.	Meting van de schakeldrempel van de <i>Schaltstab</i>	148	9.8	Vlakke spiegels	160
9.	Grondslagen van de verlichtingsoptiek	150	9.9	Holle spiegels	161
9.1	De techniek van het lichtslot	150	9.10	Flexibele spiegelstrip	161
9.2	De optische as van een verlichtingssysteem	150	9.11	Lichtgeleider	163
9.3	De convergerende lens	152	10.	Inleiding in de besturings- en regeltechniek	166
9.3.1	Eenvoudige waarnemingen	152	10.1	Het begrip: besturing	166
9.3.2	Lichtbreking	153	10.2	Voorbeeld uit de besturingstechniek: sorteerinstallatie	168
9.3.3	Brandpuntsafstand en brandpunt	154	10.3	Het begrip: regeling	170
			10.4	Grenswaarde-regeling	174
			11.	Antwoorden op de gestelde vragen	178
			12.	Alfabetische index	180

[Blz. XII]

STUKLIJST VAN DE LICHT-ELEKTRONICA BOUWDOOS L-e 1, BESTELNR 30 081

Aantal	Benaming:	Artikelnr.
1	Elektronica- <i>Schaltstab</i> • 6 - 10 Volt \approx (stuklijst zie blz. 122)	31 360
2	Lichtsensoren met beschermweerstand	31 361
2	Afschermkap, zwart, met gat 4 mm	31 362
2	Lichtkoker, met klep	31 363
1	Elektromechanische teller, 5 - 10 Volt -, 100 Ω	31 364
1	Lens nr. 1, f = 35 mm	31 365
1	Lens nr. 2, f = 70 mm	31 366
1	Lens nr. 3, f = 140 mm	31 367
2	Vlakke spiegel, 15 x 30 mm	31 368
1	Holle spiegel, r = 400 mm	31 369
1	Spiegelstrip, 100 x 15 mm, flexibel	31 370
1	Diafragma met gat	31 371
1	Diafragma met spleet	31 372
1	Diafragma met kruis	31 373
2	Lichtgeleider, recht	31 374
1	Lichtgeleider, gebogen	31 375
1	Centreerplaat	31 376
2	As 360 mm	31 377

[Blz. XIII]

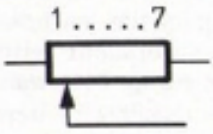

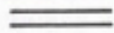


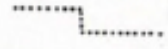
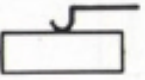

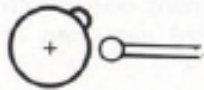
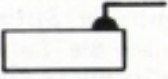

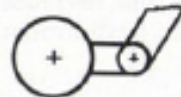
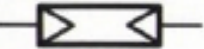





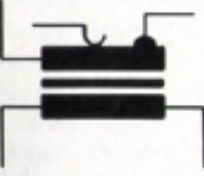
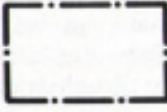
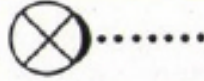
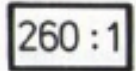
Aantal	Benaming:	Artikelnr.
3	Lichtbouwsteen, zonder lamp en kap	31 313
2	Kogellamp, fitting E 5,5; 6 V, 100 mA	31 314
2	Lenslamp, fitting E 5,5; 6 V, 100 mA	31 315
1	Lichtkap, rood	31 316
1	Lichtkap, geel	31 317
1	Lichtkap, groen	31 318
1	Lichtkap voor lenslamp, rood	31 321
1	Cassette met:	31 378
3	Snoer met stekkers, 300 mm lang, groen	31 379
3	Snoer met stekkers, 300 mm lang, rood	31 380
1	Tweelingsnoer met stekkers, 1.000 mm lang	31 042
1	Snoer zonder stekkers, 3.000 mm lang	31 381
1	Tweelingsnoer zonder stekkers, 1.500 mm lang	31 357
4	Stekker, los, groen	31 336
4	Stekker, los, rood	31 337
1	Scharniersteen VV met twee zwarte nokken	31 008
2	Scharniersteen RV met 1 zwarte en 1 rode nok	31 009
4	Bouwsteen K, 15 mm	31 005
4	Bouwsteen KR, 15 mm, met rode nokken	31 059
1	Bouwhandleiding	31 382
1	Experimenteerhandleiding	31 383

[Blz. XIV]

A. ELEKTRISCHE SCHEMASYMBOLLEN

	Geleider, eenvoudig		Wisselschakelaar met aanduiding van de schakelstand		Batterij (galvanisch element) bestaande uit "n" cellen
	Geleider, flexibel		Schakelaar, handbediend		Gelijkstroom
	Geleider, met gebruik naar keuze		Taster (drukknop, terugveren schakelaar), handbediend		Wisselstroom
	Kruisende geleiders zonder verbinding op het kruispunt		Gloeilamp		Gelijk- of wisselstroom
	Kruisende geleiders met verbinding op het kruispunt		Lenslamp		Spanning in Volt, wisselstroom
	Aftakking		Gelijkstroommotor		Meetinstrument, algemeen
	Vaste verbinding tussen twee geleiders		Relais met 1 wikkeling, getekend zonder contacten		Voltmeter
	Losneembare verbinding tussen twee geleiders		Batterij (galvanisch element)		Weerstand, algemeen
	Stekkerbus met stekker				Weerstand, variabel
	Stekker, flexibel bevestigd			of: 	
	Schakelaar, algemeen				
	Wisselschakelaar				

[Blz. XV]

	Weerstand, met aanduiding van de aftappositie		Condensator, algemeen		of: Mechanische verbinding
	Verstelbaarheid, algemeen		Electrolytische condensator (let op de polariteit)		
	Verstelbaarheid, in stappen		Transistor, NPN-type		Nokkenaandrijving
	Vaste aftakking		Halfgeleider-diode, de pijlpunt wijst in de doorlaatrichting (technische stroomrichting)		Stang-aandrijving
	Fotoweerstand		Versterker, algemeen		Excenterschijf
	Fotoweerstand met lichtkap		Scheidingslijn tussen 2 apparaten		Lagerpunt
	Transformator met ijzerkern, en 1 vaste en 1 stapsgewijze verstelbare aftakking (bijv. fischertechnik-Trafo)		Omkadering van een apparaat		Aanduiding van de stralingsrichting en stralende objecten
					Transmissie met daarin aangegeven de overbrengingsverhouding

[Blz. 102]

4. GRONDSLAGEN VAN DE SCHAKELTECHNIEK EN ELEKTRONIKA

4.1 DE WET VAN OHM

Aan het begin van het eerste deel maakte u kennis met de eenvoudigste begrippen:

De elektrische spanning "U" tussen 2 geleiders, bijv. tussen de contacten van onze trafo. Ze wordt gemeten in Volt.

De elektrische stroom "I", die door een geleider, een bouwsteen of een heel apparaat vloeit. Hij wordt gemeten in Ampère.

De elektrische weerstand "R", die voor iedere component of apparaat een bepaalde waarde heeft. Deze meten we in Ohm (Ω).

Deze drie elektrische basisgrootheden zijn afhankelijk van elkaar. Wiskundig drukken we die afhankelijkheid uit in de volgende vergelijking:
 $U = I \cdot R$ (wet van Ohm)

Kennen we 2 van deze waarden, dan kunnen we de derde met deze formule gemakkelijk uitrekenen.

Voorbeeld 1: Een weerstand van 100Ω wordt aangesloten op een spanningsbron van 6 V. Hoe groot is de stroom door de weerstand? Hoe luidt de formule?

Voorbeeld 2: Een batterij van 6 V moet belast worden met 100 mA. Hoe groot moet de belastingsweerstand zijn?

De wet van Ohm en zijn afleidingen $I = U / R$ en $R = U / I$ kan men heel gemakkelijk onthouden met het volgende ezelsbruggetje:
["U" boven "I R"]
(Stel je het gelijkteken voor in het snijpunt van de 3 scheidingslijnen, dan weet je direct of er aan de andere kant van de vergelijking een maalteken staat of een deelstreep.)

4.2 ELEKTRISCH VERMOGEN EN ARBEID

De elektrische energie die in één seconde aan een elektrische energiebron onttrokken wordt resp. door een apparaat verbruikt wordt, noemt men het elektrisch vermogen. Ze wordt gemeten in Watt of kilowatt, afgekort W resp. kW.

Het vermogen P berekent men eenvoudig als het produkt van spanning U en stroom I: $P = U \cdot I$

Als de spanning in Volt en de stroom in Ampère is aangegeven, dan krijgt men het vermogen in Watt. Voor de elektronikamonteur is de vermogens eenheid 1 Watt al een relatief grote waarde. Hij rekent daarom vaak met milliwatt.

1.000 mW (milliwatt) = 1 W
1.000 W (Watt) = 1 kW
1.000 kW (kilowatt) = 1 MW (megawatt)

Voor de omrekening van elektrisch vermogen in mechanisch vermogen en omgekeerd zijn er de volgende omrekeningsfactoren:

1 kW = 1,36 pk
1 pk = 0,736 kW = 75 kgf•m/s

[Blz. 103]

Het elektrisch vermogen is niets anders dan de in 1 seconde uitgevoerde elektrische arbeid. Wilt u een zekere hoeveelheid elektrische energie in bijv. warmte omzetten, dat kunt u dat met een apparaat dat een groot elektrisch vermogen heeft, in een veel kortere tijd doen dan met een apparaat met een klein elektrisch vermogen.

De elektrische arbeid W die een energiebron afgeeft of een apparaat opneemt, is het produkt van het elektrische vermogen P (in Watt) en de periode " t " waarin dat afgegeven of opgenomen wordt. De eenheid van arbeid is Wattseconde, afgekort Ws .

$$W = P \cdot t$$

In plaats van met Wattseconden rekent de technicus vaak met kilowattuur (kWh).

$$1 \text{ kWh} = 1.000 \cdot 60 \cdot 60 = 3.600.000 \text{ Ws}$$

Uw elektriciteitscentrale is bereid u elektrische energie te leveren. Natuurlijk moet u daarvoor betalen. De centrale telt enerzijds een vast bedrag voor het aanleggen van de leiding naar de woning en het ter beschikking stellen van de elektriciteitsmeter. Dit "basisbedrag" betaalt u ook als u tijdens de gehele betalingsperiode geen enkel elektrisch apparaat heeft ingeschakeld. Anderzijds betaalt u natuurlijk ook nog de hoeveelheid elektriciteit die u tijdens de betalingsperiode heeft afgenomen. Dit is echter niets anders dan de elektrische arbeid, gemeten in kWh .

Een arbeid van $1kWh$ haalt u uit het elektriciteitsnet, als u een apparaat met een vermogen van 1 kW 1 uur lang ingeschakeld laat. Hoe lang kunt u een 100 W gloeilamp laten branden, zodat ze precies 1 kWh verbruikt? Hoeveel stroom vloeit er door een 100 W gloeilamp als ze werkt op een spanning van 220 V ?

Hoeveel vermogen neemt een fischertechnik-lamp met $R = 60 \text{ Ohm}$ op bij een spanning van 6 Volt ? Oplossing zie blz. 178.

Nu kunt u zich nogmaals afvragen waarom 2 in serie geschakelde lampen veel minder fel schijnen dan 2 parallel geschakelde. U weet nog dat bij serieschakeling over elke lamp slechts de helft van de spanning staat. Daarom kan het vermogen dat elke lamp bij serieschakeling opneemt, en in licht en warmte omzet, slechts een vierde zijn van het vermogen dat ze bij parallelschakeling opneemt. Voorwaarde is wel dat de spanning bij parallel- en serieschakeling hetzelfde is.

Bij apparaten die op wisselspanning mogen worden aangesloten, bijv. wisselstroommotoren, noemt men het produkt van U en I het "schijnbare vermogen". Dit wordt in " VA " (Volt-Ampère) gemeten. Het werkelijk

verbruikte vermogen noemt men het "werkelijke vermogen". Dat wordt in Watt uitgedrukt.

[Blz. 104]

4.3 DE SPANNINGSDELER

Voor deze en vele andere proeven heeft u een voltmeter nodig, bijv. die uit de fischertechnik-uitbreidingsdoos I-e 3.

We bouwen een serieschakeling van 3 weerstanden. Daarvoor gebruiken we 3 willekeurige fischertechnik lampen. Bij aansluiting op de gelijkspanningscontacten van de fischertechnik-trafo zullen de lampen maar heel zwak branden. Afb. E 1 toont de proefopstelling, E 2 de schakeling.

We meten achtereenvolgens de spanning tussen alle contacten A - B - C - D.

De totaalspanning U_{1-3} bestaat uit de 3 deelspanningen U_1 , U_2 en U_3 . (Als de som van de gemeten 3 deelspanningen niet precies gelijk is aan de gemeten totaalspanning, dan ligt dat aan de nauwkeurigheid van de voltmeter.)

Een rangschikking van minstens 2 weerstanden in serie kan men een "spanningsdeler" noemen, omdat de totaalspanning over de weerstanden in deelspanningen wordt opgedeeld.

De stroom die door de afzonderlijke in serie geschakelde weerstanden vloeit, is in iedere weerstand gelijk. Daarom moeten de verhoudingen tussen de deelspanningen over de weerstanden gelijk zijn aan de verhoudingen van de weerstandswaarden:

$$U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3$$

Neemt men voor de weerstanden variabele weerstanden, dan kan men elke willekeurige spanning aftappen. Technisch wordt dit probleem opgelost met een weerstand die een "aftakking" heeft. Als deze over de hele weerstand verschuifbaar is, dan spreekt men over een "potentiometer". Het fischertechnik voltmeter-blok bevat behalve de voltmeter ook nog zo'n potentiometer.

Afb. E 3 toont de schakeling van een potentiometer waarop een spanningsmeter is aangesloten. De pijl in het schemasymbool zegt de technicus dat de aftakking zich op elke willekeurige plaats tussen de beide uiterste standen kan bevinden. Met zo'n potentiometer kunnen we dus elke willekeurige spanning aftappen tussen 0 en de spanning die op de potentiometer staat. Dit moet u met de potentiometer van de fischertechnik voltmeter gelijk eens uitproberen. In afb. E 4 ziet u hoe u de bedrading kunt uitvoeren.

Een potentiometer gebruiken we ook in de fischertechnik elektronica-*Schaltstab* om de "schakeldrempel" in te stellen. Maar daarover later.

[Afb. E 2]

[Afb. E 3]

[Blz. 105]

[Afb. E 1]

[Afb. E 4]

[Blz. 106]

4.4 DE SERIE-PARALLELSCHAKELING

In het begin van het eerste deel heeft u kennis gemaakt met de parallelschakeling en de serieschakeling van 2 lampen. U weet zeker nog:

Zet men weerstanden in serie, dan is de totaalweerstand gelijk aan de som van de afzonderlijke weerstanden.

Zet men weerstanden parallel, dan wordt de totaalweerstand kleiner.

Om de totaalweerstand te berekenen van parallelgeschakelde weerstanden berekent men de reciproque waarde van de afzonderlijke weerstanden en telt deze op. De reciproque waarde van de weerstand noemt men de "geleidbaarheid".

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots \quad \text{parallel}$$

Schakelt men slechts 2 weerstanden parallel, dan is deze vergelijking te vereenvoudigen:

$$R = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2) \quad \text{parallel}$$

Als $R_1 = R_2$ dan is $R = 0,5 R_1$

Bij een serieschakeling geldt:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad \text{in serie}$$

Meestal hebben we een combinatie van serie- en parallelschakeling. De eenvoudigste vorm toont schakeling E 5. We bouwen die met 3 lampen.

[Afb. E 5]

We weten:

$$U = U_1 + U_2 \quad \text{en} \quad I = I_1 = I_2 + I_3$$

Om te beginnen a.u.b. nog niet inschakelen! Beredeneer welke lamp het meest helder brandt als u 3 gelijke lampen heeft gebruikt. Daarna overtuigt u zich van de juistheid van uw redenering door de trafo in te schakelen.

Zou lamp 1 helderder of minder helder schijnen als u parallel aan lamp 2 en 3 nog een lamp schakelt? Oplossing zie blz. 178.

4.5 DE ELEKTRISCHE STROOM EN DE ELEKTRONEN

De elektrische stroom kan men niet zien, alleen zijn werking is zichtbaar. De vraag waarom stroom trouwens vloeien kan, is een overweging waard.

De kleinste bouwstenen in de natuur zijn de atomen. Daarvan zijn er ongeveer 100 verschillende bekend. Deze zijn in het zogenaamde periodieke systeem der elementen gerangschikt. Deze atomen bestaan uit een zeer kleine atoomkern en de elektronen, die in schillen om de kern roteren (cirkelen) zoals wolken op verschillende hoogtes om de aarde.

Afb. E 6 laat ons dit in principe zien. Vergeleken met de grootte van de kern zijn de afstanden van de schillen tot de kern en onderling enorm verkleind getekend.

De verschillende soorten atomen onderscheiden zich door het gewicht van hun kern, het aantal elektronen en het aantal elektronenschillen. In iedere schil roteren - al naargelang het soort atoom - meer of minder elektronen.

In de binnenste schil kunnen dat hoogstens 2 elektronen zijn, in de tweede schil 8, in de derde 18, enz. De atoomkern is elektrisch "positief", de elektronen daarentegen zijn elektrisch "negatief" geladen.

De eerstvolgende grotere bouwstenen van de natuur noemt men moleculen. Een molecuul moet uit minstens 2 atomen bestaan. Maar dat kunnen er ook honderden zijn.

[Blz. 107]

[Afb. E 6]

Kern en elektronen niet op schaal getekend

Koperatoom

Kern	34	neutronen	
			29 protonen
Schil	1	2	elektronen
„	2	8	„
„	3	18	„
„	4	1	„
	$\Sigma =$	29	„

[Afb. E 7]

De atomen in vaste stoffen zijn in het algemeen in een ruimtelijk rooster gerangschikt. De atomen bevinden zich op de knooppunten daarvan. De afstanden tussen de knooppunten zijn door de natuur voor iedere stof bij wijze van spreken voorgeschreven en tegenwoordig bekend. De atomen raken elkaar niet, maar kunnen binnen bepaalde grenzen om de knooppunten bewegen.

Een koperdraad bijv. kan men zich voorstellen als een ketting die uit zeer veel gelijksoortige koperatomen bestaat en die elkaar niet beïnvloeden. Zolang men van buitenaf geen elektrische spanning aanbrengt, zijn de ladingdragers - de kernen als positieve en de elektronen als negatieve dragers - met elkaar in evenwicht.

Brengt men echter een elektrische spanning aan op de uiteinden van die ketting, dan verandert het evenwicht! Aan het raakvlak van de ketting met de positieve pool van de spanningsbron trekt deze een elektron uit de

buitenste schil van het koperatoom. Daardoor wordt het elektrisch evenwicht van dat atoom verstoord en onmiddellijk ten koste van een aangrenzend atoom weer hersteld. Dat atoom had echter geen elektron over en mist nu een elektron. Het haalt dus een elektron weg bij het volgende atoom. De verstoring wordt zo door de gehele koperdraad doorgegeven. Tenslotte moet de minpool van de spanningsbron het ontbrekende elektron aanvullen. Natuurlijk wordt niet slechts 1 elektron uitgewisseld.

Omdat echter van buitenaf door de aangelegde spanning steeds opnieuw een verstoring van het evenwicht plaatsvindt, gaat het transport van de elektronen steeds door, in een poging de spanning te vereffenen. Anders gezegd: De elektrische stroom vloeit totdat ofwel de stroombron, bijv. een batterij, is uitgeput, ofwel de stroom door onderbreking van de elektrische geleider, dus de atoomketting, wordt gestopt. In dat geval wordt de stroomkring geopend.

We zien dus dat de elektriciteit zich in het binnenste van de atomen bevindt. Elektrische ladingen werken als magneten op elkaar. Daarbij moeten we nog weten dat de atoomkern uit positieve protonen bestaat en er in het atoom nog elektrisch neutrale "neutronen" aanwezig zijn.

Om een globale voorstelling te krijgen van de grootte van elektronen en de grootte van de elektrische lading van een elektron, is het goed te weten dat door een geleider waardoor een stroom van 1 A vloeit, iedere seconde ongeveer 10^{19} elektronen bewegen. (10^{19} is een 1 met 19 nullen erachter, dus het getal 10 000 000 000 000 000 000.) Wellicht niemand van ons kan zich een voorstelling maken van de grootte hiervan.

[Blz. 108]

4.6 AKTIEVE EN PASSIEVE COMPONENTEN

Elektronische schakelingen zijn uit vele componenten opgebouwd. Iedere component heeft een zekere opgave. Met de twee belangrijkste componenten hebben we al kennis gemaakt, de energiebron en de weerstand.

Iedere elektrische energiebron behoort tot de groep van de actieve componenten. In deze groep vinden we tevens de elektronenbuizen en de

transistoren, omdat deze met behulp van een externe energiebron elektrische gebeurtenissen versterken of sturen.

De passieve componenten zijn in elektronische schakelingen in het algemeen slechts hulpmiddelen om bepaalde spanningsverhoudingen of stromen te maken. De weerstand is de belangrijkste vertegenwoordiger van de passieve componenten; andere zijn de condensatoren, spoelen, gelijkrichters en transformatoren. Diodes zijn eveneens passieve componenten. (Het zijn, net als transistoren, halfgeleiders.) Een speciaal voor onze doeleinden interessante component bekijken we in de volgende paragraaf.

U moet ook weten wat het begrip "elektronische schakeling" inhoudt: een schakeling noemt men "elektronische schakeling" als halfgeleiders of elektronenbuizen er een wezenlijke functie in vervullen.

De "elektronica" houdt zich bezig met dit gebied van de wetenschap en de daarbij behorende componenten.

4.7 DE FOTOWEERSTAND

Deze (passieve) component is een halfgeleider. Hij is ingebouwd in onze fischertechnik lichtsensor. Om de lichtgevoeligheid van een fotoweerstand te bewijzen sluiten we hem in serie met een lamp aan op de contacten van onze trafo. Afb. E 8 toont de schakeling. De lamp dient in deze proef uitsluitend als controle-instrument, waarmee we vaststellen hoeveel stroom er in de stroomkring vloeit. (Ze moet dus de te onderzoeken fotoweerstand niet verlichten!)

[Afb. E 8]

Laat men licht - daglicht of het licht van een andere gloeilamp - op de fotoweerstand vallen, dan gloeit het gloeilampje zwak. Bedekken we echter de fotoweerstand, dan gloeit de lamp niet meer. Door de verlichting van de fotoweerstand te veranderen kan men de stroom in de stroomkring laten variëren. Het bewijs wordt geleverd door de variërende helderheid van de lamp.

Daaruit kunnen we concluderen: De fotoweerstand is een component waarvan de weerstand varieert afhankelijk van de verlichting van het lichtgevoelige oppervlak.

Het woord "foto" is afkomstig van het griekse "photon" en betekent licht. De opbouw van een fotoweerstand is te zien in afb. E 9.

Onthoud: De elektrische weerstand van een lichtgevoelige fotoweerstand vermindert als de hoeveelheid licht toeneemt.

Er zijn nog andere componenten, waarmee men elektrische stroomkringen met behulp van licht kan beïnvloeden. Dat zijn:

Fotodiode en fotocel als passieve componenten, fotoelement en fototransistor als actieve componenten. Het meest gebruikt men echter fotoweerstanden in de techniek.

[Blz. 109]

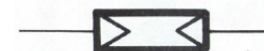
[Afb. E 9]

[Afb. E 10]

Op een niet-geleidende drager 1 is een dunne laag cadmiumsulfide 2 aangebracht (in vacuüm opgedampt). Daarop bevinden zich twee geleidende, maar van elkaar gescheiden metallische vlakken 3 en 4. Ieder heeft zijn eigen aansluiting 5 en 6. Over het geheel is een niet-geleidende doorzichtige bescherm laag aangebracht.

Om een zo gunstig mogelijke vorm van het "halfgeleidende" cadmiumsulfide tussen de beide geleidende vlakken te verkrijgen, zijn de geleidende vlakken kamvormig uitgevoerd. Afb. E 10 laat dit duidelijk zien.

We moeten ook het genormaliseerde schemasymbool onthouden van een fotoweerstand:



De in de fischertechnik lichtsensor ingebouwde fotoweerstand mag niet meer dan 0,2 W vermogen opnemen. Anders wordt hij ontoelaatbaar heet. Zou men uit onwetendheid of per vergissing zo'n fotoweerstand rechtstreeks op de trafo aansluiten en helder verlichten, dan zou het door de fotoweerstand opgenomen vermogen deze grens overschrijden.

Daarom is in de lichtsensorbehuizing een beschermweerstand in serie met de fotoweerstand geschakeld, die het opgenomen vermogen beperkt tot toelaatbare waarden.

Zou men de fotoweerstand als eenvoudige schakelaar gebruiken om een gloeilamp in en uit te schakelen, dan zou die nooit op volle spanning kunnen branden, omdat de in serie geschakelde fotoweerstand immers een deel van de totaalspanning wegneemt. Bovendien kan men vanwege de beperkte toelaatbare stroomsterkte geen hoge stromen schakelen.

Waarom reageert nu eigenlijk een fotoweerstand op licht? In het hoofdstuk "Elektrische stroom en elektronen" heeft u gelezen dat een elektrische spanning over een ketting van metaalatomen een verstoring van het evenwicht veroorzaakt. Gebruikt men voor deze ketting echter geen koper maar cadmiumsulfide, dan veroorzaakt het aanleggen van een spanning alleen een verstoring als de cadmiumsulfidelaaag verlicht wordt. Hoe sterker de verlichting, hoe groter de verstoring. Men noemt cadmiumsulfide een foto-halfgeleidermateriaal, omdat zijn weerstand afhankelijk van de hoeveelheid licht klein of groot is.

[Blz. 110]

4.8 EENVOUDIGE PROEVEN MET EEN FOTOWEERSTAND

4.8.1 Een wisselend licht maken

Twee gloeilampen worden in serie geschakeld op de gelijkspanningscontacten van onze trafo. Parallel aan één van de lampen bevindt zich een fischertechniek lichtsensor.

We verlichten de lichtsensor met een lenslamp. Brengen we de lenslamp dichterbij de lichtsensor, dan wordt de daaraan parallel geschakelde lamp donkerder. Waarom? (Antwoord op pag. 178.)

Dit effect willen we gebruiken om een "wisselend licht" te maken.

De excenterschijf (uit het zakje bij dit deel) bevestigen we tussen 2 draaischijven - zie model - en we onderbreken daarmee geheel of gedeeltelijk de lichtstraal van lamp L 3 naar de fotoweerstand. De lenslamp en de lichtsensor stellen we zo op dat in de ene uiterste stand

van de excenter de lichtsensor volledig en in de andere stand helemaal niet wordt verlicht.

Als de excenter langzaam draait variëren de helderheden van de 2 lampen. De "frequentie" van het wisselend licht hangt af van de snelheid waarmee we de excenter draaien. Draait u met een zodanige snelheid dat de excenter voor 1 omwenteling 1 seconde nodig heeft, dan wordt in dit tijdsbestek elke lamp 1 keer helder en 1 keer donker. Dit komt overeen met een frequentie van 1 "Hertz". Draait u 5 maal zo snel, dan maakt u een wisselend licht met een frequentie van 5 Hertz.

U kunt het model ook met een motor aandrijven. Door het veranderen van de overbrenging kunt u het toerental vinden waarbij als gevolg van de traagheid van de gloeidraad van de lampen het wisselend licht overgaat in constant licht. In dat geval kan de gloeidraad gedurende de tijd dat er minder stroom vloeit, niet meer afkoelen.

[Afb. E 11]

[Afb. E 12]

[Blz. 111]

4.8.2 Meting van een pulserende gelijkspanning

De spanningschommelingen over de lampen L 1 en L 2, veroorzaakt door de wisselende verlichting van de fotoweerstand, zijn niet erg groot omdat de lampen een kleine weerstand hebben in vergelijking met de fotoweerstand. Met een spanningsmeter kunnen we ze meten.

[Afb. E 13]

Veel sterkere schommelingen van de spanningen kunnen we maken als we de fotoweerstand in serie met de fischertechniek potentiometer (1 kilo-ohm) schakelen.

Een volledig afgedekte fotoweerstand heeft een weerstand van ongeveer 1 MΩ. Bij heldere verlichting bedraagt die ongeveer 150 Ω. De spanning over de fotoweerstand verandert met de hoeveelheid verlichting, die we kunnen variëren door de excenterschijf te draaien. Bij rustig draaien

verkrijgen we een "pulserende" gelijkspanning. Deze schommelt in het ritme van de rotaties.

[Afb. E 14]

Meetprotocol

Stand van de excenter

% verlichting van het fotoweerstandsvlak

Spanning U_1 in Volt

[Afb. E 15]

Diagram

(X-as:) Draaihoek

Draait men de excenterschijf in stappen van 10° en noteert daarbij de spanning over de fotoweerstand, dan krijgt men een tijdsdiagram van deze spanning.

Vul a.u.b. het meetprotocol en het diagram aan en voer dan zelfstandig de proef uit.

Draait men de schijf langzaam, dan kan de voltmeter het verloop van de spanning volgen. Draait met ze evenwel snel, dan zal de voltmeter alleen nog maar het gemiddelde aanwijzen. Men kan dit ook ongeveer berekenen door de som van alle meetwaarden te delen door het aantal metingen. Teken de gemiddelde waarde met een streeplijn in het diagram.

De technicus drukt het zo uit: Een pulserende gelijkspanning is een gelijkspanning - overeenkomend met de gestreepte lijn - waarop een wisselspanning "gesuperponeerd" is. Bij een zuivere of pulserende (gelijkmatig schommelende) gelijkspanning wijzigt de polariteit niet, bij wisselspanning daarentegen na iedere halve periode.

[Blz. 112]

4.8.3 Licht-elektronische terugkoppeling

We gebruiken weer de vorige proefopstelling en schakelen 2 lenslampen in serie. Parallel aan één daarvan schakelen we een fotoweerstand. De fotoweerstand wordt echter niet zoals bij de vorige proef door een derde lamp verlicht, maar door de lamp waaraan hij parallel geschakeld is.

In de tweede proefneming schakelen we hem parallel aan de andere lamp. De lichtstraal onderbreken we ofwel met de hand ofwel met de excenter. Parallel aan lamp 1 kunnen we een spanningsmeter schakelen.

Beide lampen branden ongeveer even sterk als de lichtstraal naar de fotoweerstand onderbroken is. De "donker"-weerstand van de fotoweerstand is zo groot dat hij de uit beide lampen bestaande spanningsdeler niet beïnvloedt.

Schakeling 1: Verlicht men echter de fotoweerstand, dan zal de weerstand van de lichtsensor nu wel van invloed zijn en daarmee wordt de spanning over lamp 1 kleiner. Dan wordt U_2 , de spanning over lamp 2, groter. In een fractie van een seconde speelt zich het volgende af:

[Afb. E 16]

Schakeling 1

Omdat U_1 kleiner wordt, neemt ook de helderheid van lamp 1 af. Daardoor valt ook minder licht op de lichtsensor, zodat de spanning U_1 niet zover afneemt als bij verlichting met een constant brandende lamp.

Schakeling 2: Schakelen we de fotoweerstand parallel aan lamp 2, dan wordt spanning U_2 kleiner en dus spanning U_1 groter. Lamp 1 zal daardoor dus helderder branden. De "inwendige weerstand" van de lichtsensor wordt daardoor nog kleiner, zodat de spanning U_1 nu in tegenstelling tot schakeling 1 extra afneemt. Ook dit proces heeft weer een "insteltijd" van enige milliseconden nodig voordat een evenwicht wordt bereikt.

[Afb. E 17]

Schakeling 2

Met de spanningsmeter kunnen we de verschillen in de spanningen van beide schakelingen vastleggen.

In beide gevallen beïnvloedt de toestand aan de "uitgang" van de schakeling de "ingang" ervan. De technicus noemt dit een "terugkoppeling". Schakeling 1 is een zogenaamde "tegenkoppeling", omdat door de koppeling het oorspronkelijke effect wordt verzwakt. In het tweede geval is er sprake van een "meekoppeling" omdat door dit soort terugkoppeling het oorspronkelijke effect wordt versterkt.

Onze fischertechnik voltmeter zal bij tegenkoppeling een spanningswijziging van ongeveer 0,9 Volt aangeven en bij meekoppeling ongeveer 1,6 Volt.

[Blz. 113]

4.9 HET SCHAKELRELAIS

4.9.1 Het relais algemeen

Om stroomkringen te schakelen gebruikt men in de techniek vaak een elektromagnetisch bestuurd schakelaar, het zogenaamde "relais".

[Afb. E 18]

De twee principiële delen van een relais zijn:

1. Magneetspoel 1 met een koperdraadwikkeling en een U-vormige ijzerkern 2. Het "anker" 4 scharniert om scharnier 3. Eén van de armen van het anker 4 wordt door de ijzerkern 2 aangetrokken als er stroom door de spoel vloeit.

2. Contactenset met minstens 2 contactveren 5 en 6. De tweede arm van het anker 4 drukt in onze principeschets bij ingeschakelde stroom de onderste veer 5 tegen de bovenste veer 6. Wordt de stroom uitgeschakeld, dan drukt veer 5 het anker weer terug in de ruststand. Meestal wordt ook nog een extra veer voor het anker zelf ingebouwd en een aanslag voor veer 6.

Onthoud het schemasymbool voor een relais met een relaispoel en een wisselcontact:

[Afb. E 19]

De rechthoek met de schuine streep is het schemateken voor de relaispoel. De dubbele lijn tussen spoel en contactveer staat symbool voor de mechanische koppeling tussen anker en middencontact. De behuizing van het relais is voorgesteld door de streep-stippellijn.

Vloeit er weinig of geen stroom door de spoel van het relais, dan is "a" met "b" verbonden. Vloeit er echter zoveel stroom dat het anker wordt aangetrokken, dan is er verbinding tussen "a" en "c".

Het voordeel van een relais is dat de "stuurstroomkring", waarin de relaispoel is opgenomen, onafhankelijk is van de schakelstroomkring. Zo kan men bijv. de stuurstroomkring laten werken op gelijkspanning, terwijl de contacten van het relais in een wisselstroomkring zitten. Nog een voordeel is dat men met een relatief klein "stuurvermogen" een groot vermogen kan schakelen.

Voorbeeld:

[Afb. E 20]
apparaat 1 kW

Het is ook mogelijk om in plaats van één contactenset verschillende sets aan te brengen. Het relais in de fischertechnik *Schaltstab* heeft 2 wisselcontacten. We kunnen het relais waarnemen door het doorzichtige deksel van de behuizing. Natuurlijk mogen we *Schaltstab* niet gebruiken om apparaten te schakelen die uit het lichtnet gevoed worden.

[Blz. 114]

4.9.2 Het schakelrelais in de fischertechnik-*Schaltstab*

Het relais in de *Schaltstab* is al van bedrading voorzien. Met behulp van de rode drukknop bovenin het huis kunnen we het schakelen. Het schakelschema afbeelding E 21 laat ons zien hoe we het relais in de *Schaltstab* kunnen gebruiken. (De voor deze schakeling niet benodigde componenten zijn niet getekend. De gelijkrichter wordt pas in de volgende paragraaf besproken.)

[Afb. E 21]
Gelijkrichter

In het schemasymbool voor de drukknop stelt het driehoekje de veer voor die de knop laat terugveren. De pijlpunt naar boven geeft aan dat in de normale toestand het contact open is.

In het symbool voor de schakelaar ontbreekt dit teken.

De twee wisselcontacten zijn als ompoolschakelaar aangesloten. Daarmee kunnen we de draairichting van gelijkstroommotoren omkeren. Als de drukknop niet is ingedrukt dan is contact 6 de pluspool en contact 5 de minpool. Bedient men de drukknop, dan worden plus en min verwisseld.

De contacten 1 en 3 zijn altijd minpool, contact 2 is pluspool als de drukknop is ingedrukt en anders eveneens minpool. Contact 4 is pluspool als de drukknop niet is ingedrukt en minpool als hij wel is ingedrukt. Contactenparen 1 - 2 en 3 - 4 zijn ofwel kortgesloten ofwel voeren spanning, waarbij de één spanning voert als de ander kortgesloten is.

Sluit de *Schaltstab* aan op de trafo, zet de schuifschakelaar in stand "1" en sluit op alle drie de uitgangen een lamp aan. Druk dan enkele malen op de rode drukknop.

De juistheid van de aangegeven polen en het ompolen kunt u controleren met behulp van een spanningsmeter of door een motor aan te sluiten en de draairichting waar te nemen.

Let er a.u.b. op dat u de *Schaltstab* niet zwaarder dan 0,6 Ampère belast. Deze belasting bereikt u met 6 gloeilampen of drie gloeilampen en de grote fischertechnik motor.

Met deze schakeling kunnen we al machinebesturingen bouwen. Ze worden niet door licht maar door een drukknop bestuurd.

Probeer u gelijk eens een schakeling te bouwen om de volgende opgave op te lossen: 2 lampen moeten een zekere tijd, bijv. 3 seconden, oplichten nadat een drukknop, bijv. de fischertechnik-drukknop (uit e-m 1 of e-m 3), kort is ingedrukt. Een andere lamp moet de drukknop verlichten als het hoofdlicht niet brandt.

Deze opgave is ook als een schakelschema voor te stellen: afb. E 22!

De startknop in de *Schaltstab* werkt hier als omschakelknop. Als de door de motor aangedreven nok hem heeft vrijgegeven - zie schakelschema - dan loopt de motor door totdat de nok de omschakelknop bedient. Daardoor worden de 2 lampen en de motor spanningsloos en de hulplamp wordt ingeschakeld. Drukt men de tweede drukknop T in, die als

"sluitcontact" werkt, dan wordt het geopende contact van de motor overbrugd en de motor begint te lopen. Daarmee geeft de nok de omschakelknop vrij en het spel begint weer van voor af aan.

Het bedradingsschema laat zien hoe men deze opgave met behulp van de *Schaltstab* kan oplossen. Bovendien heeft men de fischertechnik-drukknop en een excenterschijf uit het fischertechnik uitbreidingsdoosje 06 nodig. In geval van nood kunt u een draaischijf met hoeksteen gebruiken.

[Blz. 115]

[Afb. E 22]
Schaltstab
3 seconden

[Afb. E 23]

[Blz. 116]

4.10 GELIJKRICHTEN

Om u het werken met de *Schaltstab* gemakkelijker te maken, d.w.z. verkeerde aansluitingen zoveel mogelijk te voorkomen en "snoeren" spaghetti te vermijden, is in de *Schaltstab* ook een gelijkrichter ingebouwd. Nog een voordeel hiervan: het maakt niet uit of u de *Schaltstab* aan wisselspanning of gelijkspanning aansluit. In het laatste geval speelt zelfs de polariteit van de gelijkspanning geen rol. Eerst houden we ons even met de theorie bezig.

4.10.1 De gelijkrichterdiode

Basisprincipe:

[Afb. E 24]
← I technische stroomrichting
→ Elektronenstroom

Sluit men een wisselspanning van onze trafo met een frequentie van 50 Hertz aan op de ingangscontacten, dan wordt 1/100 seconde (1/2 periode)

lang negatieve spanning op contact 9 en positieve spanning op contact 10 staan. Tijdens de volgende halve periode is de polariteit dan omgedraaid. Bij gebruik van de fischertechnik trafo stijgt de spanning tussen de contacten 9 en 10 tijdens de eerste halve periode eerst van 0 naar ongeveer 10 volt en neemt dan weer af tot 0. Er is sprake van een topwaarde U_{\max} , een gemiddelde waarde U_{mit} en een "effectieve waarde" U_{eff} . Deze bedraagt bij een sinusvormige wisselspanning $= 0,71 \times U_{\max}$.

[Afb. E 25]

↑ Spanning U
1 periode
→ tijd t

Het diagram E 25 toont het verloop van de spanning tussen de contacten 9 en 10 als functie van de tijd.

In de leiding is een voor ons nieuwe component, een diode D getekend. In één van de halve periodes kan stroom door de diode naar de uitgang, dus naar de weerstand R en van daaruit terug naar de stroombron vloeien. In de tweede halve periode, waarin de spanning tussen de contacten 9 en 10 de tegengestelde polariteit heeft, vloeit er vanwege het "spereffect" in de diode geen stroom. Het "tijd"-diagram van de stroom ziet er daarom als volgt uit:

[Afb. E 26]

↑ stroom I
1 periode
→ tijd t

In dit diagram ontbreekt dus de negatieve helft van de golf.

Het verloop in de tijd van de spanning U over de weerstand komt precies overeen met het diagram voor de stroom. Er kan dan ook alleen maar spanning over de verbruiker staan als er stroom doorheen vloeit.

Deze vorm van gelijkrichting noemt men "enkelzijdige gelijkrichting". Ze is met eenvoudige technische middelen uitvoerbaar, maar heeft het nadeel dat er gedurende slechts de helft van de tijd stroom door de stroomkring vloeit.

4.10.2 Dubbelzijdige gelijkrichting

Voor de energievoorziening van apparaten is de zogenaamde dubbelzijdige gelijkrichting meer geschikt. Het principe ziet u in het volgende schema.

[Afb. E 27]

[Blz. 117]

In de ene halve periode vloeit er stroom via diode D_1 naar de verbruiker en via diode D_3 terug naar de stroombron. In de andere halve periode echter vloeit de stroom via D_2 naar de verbruiker en via D_4 terug naar de bron.

[Afb. E 28]

↑ stroom I
1 periode
→ tijd t

Het diagram dat het verloop van de stroom toont lijkt nu al meer op een zuivere gelijkstroom.

Bij dubbelzijdige gelijkrichting vloeit er voortdurend stroom door de verbruiker, maar de stroomsterkte pulseert tussen 0 en de maximale waarde, daarom noemt men zo'n spanning een "pulserende gelijkspanning". Door additionele componenten toe te voegen kan men hiervan een gelijkmatige stroom maken. In de fischertechnik trafo is ook een dubbelzijdige gelijkrichter ingebouwd.

4.10.3 Afvlakking van een pulserende gelijkspanning

Motoren en lampen kan men zonder meer met een pulserende gelijkspanning laten werken. De versterker in onze elektronica-*Schaltstab* - waarover we het nog zullen hebben - moet echter met een zuivere gelijkspanning gevoed worden. Daartoe moet de verkregen pulserende gelijkspanning nog worden afgevlakt. Dit gebeurt met een condensator.

[Afb. E 29]

De condensator C werkt als een "buffer". In de korte tijd waarin de volle spanning over de condensator staat, neemt hij energie op. In die tijd vloeit

er dus door de gelijkrichter meer stroom dan de verbruiker R nodig heeft. Er wordt energie in de condensator gepompt.

Zakt de spanning tijdens de tweede helft van de halve periode, dan geeft de condensator een deel van de opgeslagen energie weer af aan de verbruiker, waarbij zijn eigen spanning langzaam daalt. Gedurende deze tijd vloeit er dus alleen stroom door de 2 leidingen tussen condensator en verbruiker, terwijl er tussen gelijkrichter en condensator geen stroom vloeit. Dit proces van energie-opname en -afgifte herhaalt zich voortdurend. Op deze wijze kan men - door de "capaciteit" van de condensator groot genoeg te kiezen - de stroomsterkte en daarmee de spanning bij de verbruiker R nagenoeg constant houden.

Het verloop in de tijd van de spanningen na het inschakelen zonder (U_{q1}) en met condensator (U_2) toont afb. E 30.

[Afb. E 30]

In de *Schaltstab* zorgt een extra diode (D_5) ervoor dat de condensator zich niet kan ontladen over de lampen of motoren die op de "uitgang" zijn aangesloten. Schema E 31 laat het principe zien:

[Afb. E 31]

versterker
naar de uitgang $\uparrow \uparrow$

De versterker werkt dus op zuivere gelijkspanning, terwijl aan de 3 uitgangen alleen pulserende gelijkspanning ter beschikking staat. De 3 spanningen U_- - U_{q1} - U_2 zijn al geschetst in diagram E 30.

[Blz. 118]

4.11 DE VERSTERKER

4.11.1 Zijn functie

Als we een fotoweerstand in serie zetten met een relais, kunnen we het relais alleen schakelen onder extreem gunstigste omstandigheden (zeer heldere resp. vrijwel geen verlichting van de fotoweerstand). Daarom is er

in de *Schaltstab* een versterker tussen de fotoweerstand en het relais geplaatst.

Dat levert het volgende principieschema:

[Afb. E 32]

versterker

Het relais en de 2 contactensets die het bedient hebben we al leren kennen. Ook de spanningsdeler die uit een fotoweerstand en een vaste weerstand bestaat kent u in principe al:

Zet men over een spanningsdeler bestaande uit een vaste weerstand en een fotoweerstand een gelijkspanning, dan staat er, afhankelijk van de hoeveelheid licht op de fotoweerstand, meer of minder spanning over de deelweerstand. Verandert de helderheid, dan verandert ook de spanning. Dit relatief kleine spanningsverschil versterkt men door middel van een elektronische versterker en stuurt daarmee het relais. De versterker noemen we "schakelversterker". We hebben hem nodig omdat bij directe schakeling van de fotoweerstand in serie met de relaispoel het "stuurvermogen", dat bij een kleine verandering van de stuurspanning U_1 ontstaat, te klein is om het relais te sturen, d.w.z. te zorgen voor "aantrekking" of "terugval" van de relaiscontacten. Het stuurvermogen is het verschil tussen de producten van stuurspanning maal stroomsterkte van de fotoweerstand bij heldere resp. zwakke verlichting ervan.

Het essentiële onderdeel van onze schakelversterker is de schakeltransistor. Verder bevat de schakeling nog weerstanden, condensatoren en diodes. Deze componenten dienen echter slechts voor de opbouw van de schakeling of ter bescherming van de transistor. Bekijken we eerst eens een transistor wat nader.

4.11.2 De schakeltransistor

De schakeltransistor is net zoals de fotoweerstand een moderne halfgeleidercomponent. Naar buiten toe heeft hij 3 aansluitingen die de technici "basis", "collector" en "emitter" genoemd hebben. Er zijn 2 wezenlijk verschillende typen transistoren. De symbolen daarvan lijken veel op elkaar; ze moeten echter niet verwisseld worden.

[Afb. E 33]

In het symbool staat de pijl in de emitter, enerzijds naar de basis toe en anderzijds ervan af. In het ene geval wordt de collector, in het andere de emitter aan de "minpool" aangesloten.

[Blz. 119]

De transistor moet het beschikbare "stuurvermogen" versterken. Om deze opgave op te lossen schakelt men 2 elektroden van de transistor in het zogenaamde "stuurcircuit", dat ook wel "ingangscircuit" wordt genoemd en 2 elektroden in het "schakelcircuit" van de versterker, ook wel "uitgangscircuit" genoemd. Eén van de 3 elektroden wordt dus gemeenschappelijk gebruikt. Bij de emitterschakeling is dat de emitter, bij de basisschakeling de basis en bij de collectorschakeling de collector.

Voor de opgaven in onze *Schaltstab* is de emitterschakeling het meest geschikt. Ze ziet er in principe zo uit:

[Afb. E 34]
stuurbron
stuurcircuit
uitgangscircuit

We gebruiken een npn-transistor. R_a is de belastingsweerstand, in ons geval de relaisspoel.

Als stuurbron gebruiken we één helft van de spanningsdeler die uit een vaste en een fotoweerstand bestaat. Hij wordt gevoed door dezelfde spanningsbron als het schakelcircuit. Dat resulteert in de volgende schakeling:

[Afb. E 35]
licht

De spanning U_1 is de stuurspanning! Blijft deze spanning beneden een zekere waarde (bij onze transistor is dat 0,6 volt), dan "spert" de transistor. Deze uitdrukking bezigt men als de doorgang emitter-collector hoogohmig (enkele Mega-ohms) is. Er kan dan door het circuit bestaande uit deze transistor-doorgang, de relaisspoel en de energiebron geen stroom vloeien.

Overschrijdt de spanning U_1 echter deze grenswaarde (in ons geval 0,6 volt), dan wordt de transistor "laagohmig" (grootte-orde 1 ohm). In dit geval vloeit er stroom door de belastingsweerstand, het relais, zodat het relais aantrekt.

Verlaagt men de spanning U_1 tot onder de grenswaarde, dan valt het relais weer terug. Vanwege de "hysteresis" van het relais volgt het terugvallen van het relais bij een wat lagere grensspanning (zie later).

[Blz. 120]

4.11.3 De besturing van de transistor door een fotoweerstand

Bij geschikte dimensionering van de spanningsdeler kunnen we dus door variatie van de verlichting van de fotoweerstand het relais sturen. Om een zo groot mogelijk toepassingsbereik van onze lichtelektronica te hebben, moet het omschakelen naar keuze bij zeer heldere tot zeer zwakke verlichting van de fotoweerstand mogelijk zijn. Daarom is de weerstand R_1 instelbaar, d.w.z. als variabele weerstand uitgevoerd. We hebben hem in de elektronica-*Schaltstab* aangeduid als "gevoeligheidsinstelknop". In stand "7" spreekt het relais al bij zeer zwakke verlichting aan, in de andere uiterste stand "1" echter pas bij relatief heldere verlichting. Met de instelbare weerstand kunnen we dus de "drempel" van de schakelversterker instellen.

Eenvoudige proeven om het schakelgedrag van een transistor vast te stellen vindt u na de volgende paragraaf. Eerst wordt het principe van de fischertechniek elektronica-*Schaltstab* verder toegelicht.

4.11.4 Stand "1" van de *Schaltstab*

In principeschema E 36 zijn alleen de voor de functie essentiële componenten getekend.

Schuift men schakelaar "S" in stand 1, dan staat er 10 volt over de spanningsdeler.

Als er geen licht op de fotoweerstand valt, dan is zijn weerstand zeer groot in vergelijking met de variabele weerstand R_1 . De stuurspanning U_1 is dus

zeer klein, ze ligt zeker onder 0,6 volt. Daardoor is de transistor hoogohmig. Er kan geen stroom door het relais vloeien.

Valt er veel licht op de fotoweerstand, dan is zijn weerstand dus klein, en wordt bij een grote waarde van R_1 de grensspanning van 0,6 volt overschreden en de transistor geleidend. Het relais trekt aan.

Drukt men op de startknop T, dan wordt de transistor overbrugd. Het relais zal dan altijd aantrekken, onafhankelijk van de grootte van stuurspanning U_1 .

[Afb. E 36]

→ licht

naar de uitgang ↑ ↑

[Blz. 121]

4.11.5 Stand "2" van de *Schaltstab*

Het principeschema E 37 toont ons dat de bovenste aansluiting van de fotoweerstand na inschakelen van het apparaat niet aan de pluspool is aangesloten, omdat het relaiscontact is geopend. Daarom kan er - onafhankelijk van de verlichting van de fotoweerstand - geen stuurspanning U_1 ontstaan. De transistor spert dus en het relais blijft open.

Drukt u op de drukknop T, dan wordt de transistor-overgang C-E overbrugd en op hetzelfde moment trekt het relais aan. De spanningsdeler komt op spanning. Laten we de drukknop los, dan treedt de stuurcomponent, onze fotoweerstand, in werking. Is op het moment dat we drukknop T loslaten de stuurspanning U_1 hoger dan de grenswaarde van 0,6 volt, dan blijft het relais ingeschakeld.

Is de spanning U_1 op het moment van loslaten van de drukknop T, of op enig ander moment daarna, lager dan grenswaarde, dan valt het relais weer terug en is geen enkele verlichting van de fotoweerstand, hoe helder dan ook, nog in staat de transistor te sturen, omdat er immers geen spanning meer over de spanningsdeler staat.

Omdat het schakelen door onderbreking van een lichtstraal of stuurleiding gebeurt, wordt deze schakeling bij voorkeur ingezet als diefstal- of

inbraakbeveiliging. Een eenmaal ingeschakeld alarm kan alleen via de *Schaltstab* uitgeschakeld worden. Als een lichtstraal of stuurleiding slechts een fractie van een seconde wordt onderbroken, dan is dat voldoende om een alarm continu in werking te zetten.

[Afb. E 37]

→ licht

naar de uitgang ↑ ↑

[Blz. 122]

4.11.6 Schakelschema van de *Schaltstab*

Het complete schema toont hoe de beide schakelingen die in de twee vorige paragrafen zijn beschreven, in de schakeling zijn samengevoegd. Het relais neemt alle genoemde functies over.

De weerstanden R_2 t/m R_5 en R_8 zijn protectieweerstanden. Zij zorgen ervoor dat er bij verkeerde aansluiting van de trafo of andere schakelfouten geen schade ontstaat. D_6 heeft dezelfde functie.

De condensator C_2 houdt piekspanningen tegen, die ontstaan als het relais (een "inductieve" belasting) in- en uitgeschakeld wordt en die de transistor kunnen vernielen. Bovendien belet hij het "klapperen" van het relais.

Over weerstand R_6 ontladde de condensator C_1 zich als het apparaat wordt uitgeschakeld.

Om het schakelgedrag van de transistor en het relais te kunnen meten, is de collector van de transistor via een protectieweerstand extern aangesloten. Dit punt is op de *Schaltstab* met een "A" aangeduid.

De afzonderlijke functionele groepen zijn als symbool onder het betreffende deel van de schakeling voorgesteld (zie ook deel 1, blz. 9).

4.11.7 Stuklijst

$D_1 - D_4$	Gelijkrichter	B 30 C 650/450-1
D_5	Diode	BAY 61
D_6	Diode	BAY 61

Rel.	Relais	100 Ω - 2800 windingen
C ₁	Electrolytische condensator	250 μ F; 15/18 V
C ₂	Tantaalcondensator	2,2 μ F; 25 V
Tr.	Transistor	BC 108 B
R ₁	Potentiometer	1 k Ω ; 3 W; lineair
R ₂	Weerstand	220 Ω ; 0,25 W
R ₃	Weerstand	220 Ω ; 0,25 W
R ₄	Weerstand	330 Ω ; 0,25 W
R ₅	Weerstand	100 Ω ; 0,25 W
R ₆	Weerstand	1 k Ω ; 0,25 W
R ₇	CdS fotoweerstand	LDR 03
R ₈	Weerstand	100 Ω ; 0,25 W

[Blz. 123]

[Afb. E 38]

[Blz. 124]

5. METINGEN AAN DE TRANSISTORVERSTERKER

5.1 VERBAND TUSSEN STUUR- EN UITGANGSSPANNING

Om deze proef uit te kunnen voeren hebben we behalve de *Schaltstab* een voltmeter en een potentiometer van ca. 1 k Ω nodig. Deze vindt u samen in een doosje als fischertechnik uitbreidingsdoos I-e 3. Verder hebben we nog een batterij van 4,5 V nodig, bijv. de fischertechnik batterijstaaf.

We variëren de ingangsspanning U_1 en kijken wat er gebeurt met de uitgang van de versterker en het relais. Nevenstaand schema E 39 laat de schakeling zien. In afbeelding E 41 ziet u de bedrading.

Met deze proefopstelling kunnen we verschillende spanningen op de sturingang van de *Schaltstab* zetten, aan de uitgang de spanning tussen

collector en emitter van de transistor meten en de schakelstand van het relais waarnemen aan de hand van de 2 controle-lampjes.

De gevoeligheidsinstelknop van de *Schaltstab* zetten we om te beginnen in stand "7". In deze stand belast hij de spanningsdeler het minst.

De potentiometer in het huis van de fischertechnik voltmeter gebruiken we als spanningsdeler voor de batterijspanning. Door aan de draaiknop te draaien kunt u elke spanning tussen 0 en 4,5 V, de maximale batterijspanning, instellen. Deze spanning zetten we op de sturingang van de transistorversterker. De mindraad van de batterij verbinden we via bus 1 of 3 van de *Schaltstab* met de min-aansluiting van de schakelversterker. De draad vanaf de middenaansluiting van de potentiometer gaat naar bus 8 van de *Schaltstab*, naast de draaiknop. Let op de polariteit van de batterij!

Voordat we met de meting beginnen moeten we de potentiometer ijken in volt. (Tenzij u in het bezit bent van 2 voltmeters.) Daarom sluiten we de +aansluiting van de voltmeter in eerste instantie niet aan op bus "A" van de *Schaltstab*, maar op de middenaansluiting van de potentiometer, zoals gestippeld getekend. De -aansluiting van de voltmeter is in beide gevallen aangesloten op bus 1 of 3 van de *Schaltstab*. Dan tekenen we de ijklijn. Zie diagram E 40 voor een voorbeeld.

[Afb. E 39]

[Blz. 125]

[Afb. E 40]

Spanning U_1 (volt)

IJKlijn

Datum

Schaal van de potentiometer

Completeer het diagram en vul uw eigen meetwaarden in i.p.v. die van het voorbeeld. Daarmee maakt u uw eigen "IJKdiagram". Dit diagram geldt natuurlijk alleen voor deze schakeling en de huidige ladingstoestand van de batterij.

Daarna gebruiken we de voltmeter om de spanning tussen collector en emitter te meten, die we U_{CE} zullen noemen. Daartoe sluit u de plus van de voltmeter aan op bus "A" van de *Schaltstab*, die via een protectieweerstandje voor ons nu geen betekenis heeft, met de collector van de transistor is verbonden.

Nu kunt u door aan de potentiometer te draaien elke gewenste stuurspanning U_1 tot stand brengen, de bijbehorende spanning U_{CE} noteren en met de meetwaarden een diagram opstellen.

[Afb. E 41]

[Blz. 126]

Teken het meetprotocol E 42 en het diagram E 43 (zonder de hierin getekende curves) op aparte vellen, en vul de gevonden meetwaarden in. Uw meetwaarden zullen waarschijnlijk niet overeen komen met het getekende voorbeeld.

De spanning tussen basis en emitter U_{BE} kunt u niet rechtstreeks meten. Het is echter voldoende om te weten dat deze spanning niet hoger kan worden dan 0,75 V; het verschil tussen de stuurspanning U_1 en de spanning U_{BE} valt vanwege de basisstroom door de transistor over weerstand R_3 af.

Belangrijk voor het schakelgedrag van de *Schaltstab* is het verloop van de spanning over de relaisspoel. Aangezien relaisspoel en transistor in serie zijn geschakeld kunnen we de spanning over de "belastingweerstand" van de stroomkring - onze relaisspoel - meten als verschilspanning tussen U_2 en U_{CE} ofwel direct tussen bus "A" en de bovenste bus voor de aansluiting van de fotoweerstand.

[Afb. E42]

Meetprotocol

Stand van de potentiometer

Meting uitgevoerd door:

Datum:

[Afb. E 43]

Schakelgrafiek

[Blz. 127]

Het verband tussen spanning U_2 en U_1 meten we eveneens en tekenen we gestreept in de grafiek. Hoe kunt u deze spanning meten? Waarom daalt ze iets als het relais aantrekt?

Resultaat van de proef: als de schakeling op de juiste wijze is gedimensioneerd dan is in het stuurcircuit een spanningsvariatie van 0,1 V al voldoende om een spanningsvariatie van 8 V over de belastingsweerstand te bewerkstelligen.

Nu bepalen we nog bij welke spanning U_a het relais aantrekt en weer terugvalt, en tekenen deze beide criteria als loodrechte gestippelde lijnen in de grafiek. Hiermee hebben we de voornaamste versterkerkarakteristiek bepaald!

Nog een kleine proefneming: stel de potentiometer zodanig in dat U_a ca. 3 V is en het relais net of nog net niet aantrekt. U zult vaststellen dat de wijzer zich langzaam verplaatst, de stroom in het uitgangscircuit blijft dus niet constant. Halfgeleiders zijn namelijk temperatuurgevoelig. Pas na enige tijd blijft de stroom gelijk.

Als de vermogensdissipatie (verlies) toeneemt dan wordt het inwendige van de transistor langzaam verwarmt. Daardoor verschuift de karakteristiek enigszins. Bij zeer nauwkeurig werkende schakelapparatuur moet men daarom zorgen voor temperatuurcompensatie door toepassing van extra componenten.

5.2 METINGEN MET VERLAAGDE VOEDINGSSPANNING

Nu gaan we onderzoeken wat de invloed is van een verlaging van de voedingsspanning U_B op het gedrag van onze schakelversterker.

We veranderen niets aan de schakeling, maar sluiten deze nu aan op de gelijkspanning van de trafo in plaats van aan de wisselspanning. Met de draaiknop van de trafo kunnen we de spanning trapsgewijze instellen en met onze voltmeter de spanning aan de uitgang meten. We markeren de afzonderlijke stappen. We herinneren ons dat de voltmeter niet de topwaarde maar de gemiddelde waarde van de spanning meet (zie blz.

116). Door op de gelijkspanning aan te sluiten schakelen we dus 2 gelijkrichters achter elkaar.

Bij elke spanning bepalen we bij welke stuurspanning U_1 het relais schakelt, daarvoor hoeven we alleen maar aan de potentiometer te draaien die we in de vorige proef hebben geijkt.

Resultaat: de voedingsspanning U_B heeft nauwelijks invloed op het schakelgedrag, in zoverre de spanning niet onder een zekere minimumwaarde komt. Zakt hij onder deze waarde, dan schakelt de schakelversterker helemaal niet meer.

[Blz. 128]

5.3 WERKING VAN DE SPANNINGSDELER MET DE SCHALTSTAB

Tot nu toe hebben we bij de proeven met de schakelversterker de stuurspanning "extern" aangelegd, d.w.z. van buitenaf met een extra voedingsbron. Dat was de eenvoudigste manier om het gedrag van de transistor te leren kennen. Nu gaan we de spanningsdeler aansluiten op de voeding van de *Schaltstab* en sparen we de additionele voeding uit (schema E 44).

Bouw deze schakeling zelfstandig op en stel vast bij welke stand van de potentiometer het relais schakelt. Let erop dat u altijd uitgaat van de omschakeling van de toestand "relais teruggevallen" naar "relais aangetrokken". Is de ijking van de potentiometer uit de vorige proef nog steeds geldig? (Antwoord op blz. 179.)

Herhaal deze proef met verschillende waarden voor U_B , dus met de *Schaltstab* aangesloten op de variabele gelijkspanning van de trafo. Bedenk eerst of het schakelen van het relais ook nu vrijwel onafhankelijk is van de stand van de potentiometer. Voer daarna pas de proef uit!

[Afb. E 44]

[Blz. 129]

5.4 EENVOUDIGE METINGEN MET DE FOTOWEERSTAND

We sturen onze schakelversterker nu niet meer aan met de externe spanningsdeler, maar met een spanningsdeler die bestaat uit een fotoweerstand en de in de *Schaltstab* ingebouwde variabele weerstand.

De aangesloten voltmeter laat ons zien hoe de stuurspanning verandert met de hoeveelheid licht die op de fotoweerstand valt.

Let a.u.b. op het volgende: De stuurspanning U_1 is de spanning die afvalt over de variabele weerstand R_1 en de daarmee in serie geschakelde protectieweerstand R_2 . Variabele weerstand R_1 stellen we om te beginnen in op "1". Dan heeft hij een waarde van 0 Ohm. In dit geval is dus alleen protectieweerstand R_2 werkzaam, die een waarde van ca. 220 Ohm heeft. Dan variëren we R_1 en in elke stand variëren we de lichtsterkte op de fotoweerstand. Het zal u zeker opvallen dat het relais omschakelt bij steeds andere lichtsterktes, afhankelijk van de stand van R_1 .

Ook moet u proberen wat de invloed is van het aanbrengen van een afschermkapje of een grote koker tegen omgevingslicht op de lichtgevoeligheid van de schakeling.

Voordat we echter preciese onderzoekingen met de fotoweerstand gaan uitvoeren, moet u zich met de beginselen van de lichttechniek vertrouwd maken. Daarna gaan we de samenhang meten tussen verlichtingssterkte van de lichtgevoelige laag van de fotoweerstand en het schakelen.

[Afb. E 45]

[Blz. 130]

6. GRONDSLAGEN VAN DE LICHTTECHNIEK

6.1 LICHTBRONNEN

Er zijn natuurlijke lichtbronnen, zoals de zon, en kunstmatige, zoals onze fischertechnik gloeilamp of tl-buizen enz. De meeste lichtbronnen zijn gloeiende lichamen; er zijn echter ook koude lichtgevende objecten. Deze geven licht op basis van luminescentie of fluorescentie.

De kleur van het licht kan enorm verschillen, van donker-oranje tot het helderste wit.

Licht is op zich net zo onzichtbaar als elektriciteit. Men ziet alleen de lichtbron en het door die lichtbron verlichte voorwerp. De lichtstralen vanuit een lichtbron planten zich rechtlijnig voort.

Dit tonen we aan door een eenvoudige proef. In proefopstelling L 1 verlicht een kogellampje 3 staven (fischertechnik assen). Deze produceren 3 schaduwbeelden. Die bevinden zich - vanuit de gloeispiraal gezien - precies achter de opgestelde assen. In opstelling L 2 maken we met behulp van 2 lampen schaduwen van 2 assen. We kunnen de lampen zo verschuiven dat er slechts 3 schaduwen ontstaan als de twee middelste schaduwen precies samenvallen. De middelste schaduw is donkerder dan de twee buitenste. Waarom? (Antwoord zie blz. 179)

[Afb. L 1]

[Blz. 131]

[Afb. L 2]

6.2 LICHTABSORPTIE

Zet de bovenstaande 2 vierkanten zo onder een lamp, dat ze allebei even ver van de lichtbron zijn verwijderd en dus evenveel licht ontvangen. Waarom lijkt het alsof het ene donker en het andere licht is?

De verklaring kent u vast al: door het donker lijkende voorwerp wordt een groot deel van het licht "opgeslokt", terwijl het lichte voorwerp dat niet of in veel mindere mate doet. Het matzwarte voorwerp houdt tot 99% van de erop vallende lichtenergie vast en zet die om in warmte. De natuurkundige zegt niet "het voorwerp slokt licht op", maar "het voorwerp absorbeert licht".

Het deel van het licht dat niet geabsorbeerd wordt, wordt "gereflecteerd" (= teruggekaatst). Bij wit papier is dat ongeveer 70% van het licht, de resterende 30% wordt geabsorbeerd.

[Blz. 132]

6.3 LICHTREFLECTIE

Vrijwel elk voorwerp reflecteert een deel van het erop vallende licht, zij het in zeer uiteenlopende mate. Zou een voorwerp niet reflecteren, dan zouden we het niet kunnen zien.

Een eenvoudige proef laat ons zien dat er twee principiële verschillende vormen van reflectie zijn.

Afbeelding L 3 toont de proefopstelling. Een kogellamp verlicht een plaat bestaande uit bouwstenen en een spiegel. Voor de proef zelf moeten we de ruimte behoorlijk verduisteren. De proefopstelling zet u zo neer dat uw ogen zich recht boven de grijze plaat bevinden en in de richting van de spiegel kijken.

De bouwstenen lijken steeds dezelfde tint grijs te hebben, om het even welke hoek het oppervlak t.o.v. de lamp heeft.

Helemaal anders gedraagt zich de spiegel. Het spiegelvlak zal, door uw ogen gezien, slechts in een zeer bepaalde stand helder oplichten. In alle andere standen lijkt de spiegel donkerder dan de bouwsteen.

Nu zetten we de spiegel zo dat hij zoveel mogelijk licht van de lamp op de erachter opgestelde centreerplaat werpt. De hele opstelling draait u zodanig dat u van de zijkant naar de spiegel kijkt, zonder door de lamp verblind te worden. De spiegel lijkt nu minstens zo donker als de niet-belichte zijvlakken van de bouwstenen waarop hij bevestigd is. De belichte zijde van de bouwsteen lijkt daarentegen relatief helder.

Er is dus sprake van een "gerichte" reflectie en een "diffuse" (ongerichte) reflectie. Bij diffuse reflectie, die u waarneemt bij de grijze bouwsteen, wordt de lichtstraal bij benadering naar alle kanten gelijkmatig verdeeld gereflecteerd.

[Blz. 133]

De spiegel echter heeft - zoals alle glanzende voorwerpen - de eigenschap dat hij gericht licht ook weer gericht reflecteert. Om wat vertrouwd te worden met de stralengang van spiegels, bouwt u model L 4.

Uw opgave luidt: verlicht beide zijden van de centreerplaat even helder met een kogellamp en twee spiegels. (De afbeelding laat slechts een grove benadering van de oplossing zien.)

[Afb. L 4]

6.4 REFLECTIEHOEK

We bouwen de proefopstelling L 5. De kogellamp stuurt een lichtstraal door een spleet, gevormd door twee platen, op de centreerplaat. De spiegel is draaibaar om een loodrecht daarop staande as. De lichtstraal wordt gereflecteerd door de spiegel. De hoek tussen het spiegeloppervlak en ingaande resp. gereflecteerde straal kunnen we meten op de centreerplaat.

We stellen het volgende vast: een lichtstraal die onder een zekere hoek van inval op de spiegel valt, wordt onder dezelfde hoek door de spiegel gereflecteerd.

Om krassen op de spiegel te voorkomen is bij de vlakke fischertechniek spiegel de achterkant van het glas spiegelen gemaakt. De reflectie vindt daarom plaats aan de onderzijde van het glas.

[Afb. L 5]

[Blz. 134]

6.5 PARALLELE LICHTSTRALEN

In de laatste proef hebben we heel duidelijk gezien dat de begrenzing van de lichtstraal achter de spleet niet geheel parallel liep. De stralenbundel werd breder naarmate hij verder van de spleet verwijderd was.

Het licht van de gloeilamp is afkomstig van de gloeispiraal. Deze mag men alleen als "puntvormige" lichtbron betitelen, als hij zeer ver van het te verlichten object af staat.

Een lichtbron - ook "stralingsbron" genoemd - zendt zijn stralen radiaal de ruimte in. Dat geldt evenzo voor de zon. Echter, vanwege de grote afstand tot die stralingsbron kan een mens slechts een zodanig kleine ruimte overzien dat de stralen praktisch parallel arriveren.

Van kunstmatige lichtbronnen kunnen we echter alleen via hulpmiddelen, zoals lenzen, parallelle stralen verkrijgen. Daarover echter later.

6.6 BEGRIPPEN UIT DE LICHTTECHNIEK

In de lichttechniek kan men evenmin als in elke ander tak van wetenschap genoeg nemen met vage begrippen. Het is niet voldoende om te zeggen: helder, donker, doorzichtig, troebel, enz. Men moet de "helderheid" en de "doorzichtigheid" kunnen meten. Meten betekent dus: een "proefexemplaar" vergelijken met een geijkte, in de gehele wereld geaccepteerde "standaard" en het verschil tussen beiden uitdrukken in getallen.

Om te beginnen maken we ons de belangrijkste begrippen uit de lichttechniek eigen. Daarna gaan we pas metingen uitvoeren.

6.6.1 Het lichtvermogen Φ

Het lichtvermogen dat een stralingsbron uitzendt, noemt men de lichtstroom. Daarmee bedoelt men de hoeveelheid licht die door de stralingsbron in één seconde naar alle richtingen wordt uitgezonden. De eenheid is de "lumen".

Een huis-, tuin- en keukengloeilamp van 100 W geeft een lichtstroom van een kleine 1500 lumen af. Dit geeft ons een aanknopingspunt voor de eenheid van het lichtvermogen. (Het teken Φ is een griekse letter. Hij wordt uitgesproken als "phi".)

Een stralingsbron zendt in het algemeen zijn licht niet naar alle kanten gelijkmatig verdeeld uit. Daarom heeft men voor de meting van de lichtstroom een speciaal meetinstrument nodig, een grote, inwendig matwitte holle bol. Daarin wordt alle licht diffuus verstrooid en daarom is het inwendige oppervlak gelijkmatig verlicht.

Met deze kunstgreep kunnen we de volledige lichtstroom van een stralingsbron meten. Dan hoeft men alleen nog maar de verlichtingssterkte (zie verderop) van de binnenwand van deze "Olbrichtse bol" te meten en zo het lichtvermogen te berekenen.

[Blz. 135]

6.6.2 De lichtintensiteit I

Vroeger gebruikte men als "standaard" stralingsbron de lichtsterkte van een bepaalde olielamp. Tegenwoordig geldt als "standaard" een gloeiende platinaplaat, die een temperatuur heeft van 1768 °C (het smeltpunt) en een oppervlakte van 1 cm². Zo'n vlak heeft een lichtsterkte van 60 "nieuwe kaarsen". Een "nieuwe kaars" noemt men ook 1 "candela", afgekort cd.

Verband tussen lichtintensiteit en lichtstroom:

Een stralingsbron met een lichtintensiteit van 1 cd zendt in een ruimtehoek van 1 sr (= 1 steradiaal) een lichtstroom van 1 lumen uit. 1 sr is een 1 m² groot deeloppervlak van het totale oppervlak van een bol met een straal van 1 m (waarbij de lichtbron in het middelpunt staat).

Met de - niet geheel juiste - aanname dat een 100 W / 220 V gloeilamp in alle richtingen gelijkmatig licht uitzendt, heeft deze lamp dus een lichtintensiteit van $1500 : 4\pi = 1500 : 12,5 = 120$ cd.

6.6.3 De verlichtingssterkte E

De verlichtingssterkte vertelt ons hoeveel licht er op een verlicht vlak valt. Ze wordt gemeten in "lux". Straalt een lichtbron met een lichtintensiteit van 1 candela op een vlak dat op 1 m afstand loodrecht erop is opgesteld, dan wordt het midden van dat vlak met 1 lux verlicht. Heeft de lamp 2 candela, dan bedraagt de verlichtingssterkte 2 lux.

Verkleint men de afstand van het met 1 lux verlichte vlak 0,5 m, dus de helft van de oorspronkelijke afstand, dan wordt de verlichtingssterkte verhoogd van 1 lux naar 4 lux, dus verviervoudigd.

Onthoud: De verlichtingssterkte verandert evenredig met de lichtintensiteit, maar omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand. Kunt u de formule opschrijven? (Blz. 179)

Evengoed zou men kunnen zeggen: een verlichtingssterkte van 1 lux ontstaat als men op een vlak van 1 m² een lichtstroom van 1 lumen laat vallen.

Aangezien een holle bol met een straal van 1 m, waarin we ons een brandende 100 W lamp voorstellen, ongeveer 12,5 m² inwendig oppervlak heeft, kan men uitrekenen dat dit oppervlak met 120 lux wordt verlicht.

De optimale verlichtingssterkte om te lezen is 50 tot 100 lux; bij moeilijke en precisiekarweitjes tot 1000 lux.

6.6.4 De luminantie B

De technicus is ook nog geïnteresseerd in de "luminantie", die een lichtende vlak vertoont. Daarbij maakt het niets uit of dat vlak "zelflichtend" is, d.w.z. een stralingsbron, of verlicht wordt door een andere stralingsbron.

$$\text{luminantie} = \frac{\text{lichtintensiteit van het lichtende vlak}}{\text{oppervlak van het lichtende vlak}}$$

De "luminantie" van een stralingsbron of een verlicht vlak is dus een maat voor de "helderheid" van het vlak.

De eenheid van de luminantie is de "stilb". Meestal gebruikt men een fractie daarvan, de "apo-stilb", afgekort "asb". $1 \text{ sb} = 10.000 \pi \approx 31400$ asb.

Voorbeeld: een van binnen mat gemaakte 100 W gloeilamp met een diameter van 6 cm heeft ongeveer 100 cm² oplichtend oppervlak. De gemiddelde luminantie bedraagt $1,2 \text{ sb} = 38.000$ asb.

Een vlak dat met 100 lux wordt verlicht heeft een luminantie van 100 asb, als het erop vallende licht voor 100% zou worden gereflecteerd. Wordt echter 30% van het licht door het vlak geabsorbeerd, zoals bijv. bij wit papier het geval is, dan is de luminantie van dit vlak slechts 70 asb.

[Blz. 136]

7. MEETMETHODEN IN DE LICHTTECHNIEK

7.1 VISUELE VERGELIJKING VAN DE VERLICHTINGSSTERKTE

Toen men nog niet in staat was om licht om te zetten in elektriciteit, bijv. met behulp van een fotoweerstand, vergeleek men het te onderzoeken object op het oog (vandaar "visueel") met een standaard (= een lamp met een bekende lichtsterkte).

Het oog is een zeer slecht meetinstrument voor lichttechnische grootheden. Het heeft namelijk maar een heel beperkt "herinneringsvermogen". Daarom moet men bij zo'n meetmethode het proefobject en de standaard zolang met elkaar vergelijken of "kalibreren" (zoals de technicus het uitdrukt), totdat beiden op het menselijk oog dezelfde helderheidsindruk maken. Deze methode is vooral problematisch als de kleuren van de te vergelijken lichtbronnen sterk van elkaar verschillen. Een mogelijke onderzoeksmethode toont ons schets L 6.

We noemen de verlichtingssterkte die een standaard op het waarnemingsoppervlak veroorzaakt E_1 en die welke het proefobject veroorzaakt E_2 , dan is in het geval van "kalibratie" $E_1 = E_2$.

De afstanden tussen de lampen en het waarnemingsoppervlak noemen we l_1 en l_2 . We kunnen deze in mm of eenvoudigheidshalve in "bouwsteenlengtes" (van 30 mm) meten.

De verlichtingssterkte van lamp 1 nemen we in de gekozen stralingsrichting als bekend aan. We markeren lamp 1 omdat we die ook later als "standaard" zullen gebruiken.

Omdat de verlichtingssterktes in geval van kalibratie zich tot elkaar verhouden als de kwadraten van de afstanden, kunnen we verlichtingssterkte van lamp 2 uitrekenen:

$$I_2 = I_1 \cdot \left(\frac{l_2}{l_1}\right)^2 \quad \text{als } E_1 = E_2$$

$E_1 = E_2$ als voor het oog beide helderheden hetzelfde lijken.

Als we $l_1 = 1$ stellen, verkrijgen we l_2 als verhoudingsgetal. De verlichtingssterkte van lamp 2 berekenen we dus als een "relatieve verlichtingssterkte".

We proberen deze methode eens uit. Daartoe bouwen we een "optische bank". Die zullen we later steeds opnieuw nodig hebben. Ze bestaat in onze opstelling uit twee parallelle stalen rails, waarop "ruiters" - dat zijn de dragers van de optische componenten - verschoven kunnen worden.

L 6 laat het principe zien, afbeelding L 7 de proefopstelling. Een standaardlamp en de te onderzoeken lamp verlichten elk een zijde van een dakvormig gevouwen stukje matgrijs karton. (U vindt dat in de zak bij dit boek.) We kunnen de lampen (zonder kap) net zolang over de rails verschuiven totdat beide kartonnen vlakjes even helder schijnen voor het oog. Boven de lampen en het vergelijkingvlak brengen we een afscherming tegen verblinding door de lampen.

Wie de proef zeer zorgvuldig wil uitvoeren, moet de opstelling naar beneden en aan de zijkanten helemaal bedekken met matzwart papier. Voor onze eenvoudige proeven is dat echter niet persé nodig.

Om te beginnen vergelijken we twee fischertechniek kogellampjes, die parallel geschakeld worden op de trafo. Met het oog op toekomstige proeven sluiten we ze aan op de wisselspanning. De lamp die we als "standaard" willen gebruiken, zetten we op een afstand van ongeveer 4 x 30 mm, dat zijn 4 "bouwsteenlengtes", vanaf het vergelijkingvlak. Dan verschuiven we de andere lamp zolang, tot beide vlakjes even helder lijken. Deze proef kunnen we het best uitvoeren in een donkere ruimte, zodat extern licht de meting niet kan beïnvloeden.

[Blz. 137]

Door de tweede lamp te verschuiven hebben we bereikt dat de verlichtingssterkte op beide vlakken even groot is. Nu kunnen we de relatieve lichtintensiteit van lamp 2 in de onderzochte stralingsrichting uitrekenen.

[Afb. L 6]
Oog

Hoeveel (welke factor) is de lichtintensiteit van lamp 2 groter dan die van lamp 1?

De uitkomst kan kleiner of groter dan 1 zijn.

Over de "absolute" lichtintensiteit van de lampen (gemeten in candela) kunnen we niets zeggen. Waarom niet? Met welke methode zouden we de "absolute" lichtintensiteit kunnen meten? (Antwoord op blz. 179.)

Bij de komende proeven moet u erop letten dat u uw standaard steeds in dezelfde stralingsrichting gebruikt.

[Afb. L 7]

[Blz. 138]

7.2 HELDERHEID VAN DE LAMP EN VOEDINGSSPANNING

In een nieuwe proef onderzoeken we het verband tussen de lichtintensiteit van een lamp en zijn voedingsspanning. Daartoe voeden we onze "standaard"-lamp 1 met een constante spanning en de tweede lamp, waarvan we de relatieve lichtintensiteit bij dezelfde spanning als die van de standaard al kennen vanuit de vorige proef, met een variabele spanning en we meten daarbij de verandering van de lichtintensiteit. U sluit ze aan op de gelijkspanningsbussen van de trafo en bepaalt de lichtintensiteit I bij de verschillende spanningsniveau's van de trafo. Wie een voltmeter bezit, kan de afzonderlijke spanningen meten en noteren.

Door verschuiving van lamp 2 stelt u voor ieder spanningsniveau de verlichtingssterkte af op de vergelijkingsvlakken. De afstand noemen we l_2' (zeg: el-twee-accent). Lamp 1 mag niet verschoven worden!

Het meetprotocol is al voorbereid (L 8). Teken dat vergroot na, net als het ernaast staande diagram. Let a.u.b. op de schaal voor de relatieve lichtintensiteit I_{rel} . Deze is "kwadratisch" gekozen.

De relatieve lichtintensiteit I_{rel} is in dit voorbeeld niet de factor waarmee lamp 2 bij verschillende voedingsspanningen helderder of minder helder schijnt dan de "standaard"-lamp 1. I_{rel} is in dit geval de verhouding van de lichtintensiteit bij een zekere voedingsspanning tot die bij aansluiting op 6

V wisselspanning van onze trafo. We meten dus het verband tussen de lichtintensiteit en de voedingsspanning! Lamp L1 dient nu alleen als (vrijwel) constant blijvende vergelijkings-lichtbron.

U zou voor elke stand (spanning) van de trafo met behulp van de formule op blz. 136 de waarde voor I_{rel} kunnen berekenen en in de grafiek tekenen.

Het is eleganter om $l_2' : l_2$ uit te rekenen en in de grafiek alvast een tweede schaalverdeling aan te brengen (voor de waarde van die verhouding) De grafiek wordt evenwel afgelezen aan de hand van de schaal die de relatieve lichtintensiteit aangeeft.

Wie doordacht (tijdbesparend) heeft gewerkt, heeft aan het begin van de proef voor de afstand van lamp 2, bij een voedingsspanning van 6 V ~, tot aan het vergelijkingsvlak een mooi rond getal gekozen en bij de afstelling met lamp 1 de laatste verschoven. De berekening $l_2' : l_2$ is dan uit het hoofd uit te rekenen.

Onze proef laat zien dat de lichtsterkte van de lamp met toenemende spanning zeer sterk stijgt. Helaas daalt natuurlijk vanwege de daarmee verbonden temperatuurverhoging van de gloeidraad de levensduur van de lamp aanzienlijk; daarom moet u deze nooit met een onnodig hoge spanning voeden.

[Afb. L 8]

(Meetprotocol:) l_2 als $U = 6 \text{ V} \sim$
Stand van de trafo
Spanning $U -$
Afstelling met $l_2' =$

(Grafiek:) stand van de draaiknop op de trafo

[Blz. 139]

7.3 EEN ANDERE VISUELE METHODE OM LICHTSTERKTES TE VERGELIJKEN

Bij een andere meetmethode vergelijken we de helderheid van twee schaduwbelden. Het principe is te zien in L 9 en de proefopstelling in L 10. Twee lampen werpen hun licht op een staaf. Daarachter is een lichte plaat opgesteld. Nu verschuift men het op de 2 rails opgestelde proefobject

zo lang totdat beide schaduwen even donker zijn. Door de lampen te draaien kunt u beide schaduwbeelden precies naast elkaar leggen.

[Afb. L 9]

Ook met deze meetmethode kunt u niet de soms aanzienlijke onzekerheid verminderen bij het afstellen van de beide verlichtingssterktes, als de kleuren van de lampen sterk van elkaar verschillen. Dit is alleen mogelijk bij een elektrische meting.

[Afb. L 10]

Hoe berekent men de lichtintensiteit van de tweede lamp, als die van lamp 1 bekend is? (Oplossing zie blz. 179)

Bepaal met deze of de voorgaande methode hoeveel groter de lichtintensiteit van een lenslamp in de hoofdstralingsrichting is.

[Blz. 140]

7.4 ELEKTRISCHE METING VAN DE VERLICHTINGSSTERKTE

7.4.1 Principe

Historisch gezien werden lichttechnische metingen aanzienlijk eenvoudiger toen het lukte om lichtelektronische omvormers te maken. Daarmee kan men licht op elektrische wijze meten.

We leren nu een eenvoudige manier om de verlichtingssterkte te meten. Voor deze "lux"-meter hebben we een stroommeter nodig.

Het principe van de elektrische lichtmeting toont schema L 11.

[Afb. L 11]

We houden geen rekening met de invloed van de kleur van het licht. Met behulp van filters van gekleurd glas zouden we de gevoeligheid van de lichtsensor kunnen aanpassen aan de kleurgevoeligheid van onze ogen.

We sluiten een fotoweerstand in serie met een stroommeter aan op een gelijkspanningsbron. Hoe groter de verlichtingssterkte op de lichtgevoelige laag van de fotoweerstand, hoe kleiner de weerstand en hoe meer stroom er door de stroommeter vloeit. Als men zeer kleine verlichtingssterktes wil meten, dan heeft men een stroommeter nodig met een meetbereik van enkele micro-ampères. Bij een grotere verlichtingssterkte vloeien echter enige milli-ampères door de stroomkring. Het μA -meetinstrument zou daarbij overbelast worden en "doorbranden". Daarom breiden we het meetbereik van de stroommeter uit door één of meer kleine weerstanden parallel te schakelen.

Is men alleen in het bezit van een spanningsmeter, bijv. de fischertechnik spanningsmeter uit de uitbreidingsdoos I-e 3, dan schakelt men een weerstand in serie met de fotoweerstand en meet de spanningsval over deze weerstand of over de fotoweerstand.

7.4.2 Luxmeter

Met de fischertechnik spanningsmeter kunnen we de luxmeter volgens schema L 12 bouwen. Hij heeft 3 meetbereiken.

[Afb. L 12]

Voor weerstand R gebruiken we de potentiometer die bij de spanningsmeter is ingebouwd.

Als men de fotoweerstand zeer sterk verlicht, dan bedraagt de weerstand van de lichtsensor zo'n 100 - 500 Ω . Om goed te kunnen meten kiezen we in dit geval R ongeveer gelijk aan 250 Ω (meetbereik I). Voor het meten van gemiddelde verlichtingssterkte kiest u het meetbereik II met $R = 1000 \Omega$. U gebruikt dan de middenaftakking van de potentiometer helemaal niet. Voor meting van kleine verlichtingssterktes schakelt u de voltmeter rechtstreeks in serie met de fotoweerstand; de potentiometer doet in dat geval niet mee (meetbereik III).

[Blz. 141]

De afbeelding van het model laat u zien hoe u uw luxmeter kunt opbouwen. Als spanningsbron kunt u het beste een fischertechnik batterijstaaf gebruiken of de gelijkspannings-aansluitingen van de trafo.

Omdat er geen ijkstandaard ter beschikking staat, waarmee u uw luxmeter zou kunnen ijken, moet u zich behelpen met een paar richtwaarden:

Als u de lichtgevoelige laag van de fotoweerstand (zonder afschermkapje) naar de onbewolkte hemel richt, maar zó dat er geen direct zonlicht op de fotoweerstand valt, dan wordt hij in de zomer tussen 8 en 16 uur met ongeveer met 10.000 lux belicht en in de winter slechts met 5.000 lux (rond de middag).

Een nieuwe 100 W gloeilamp (in een ruimte opgesteld zonder lampenkap) met een mat binnenoppervlak verlicht op 1 m afstand onze fotoweerstand met 150 lux. Deze waarde geldt alleen als de ruimte lichte wanden en een licht plafond heeft en niet al te groot is. Zou men de lamp buiten opstellen, dus de reflecties van wanden en plafond uitschakelen, dan valt er op 1 m afstand slechts 120 lux op de fotoweerstand. Op 3 m afstand is dat nog maar 17 lux en op 50 cm al 500 lux, op 25 cm afstand stijgt de verlichtingssterkte tot 2000 lux. Met deze waarden kunt u uw luxmeter voldoende nauwkeurig ijken voor onze doeleinden. (Op 3 m afstand speelt de ruimtelijke reflectie een tamelijk grote rol, onder de 0,5 m nauwelijks.)

Als u daar plezier aan beleeft, kunt u eens het verloop van de verlichtingssterkte op de fotoweerstand meten over een hele dag of het verschil tussen de waarden bij zonneschijn en regen constateren. Uw luxmeter moet daarbij wel steeds op dezelfde plaats staan en in dezelfde richting wijzen.

Zou u uw luxmeter als fotografische belichtingsmeter willen gebruiken, vergelijk hem dan met een in de handel verkrijgbare belichtingsmeter en leg de ijkwaarden in een protocol vast. Let erop dat u vervolgens echt dezelfde fotoweerstand gebruikt als die waarmee u de ijking had uitgevoerd.

Zet steeds een afschermkapje voor de lichtsensor, zodat het heldere licht van de hemel niet leidt tot meetfouten, ook al tijdens de ijking van de luxmeter!

[Afb. E 13 (moet L 13 zijn)]

[Blz. 142]

7.4.3 Richtkarakteristiek van een lamp

We gaan nu onderzoeken en meten of en eventueel hoe de lichtintensiteit van een lamp verandert met de stralingsrichting. We draaien dus een lamp voor een luxmeter en letten er op dat de afstand tussen gloeidraad en lichtsensor niet verandert. De lamp moet immers precies op de as van de lichtsensor staan. Bij de verschillende hoekstanden van de lamp meten we de verlichtingssterkte op de lichtgevoelige laag en bepalen de verhouding tussen de gevonden waarde en de verlichtingssterkte in de hoofdrichting van de lamp. Aangezien we de afstand tussen lamp en fotoweerstand niet veranderen, verhouden zich de lichtintensiteiten als de bijbehorende verlichtingssterkte op de fotoweerstand. Eerst onderzoeken we een kogellamp bijv. de gekozen standaard-lamp 1. Afbeelding L 18 toont de meetopstelling (pag. 144).

Het benodigde meetinstrument voor de verlichtingssterkte ijken we apart, niet in de opstelling: De schakeling volgens schema L 14 voert u uit volgensmocht u nog hulp nodig hebben - afbeelding L 15. Dan vult u het meetprotocol L 16 voor de ijking in en u tekent de ijkgrafiek L 17 af. De laatste heeft een "logaritmische" schaal voor 1 tot 100% verlichtingssterkte.

Ons meetinstrument heeft deze keer slechts twee meetbereiken. In meetbereik II bedraagt de weerstand waarover we de spanningsval meten 1000 ohm. In meetbereik I bedraagt de weerstand slechts zo'n 250 ohm. Deze weerstandswaarde verkrijgen we door de aftakking van de potentiometer ongeveer op "2" (of "7") in te stellen.

Het maakt niet uit of u eerst bereik I of II ijkt. U gaat daarvoor als volgt te werk: in een donkere ruimte verwijderen we de kogellamp van de meetopstelling steeds verder van de fotoweerstand. We noteren de meteruitslag in praktisch gekozen getrapte afstanden - bijv. in stappen van 15 of 30 mm - in het ijkprotocol. Zijn we klaar met de metingen, dan tekenen we de ijkgrafiek. Deze grafiek is gemaakt in een "rechthoekig coördinatenstelsel" zo genoemd omdat de twee "ordinaten" (referentielijnen) onder een rechte hoek (90°) op elkaar staan. In het getekende voorbeeld is de verlichtingssterkte op 30 mm afstand

willekeurig als 100% gekozen. U kunt elke andere afstand als referentiewaarde kiezen.

[Afb. L 15]

[Blz. 143]

[Afb. L 14]

gesloten bereik I
open bereik II

[Afb. L 16]

IJkprotocol
afstand lamp - fotoweerstand
meteruitslag
meetbereik

[Afb. L 17]

IJkgrafiek
relatieve verlichtingssterkte in %
afstand in mm
voeding volt
lamp nr
lichtsensor nr
luxmeter-uitslag

Met onze verlichtingssterktemeter kunnen we de lichtintensiteit van de lamp afhankelijk van de stralingsrichting meten. De werkelijke waarde van de lichtintensiteit is daarbij niet van belang. We relateren alles aan de lichtintensiteit in de hoofdstralingsrichting. Dat is de straling in de richting van de langsas van de lamp.

De proefopstelling hiervoor - model L 18 - is met fischertechniek-stenen gemakkelijk te realiseren. U mag alleen een lichtkoker ervoor plaatsen als u die ook gebruikt heeft bij het ijken van de luxmeter. Daarbij moet u bedenken dat het cilindervlak van de lichtkoker glanzend, dus reflecterend, is en dientengevolge een grotere meteruitslag veroorzaakt dan zonder koker. Wie heel exact wil werken, bekleedt de koker van binnen met zwart mat velourspapier.

Let er a.u.b. op dat de gloeidraad van de lamp zich precies boven het draaipunt van de scharnierstenen bevindt en dat de fotoweerstand zijdelings en in de hoogte precies is uitgericht. Maak nu de grafiek L 19 (zonder de daarin getekende curve) af. Deze grafiek is getekend in een "polair coördinatenstelsel". (Deze maatregel maakt het ons in het navolgende overzichtelijker.) Voordat we met de meting beginnen maken we ons met een trucje het rekenwerk wat gemakkelijker: We variëren de afstand van de lichtgevoelige laag tot de lamp totdat de lamp in de hoofdstralingsrichting meetbereik II een uitslag geeft die volgens de ijkgrafiek overeenkomt met de 10%-waarde (in tegenstelling tot het getekende voorbeeld).

Nu draaien we de lamp naar links en rechts in stappen van 10° en lezen de uitslag van de wijzer van het meetinstrument af. U leest uit de ijkgrafiek de bijbehorende relatieve verlichtingssterkte af en geeft deze waarde met een kruisje aan bij de corresponderende stralingshoek in de grafiek. Tenslotte trekt u een lijn door alle kruisjes. U vindt dan een curve die ongeveer lijkt op die in het voorbeeld.

De verbindingslijn van alle meetpunten toont de relatieve lichtintensiteit (t.o.v. de lichtintensiteit in de hoofdstralingsrichting) van de te onderzoeken lamp. Het polaire coördinatenstelsel (een hoek en een "vector") is in dit geval gunstiger voor de voorstelling dan het rechthoekige assenstelsel.

[Blz. 144]

[Afb. L 18]

[Afb. L 19]

Het onderzoek is pas volledig als de karakteristiek ook in de verticale richting wordt gemeten. De eenvoudigste manier is om de lamphouder met lamp 90° te draaien. Het resultaat zal niet wezenlijk anders zijn.

Opgave: Meet de richtkarakteristiek van een lenslamp! Geef het resultaat weer in de reeds gemaakte grafiek L 19.

Op blz. 179 vindt u een voorbeeld afgedrukt. Dit hoeft niet noodzakelijkerwijs uw resultaten overeen te komen.

[Blz. 145]

7.4.4 Richtkarakteristiek van een fotoweerstand

Ook een lichtsensor heeft een richtkarakteristiek. Deze meten we op dezelfde wijze als bij een gloeilamp. We hoeven slechts één verandering in de proefopstelling aan te brengen: fotoweerstand en kogellamp worden verwisseld. Nu moet de fotoweerstand zo uitgericht worden dat de verlenging door de draaipunten van de scharnieren precies door de lichtgevoelige laag gaat. Model L 20 toont de opstelling.

U bent zeker in staat om het meetprotocol zelf te ontwerpen. Met de meetwaarden kunt u de grafiek van de richtkarakteristiek voor het horizontale en verticale vlak opstellen. In de omslagtas van dit boek vindt u een passendoorgedrukt formulier. Geef uw waarden hierin weer en stuur na het beantwoorden van de vragen het origineel naar de Fischerwerke, 7241 Tumlingen/Schwarzwald. Wij laten u weten of we tot een soortgelijk resultaat zijn gekomen. Als bedankje voor het beantwoorden van de vragen sturen we u enige reserve-lampjes.

Volgens dezelfde methode onderzoekt u nu de richtkarakteristiek met een zwart afschermkapje op de lichtsensor. Interessant is ook om het effect te onderzoeken van het aanbrengen van een grote lichtkoker.

[Afb. L 20]

[Blz. 146]

7.4.5 De brugschakeling

De in de voorgaande paragrafen gebruikte licht-meetmethode via stroom- en spanningsmeting is om verschillende uiteenlopende redenen niet erg nauwkeurig. Daarom gebruikt men voor precisieingen en voor speciale doeleinden de zogenaamde "brugschakeling".

Het principe zien we in schakeling L 22.

[Afb. L 22]

De "brug" bestaat uit de vier weerstanden $R_1 - R_4$. Op de ene diagonaal van de brug wordt een gelijkspanning gezet en op de andere een gevoelig elektrisch meetinstrument, bijv. een galvanometer. Voor de meting wordt de brug eerst "afgeregeld", d.w.z. één of meer weerstanden worden zodanig veranderd dat er geen stroom meer door de diagonaal met het meetinstrument vloeit. De stroom I_5 is dan gelijk aan nul. Zodra dat het geval is verhouden de weerstanden zich volgens de volgende formule:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad \text{als } I_5 = 0$$

De spanningsdeler $R_1 - R_2$ deelt de totaalspanning in dezelfde verhouding als de spanningsdeler $R_3 - R_4$. Daarom is er geen spanningsverschil tussen de punten waarop het meetinstrument is aangesloten! Daarom ook vloeit er na de afregeling geen stroom door het meetinstrument.

In ons geval kunnen we voor twee weerstanden van de brug onze fischertechniefotoweerstanden gebruiken en voor de andere twee de potentio- en de fischertechniek spanningsmeter (L 23). Als - hoewel niet erg nauwkeurig - afregelinstrument gebruiken we de fischertechniek voltmeter. In de volgende proef passen we de brugschakeling toe.

[Afb. L 23]

7.4.6 Vergelijkende meting van lampen

Nu gaan we het op blz. 136 beschreven visuele meet- resp. vergelijkexperiment om de lichtintensiteit van een lamp te bepalen, herhalen en vervangen daarbij het vergelijkingsvlak van papier door de 2 fotoweerstanden. De beslissing of de 2 vergelijkingsvlakken even helder verlicht zijn, wordt nu niet door onze ogen en hersenen genomen, maar door de brugschakeling en het "nul-instrument".

Voordat we beginnen met het eigenlijke vergelijken, moeten we eerst de meetopstelling ijken. Daartoe verlichten we beide fotoweerstanden met dezelfde lichtbron en, door aan de potentiometer te draaien, regelen we de brug zó af dat de wijzer van de meter noch naar links noch naar rechts uitslaat. Afb. L 24 toont de opbouw. De bedrading is volgens schema L 23.

De wijzer van de fischertechnik voltmeter kan ook ietwat links van het "nulpunt" uitslaan; daaraan herkent u dat de stroom in tegengestelde richting begint te vloeien. Let erop dat beide fotoweerstanden echt met gelijk sterkte verlicht worden. U kunt dat controleren door de beide fotoweerstanden van plaats te verwisselen.

[Blz. 147]

Nu draait u één van de fotoweerstanden 180° om, zoals in afbeelding L 25 is te zien (evenals de bedrading). Lamp 2 is de te meten lamp.

De afstand tussen lamp 1, onze standaard, en de fotoweerstand verandert we niet. Lamp 2 verschuiven we totdat de brugschakeling weer afgeregeld is. Uit de afstanden van de beide lampen tot de lichtgevoelige laag van de fotoweerstand berekenen we de relatieve lichtintensiteit van de te onderzoeken lamp volgens de reeds bekende formule (zie blz. 136).

[Afb. L 24]

De elektrische afregeling van de meetbrug werd voor één bepaalde verlichtingssterkte uitgevoerd. Als de helderheid sterk verandert, bijv. door gewijzigde voedingsspanning of door een andere afstand van lamp 1 tot de fotoweerstand, dan moet opnieuw worden afgeregeld, omdat de fotoweerstanden niet dezelfde gevoeligheid voor het hele verlichtingssterkte-traject moeten hebben.

In plaats van de lichtintensiteit van lichtbronnen te meten kan men met de brugschakeling ook de mate van absorptie of reflectie van objecten meten of de glans van een oppervlak.

Natuurlijk kan men ook de "onbalans" (d.w.z. het niet afgeregeld zijn) van de brugschakeling gebruiken om te sturen en te regelen. (Daarover later meer.)

[Afb. L 25]

[Blz. 148]

8. METING VAN DE SCHAKELDREMPEL VAN DE SCHALTSTAB

In de vorige paragrafen maakte u kennis met enkele fysische en technische begrippen met betrekking tot licht en enige meetmethoden op dit gebied. Nu gaan we ons bezighouden met een thema dat zowel de lichttechniek als de schakeltechniek raakt:

We gaan vaststellen bij welke verlichtingssterkte op de lichtsensor het relais van onze *Schaltstab* aantrekt resp. terugvalt. Een wetenschapper zou vragen: bij hoeveel lux ligt de schakeldrempel van de schakelversterker?

Daarvoor moeten we de verlichtingssterkte die op de fotoweerstand valt, zolang vergroten of verkleinen totdat het relais omschakelt. Dit bereiken we door de fotoweerstand langzaam naar een lamp toe of ervan af te bewegen.

Als lichtbron gebruiken we een fischertechnik kogellamp (geen lenslamp vanwege problemen met centreren!). We voeden ze met 6 V ~. De lamp is vast opgesteld, de fotoweerstand schuivend. De afstand tussen lamp en lichtgevoelige laag noemen we "l" (= lengte). Het is voldoende om de afstand in "aantal bouwstenen" uit te drukken. We kunnen dan de afstand schatten op ongeveer 1/10 bouwsteenlengte van 30 mm nauwkeurig. U kunt natuurlijk ook een liniaal met cm-verdeling gebruiken.

Model L 26 toont de proefopstelling.

Tijdens de proef moet elk storend licht afkomstig van de verlichting of door de ramen uitgeschakeld worden door de ruimte te verduisteren. Om het omschakelen beter te kunnen zien sluiten we twee controlelampjes aan op de bussen 1 - 2 en 3 - 4 van de *Schaltstab*. Ook dit licht mag niet direct op de lichtsensor vallen.

We beginnen met het bepalen van de schakeldrempel bij de gevoeligheidsinstelling "1" van de draaiknop op de *Schaltstab*. We brengen de lamp vanaf de grootst mogelijke afstand langzaam steeds dichterbij de fotoweerstand. Zodra beide controlelampjes uitgeschakeld worden, stoppen we en we meten de afstand tussen de lamp en de lichtgevoelige laag. Het resultaat vermelden we in het meetprotocol. We gebruiken daarvoor de regel "relais trekt aan bij l = mm" in het protocol L 27.

[Afb. L 26]

[Blz. 149]

[Afb. L 27]

Meetprotocol

trafospanning:V –

lamp nr:

gevoed met: V

gevoeligheidsinstelling

relais trekt aan bij $l = \dots$ mm

relais valt af bij $l = \dots$ mm

Dan schuiven we de lamp weer langzaam van de lichtopnemer weg. De afstand waarbij het relais weer terugvalt, schatten we en noteren we in de regel "relais valt af bij $l = \dots$ mm".

Daarna herhalen we dit proces voor de gevoeligheidsinstellingen 2 t/m 7.

Met deze waarden kunnen we al de aanspreekgrafiek voor de gebruikte lichtsensor tekenen. Die zou er uit kunnen zien als grafiek L 28.

Het daar getekende voorbeeld zal zeker niet helemaal met uw gegevens overeenkomen, omdat de elektrische gegevens van fotoweerstanden, transistoren en overige componenten stuk voor stuk enigszins van elkaar afwijken.

Aanspreekgrafiek van de *Schaltstab*:

[Afb. L 28]

↑ afstand l

→ gevoeligheidsinstelling

relais teruggevallen

relais aangetrokken

↓ relais trekt aan

← relais valt af

We hebben natuurlijk alleen de "relatieve" aanspreekgevoeligheid geme \square ter \square angezien we de lichtsterkte van de lamp niet precies kennen.

De curve geldt dus alleen voor de door ons gebruikte lamp en ook alleen maar bij de daarbij gebruikte voedingsspanning.

Herhaalt u de proef met de andere lichtsensor uit de bouwdoos of een andere lamp, dan zullen de meetwaarden zeker iets verschillen. Wie dus prijs stelt op "reproduceerbaarheid" van de meting (= herhaalde metingen onder dezelfde omstandigheden moeten dezelfde resultaten opleveren), die moet zijn fotoweerstanden en lampen nummeren en de gebruikte nummers in het meetprotocol opnemen.

U verkrijgt aanknopingspunten met betrekking tot de "absolute" aanspreek \square gevoeligheid als u een "matte" 100 W lamp zonder lampenkap in het verlengde van de optische bank voor de fotoweerstand opstelt en zover ver \square wijdet dat het relais omschakelt. De lamp moet liefst niet in dezelfde ruimte als de lichtsensor staan, maar door de deuropening vanuit de aan \square grenzende ruimte schijnen. Daardoor vermindert u de invloed van zijlicht, dat vanaf de wanden van de ruimte reflecteert op de fotoweerstand.

Als de lamp en de fotoweerstand 1 m uit elkaar staan dan bedraagt de verlichtingssterkte ca. 120 lux (zie blz. 135). Voorwaarde is natuurlijk dat de lichtgevoelige laag van de fotoweerstand precies naar de lamp wijst. Anders uitgedrukt: de centrale as door de behuizing van de lichtsensor moet precies naar het midden van de lamp wijzen.

Met behulp van de formule (zie blz. 135 resp. 179)

$$E_2 = E_1 \left(\frac{l_1}{l_2} \right)^2$$

en de waarde $E_1 = 120$ lux voor $l_1 = 1$ m kunt u de schakeldrempel van de *Schaltstab* bij gevoeligheidsinstelling "1" in "lux" bepalen en voor de andere instellingen berekenen uit de relatieve waarden. Tenslotte vult u uw grafiek L 28 aan met een lux-schaal.

[Blz. 150]

9. GRONDSLAGEN VAN DE VERLICHTINGSOPTIEK

9.1 DE TECHNIEK VAN HET LICHTSLOT

Tot nu toe hebben we ons bezig gehouden met elektronica en lichttechniek in het algemeen. Onze schakelversterker hebben we ofwel met een schakelaar resp. drukknop bediend ofwel door onderbreking van een op een fotoweerstand gerichte lichtstraal.

Een systeem dat uit een lichtbron en een lichtsensor bestaat duidt men algemeen aan als een "lichtslot". Als men bij een lichtslot de afstand tussen lamp en lichtsensor wil vergroten, dan moet men ofwel een zeer sterke lichtbron gebruiken ofwel met "optische" middelen de stralen die door een zwakke lichtbron worden uitgezonden "bundelen" en richten op de lichtsensor. We hebben immers een zekere minimale verlichtingssterkte nodig op de lichtgevoelige laag van de fotoweerstand. Die moet ook nog groter zijn naarmate bij onderbreking van het lichtslot de storende verlichtingssterkte van andere lichtbronnen groter is.

Om zelfstandig lichtsloten te kunnen ontwerpen moeten we derhalve enige basiskennis hebben van de optica. Componenten die ons daarbij interesseren zijn diafragma's, lenzen, spiegels en lichtgeleiders. Het is heel eenvoudig ermee om te gaan als u zich enige basisprincipes via experimenten eigen heeft gemaakt.

We gaan ons nu alleen bezighouden met een deelgebied van de optica: de verlichtingsoptica. Op de "afbeeldende" optica gaan we nauwelijks in.

9.2 DE OPTISCHE AS VAN EEN VERLICHTINGSSYSTEEM

We bouwen een optische bank volgens figuur B 1 (zonder lamp). Op ruit 3 zetten we de plaat met het dradenkruis en op ruit 5 de plaat met het gaatje. Deze wordt door de technicus een diafragma genoemd. De andere ruiters blijven vrij. We schuiven beide platen zover op de stenen dat het midden ervan boven het midden van de steen staat. Aangezien de middens van het dradenkruis en het gaatje zich, vanwege de constructie, even ver boven de ruiters bevinden, staan beide middens even ver boven de twee rails. Men kan zich een lijn voorstellen door deze beide middelpunten. Deze noemen we de "optische as"; ze is natuurlijk naar beide kanten willekeurig te verlengen.

Nu steken we in ruit 4 een heel korte as met klembus en we kijken door het gaatje naar het dradenkruis. Afbeelding B 1 toont de opstelling van de

as. We verschuiven de klembus zolang totdat de punt van de as precies in het midden van dradenkruis en gaatje staat. De punt van de as ligt dan precies op de "optische as" van ons "optische systeem".

Vervolgens steekt u de as, met de klembus op dezelfde plaats, in ruit 1. Als u door gaatje en dradenkruis kijkt, moet de punt van de as weer op de optische as liggen. Verschuiven van ruit 1 over de optische bank mag geen invloed hebben.

We verwijderen nu het asje en starten een nieuwe proef - zie B 2 - door aan het ene einde van de optische bank een kogellampje te monteren. Dit richten we zó dat de gloeidraad precies op de optische as ligt. Daar zijn twee manieren voor.

We laten de gloeilamp zwak oplichten, kijken door gaatje en dradenkruis en verschuiven de lamp zodanig dat de gloeidraad precies op de optische as ligt.

Bij de tweede methode zetten we de volle spanning op de lamp en zetten ze ongeveer op de juiste plaats. Op de plaat met het gaatje ziet u nu het beeld van het dradenkruis. Afbeelding B 2 toont de opstelling. Nu verschuiven we de lamp (niet de ruit) tot het midden van het dradenkruis samenvalt met het midden van het gaatje. Dan bevindt de gloeidraad zich op de optische as. (Door verschuiven van de ruit met het dradenkruis kunnen we de grootte van het afgebeelde kruis veranderen.)

[Afb. B 3]

[Blz. 151]

[Afb. B 1]

[Afb. B 2]

[Blz. 152]

9.3 DE CONVERGERENDE LENS

9.3.1 Eenvoudige waarnemingen

We bouwen een optische bank (model B 4). Aan de ene kant zetten we een kogellamp zodanig dat de gloeidraad precies ter hoogte van het midden van de centreerplaat staat. We bevestigen de dunste lens op een ruiters en markeren die met nr. 3. Ze wordt zo dicht mogelijk naar de centreerplaat geschoven. We verduisteren de ruimte een beetje.

We nemen op de centreerplaat een zwakke lichtcirkel waar die even groot is als de lens. Deze is ongeveer even groot als de op één na kleinste cirkel op de centreerplaat. Als we de lens verschuiven, dan verandert de grootte van de lichtvlek op de centreerplaat. Gebruiken we lens nr. 2 of de dikste lens nr. 1, dan is de verandering groter als we de lens verschuiven. Bij de dikste lens valt het het meest op.

De van de lamp afkomstige stralenbundel wordt dus door onze lenzen beïnvloed! Aangezien alle drie de lenzen aan één kant vlak (plat) zijn en gemaakt van hetzelfde materiaal, moet de vorm van de lenzen verantwoordelijk zijn voor de waargenomen verschillen.

De drie gekromde lensvlakken komen precies overeen met de kromming van drie verschillende bollen. Schets B 5 laat ons een doorsnede door de drie lenzen zien. De krommingsradii (kromtestralen) $r_1 - r_3$ zijn verschillend, de diameters van de lenzen gelijk.

De optische as van onze lens staat loodrecht op het platte vlak en gaat door het middelpunt van de kromming.

De waarnemingen en informatie gaan we nu verklaren:

[Afb. B 5]

[Afb. B 4]

[Blz. 153]

9.3.2 Lichtbreking

In afbeelding B 6 is een doorsnede door een lens te zien. Een puntvormig lichtbron die op de optische as ligt zendt lichtstralen uit. Daarvan zijn er twee in de schets getekend.

De lichtstraal "a" die van de lamp komt verandert van richting bij intrede in de lens. Binnen de lens gaat hij rechtdoor en pas bij een nieuwe overgang naar een ander doorzichtig medium - in ons geval bij de overgang van kunststof naar lucht - vindt er nogmaals een "breking" van de lichtstraal plaats. Bij de overgang van lucht naar glas of kunststof (algemeen: naar een optisch dicht medium) wordt de straal naar de loodlijn (= de lijn loodrecht op het grensvlak) toe gebroken. Bij de overgang van glas naar lucht, dus naar een optisch minder dicht medium, wordt hij van de loodlijn af gebroken.

Als we de hoek van inval α (spreek uit als alfa) noemen en de hoek na het grensvlak β (spreek uit als bèta), dan luidt de brekingswet:

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

"n" is de zogenaamde brekingsindex en is voor elke combinatie van twee stoffen (bijv. lucht-plexiglas of lucht-water) anders. (De sinus van een hoek kan uit tabellen afgelezen worden.)

Noemen we de brekingsindex van de overgang van een optisch dun naar een optisch dicht medium n_{12} (spreek uit als: en - een - twee) en voor de overgang in omgekeerde richting n_{21} , dan geldt de volgende relatie:

$$n_{21} = \frac{1}{n_{12}}$$

n_{12} heeft voor lucht-glas of lucht-kunststof bij de "normale" glas- en kunststofsoorten een waarde van ca. 1,5. Voor lucht-water is $n_{12} = 1,33$.

In schets B 7 zijn dezelfde lens en lamp nog eens getekend. De afstand l_2 tussen beiden is echter een stuk kleiner dan in schets B 6. De in punt "x" intredende lichtstraal heeft nu een grotere invalshoek α_1 op de lens. De uitredende straal is in tegenstelling tot schets B 6 niet meer naar de

[Afb. B 6]

optische as toe gericht, maar juist ervan af. De opticien zegt dat de straal achter de lens "divergeert", terwijl hij in schets B 6 "convergeert". In

beide gevallen wordt echter de lichtstraal a door de lens in de richting van de optische as afgebogen.

Het hierboven beschrevene geldt niet alleen voor de getekende lichtstralen maar ook voor alle andere stralen uit de lichtbron, met uitzondering van de straal "b" die precies loodrecht op het lensoppervlak valt. Deze gaat "ongebroken" door de lens heen. Lenzen, die de stralen naar de optische as toe buigen noemt men "convergerende" lenzen. In het jargon van de verlichtingstechnicus noemt men een convergerende lens ook een "condensor".

Overtuig u zelf door experimenten op een optische bank volgens afbeelding 4. De straal "a" kunt u uit de stralenbundel "wegfilteren" met behulp van het diafragma met het kleine gat.

[Afb. B 7]

[Blz. 154]

9.3.3 Brandpuntsafstand en brandpunt

Men kan zich tussen de schetsen B 6 en B 7, met de afstanden l_1 en l_2 tussen lamp en lens, gemakkelijk een schets voorstellen met afstand l_3 , waarbij de straal die uit de puntvormige lichtbron komt na de lens precies parallel aan de optische as verder gaat. In schets B 8 zijn behalve de 2 stralen a en b nog een aantal stralen getekend.

[Afb. B 8]

In dit geval ontstaat dus een parallelle stralenbundel. Om precies te zijn: een bundel parallelle stralen.

De getekende "stralengang" geldt ook als de stralen in tegengestelde richting lopen, dus parallel op de lens vallen. Ze worden dan in punt "F" verenigd. Dit punt noemt men het brandpunt. De afstand tussen het middelpunt van de lens en het brandpunt noemt men de brandpuntsafstand.

Omdat de stralen die direct van de zon afkomen vanwege de grote afstand van de zon parallel lopen, kan men de op het lensoppervlak vallende

zonnestrallen zodanig in het brandpunt concentreren, dat op die plaats papier ontbrandt. De brandpuntsafstanden van de drie lenzen laten zich met behulp van zonnestrallen gemakkelijk bepalen. Hoe groot zijn de brandpuntsafstanden?

In het laboratorium gebruikt men de volgende methode: Op de al eerder afgebeelde optische bank B 4 verschuiven we de lens, waarvan we de brandpuntsafstand willen bepalen, zolang totdat op de centreerplaat, die aan de andere kant van de bank is opgesteld een cirkelvlak oplicht dat even groot is als de doorsnede van de lens. De brandpuntsafstand van de lens is gelijk aan de afstand tussen lamp en lens. Ter controle of de stralen werkelijk parallel lopen verschuift men de centreerplaat. Daarbij mag de diameter van de lichtvlek nauwelijks tot niet veranderen. Gebruik een kogellamp. Deze methode is niet erg nauwkeurig omdat de gloeidraad van de lamp geen puntvormige, maar een vlakke en ongelijkmatig oplichtende lichtbron is.

Het maakt niet uit of de vlakke of convexe (naar buiten gebogen) zijde naar de lamp gekeerd is.

Onderzoek a.u.b. of de brandpuntsafstanden van de 3 lenzen, die u m.b.v. zonnestrallen heeft gevonden, overeenkomen met de laboratoriummethode en vergelijk uw waarden met die op blz. 179.

9.3.3 Meer lensvormen

Onze drie convergerende fischertechniek lenzen zijn "plan-convex", omdat één vlak plat is en het andere een "convexe" vorm heeft. De drie lenzen hebben verschillende kromtestralen. Als convergerende lenzen zouden ze ook twee convexe vlakken kunnen hebben.



convergerende lenzen

divergerende lenzen

Divergerende lenzen zijn het tegengestelde van convergerende lenzen. De eenvoudigste vorm is een lens met een vlakke en een concave (naar binnen gebogen) zijde. Zulke lenzen zijn in het midden dunner dan aan de rand. Hun kenmerk: een lichtstraal die door een divergerende lens gaat wordt van de optische as af gebroken. Een lichtbundel wordt dus "verstrooid".

Lenzen met zowel een convexe als een concave zijde kunnen - al naar gelang de grootte van de kromtestralen - convergerende dan wel divergerende lenzen zijn.

[Blz. 155]

9.4 DE DIOPTRIEWAARDE VAN EEN LENS

In plaats van de brandpuntsafstand van een lens gebruikt men in de techniek vaak de "sterkte".

Hoe korter de brandpuntsafstand van een lens is, hoe groter de sterkte. Als eenheid van de sterkte heeft men de "dioptrie" gekozen. Een lens met een brandpuntsafstand van 1 m heeft 1 dioptrie.

$$[\text{Sterkte } D = 100 / (f [\text{cm}]) \text{ [dioptrieën]}]$$

Convergerende lenzen hebben positieve dioptrie-waarden, divergerende daarentegen negatieve.

[Afb. B 9]

9.5 DE LICHTSTERKTE VAN EEN LENS

Wat we nu weten is dat hoe groter de sterkte van een lens is, hoe dichter we de lamp bij de lens moeten zetten om een parallelle stralenbundel te maken. Afb. B 9 laat dit nog eens zien. Als de lenzen alle 3 dezelfde diameter hebben, dan is bij kleinere brandpuntsafstand de omvatte ruimte-
 hoek van de lichtbron groter en valt er dus meer licht op bijv. de lichtsensor.

Heeft men lenzen van dezelfde sterkte maar met verschillende diameters, dan omvat de lens met de grotere diameter een grotere ruimtehoek van de

lichtbron. Ze benut dus een groter deel van de lichtstroom vanuit de lamp; ze is dus "lichtsterker".

Als maat voor de "lichtsterkte" van een lens heeft men gekozen voor de verhouding tussen lensdiameter en brandpuntsafstand. Om verwarring met de definitie van lichtsterkte van een lichtbron te voorkomen, onthouden we deze verhouding beter als "relatieve opening" van een lens of lenzen-systeem. *[Dit speelt in deze vertaling geen rol, omdat voor de "lichtsterkte" van een lichtbron de term "lichtintensiteit" is gebruikt. (vert.)]*

9.6 ACHTER ELKAAR (SERIE) SCHAKELN VAN LENZEN

Bij het achter elkaar (in serie) schakelen van elektrische weerstanden vloeit de stroom eerst door de ene en dan door de andere weerstand. Met licht gaat dat exact hetzelfde, als het door verschillende lenzen wordt gestuurd.

[Afb. B 10]

Laten we eerst de lenzen nr. 2 en nr. 3 combineren. We schuiven op onze optische bank de twee ruiters met de lenzen zo dicht mogelijk tegen elkaar aan. Schets B 10 toont de opbouw. Dan verschuiven we de lenzencombinatie zolang totdat we een parallelle lichtbundel hebben gekregen tussen de lenzencombinatie en de centreerplaat. dan meten we de brandpuntsafstand, dus de afstand tussen de lamp en ongeveer het midden tussen beide lenzen.

De brandpuntsafstand van de lenzencombinatie is:

$$f = f_1 \cdot f_2 / (f_1 + f_2)$$

De sterkte van de combinatie is:

$$D = D_1 + D_2$$

[Blz. 156]

9.7 DE LOOP VAN DE LICHTSTRALEN IN LENSSYSTEMEN

9.7.1 Algemeen

In de techniek van de besturing d.m.v. licht kan men twee wegen be-wandelen. In het eerste geval bestuurt men de schakelkring via kleine hel-dersverschillen op de lichtsensoren. Nadeel: veel elektronische componen-ten nodig omdat de hoge versterkingsfactor verscheidene transistoren vereist.

In het tweede geval spendeert men meer geld aan de optiek en spaart daarmee uit op de elektronica. Men probeert dus door optische middelen zoveel mogelijk licht te bundelen op de fotowerstand. Dit lukt des te beter naarmate we de eerste lens dicht bij de lichtbron kunnen plaatsen. Bij de fischertechniek lenslamp is de lens gelijk met de glasballon van de lamp versmolten, waardoor de lichtbron goed wordt benut.

Aangezien echter de optische as van deze lens niet precies samenvalt met de as van de lampfitting, moeten we bij elke toepassing de lamp afstellen.

9.7.2 Het afstellen van een lenslamp

De eenvoudigste oplossing toont afbeelding B 11. De lamp kan met behulp van een scharniersteen met rode nok zodanig gedraaid en verschoven worden totdat de optische as van de lens van de lamp samenvalt met die van het ervoor opgestelde lenzensysteem.

Omdat dit moeilijkheden oplevert voor de "beginner", zullen we het precies uitleggen:

De lampdrager is draaibaar om de assen A, B en C. De lamphouder met lamp kan in de hoogte worden verschoven.

De lenshouders daarentegen zijn niet in hoogte verstelbaar. Daarom moeten we bij het afstellen de lenzen als uitgangspunt nemen. Ter vereenvoudiging gebruiken we bij het afstellen geen lenzen, maar de diafragma's met het gat en de kruisdraad.

Op ruit 1 zetten we het gat-diafragma en op ruit 2 het kruisdraad-diafragma. We verstellen de lamp zolang tot de straal helemaal door het gat gaat en concentrisch op het midden van de kruisdraad-opening valt. De kruisdraad wordt op de centreerplaat afgebeeld. Deze moet samenvallen met de kruisende lijnen op de centreerplaat. Is dat gebeurd, dan is de lamp afgesteld op de optische as van de optische bank. Dan pas

verwijderen we beide diafragma's en zetten één van de lenzen (bijv. nr. 2) op ruit 1.

[Afb. B 11]

[Blz. 157]

9.7.3 De loop van de lichtstralen in een lenzensysteem

Als voorbeeld voor de vele mogelijkheden bouwen we de opstelling B 12 op onze optische bank. De tweede (het verst van de lamp verwijderde) lens laten we vooralsnog weg. De lichtkegel van een kogellamp die in het brand-punt van lens nr. 1 staat bundelen we zodanig dat ongeveer een parallelle lichtbundel ontstaat. Dat controleren we op de centreerplaat. Bij verschuiven ervan moet de diameter ongeveer even groot blijven.

Nu zetten we de centreerplaat - zoals op de afbeelding - aan het einde van de optische bank en zetten lens nr. 2 direkt achter lens nr. 1 in de lichtbundel. Lens nr. 2 verschuiven we nu van lens nr. 1 weg totdat de lichtvlek weer zo groot is als ze was zonder lens nr. 2. Er is dus schijnbaar niets veranderd aan de lichtbundel!

In werkelijkheid hebben we echter de stralengang omgekeerd! Afbeelding B 13 toont ons het verloop van twee geselecteerde lichtstralen.

Door de centreerplaat te verschuiven kunnen we ons overtuigen van het verloop van de stralen.

[Afb. B 13]

[Afb. B 12]

[Blz. 158]

Nu houden we - zoals in afbeelding B 14 is te zien - een fischertechniek as dwars in de parallelle stralenbundel en kijken of en waar deze as op de centreerplaat wordt afgebeeld.

We nemen waar dat de as in "spiegelbeeld" wordt afgebeeld. Houden we de as links in de stralenbundel, dan wordt ze rechts afgebeeld. Bedenk wat er gebeurt als u de as van bovenaf in de stralenbundel brengt.

Zet nu de as in de stralenbundel tussen lens nr. 2 en de centreerplaat. Verschuif ze langzaam van de lens naar de centreerplaat en observeer daarbij of en waar de punt van de as wordt afgebeeld.

Verwijder nu de as uit de opstelling en zet het gat-diafragma tussen de lenzen nr. 1 en nr. 2, dus in het gebied van de parallelle stralen. Het gat moet nu niet op de optische as liggen, maar op een willekeurige andere plaats. Bedenk voordat u deze proef gaat uitvoeren waar ongeveer de afbeelding van het kleine gat op de centreerplaat zal liggen.

9.7.4 Diafragma in de lichtstraal

In een proefopstelling zoals die van schets B 13 kunnen we tussen lens nr. 2 en de centreerplaat een diafragma plaatsen.

Zetten we ze op de plek waar de lichtbundel het sterkst is ingesnoerd, dan zal ze de lichtstraal nauwelijks beïnvloeden. Schuiven we ze echter dichterbij de lens of de centreerplaat toe, dan zal ze de stralengang afsnijden. In de techniek van het lichtslot passen we de straalomkering met de daaraan gekoppelde insnoering toe als de lichtbundel door een heel kleine opening moet gaan.

Probeer eens een lichtslot met twee insnoeringen volgens schets B 15 te bouwen.

[Afb. B 14]

[Blz. 159]

9.7.5 Afbeelding van een dradenkruis

In een nieuwe proef B 16 verlicht u met een lenslamp en lens nr. 1 het kruisdraad-diafragma zo helder mogelijk. Met lens nr. 3 (zwakste lens) beeldt u het kruis op een afstand van ca. 1 - 3 m "scherp" af. Daarvoor moet de lens zo'n 180 mm van het diafragma af staan.

Wilt u het kruis groter afbeelden, dan gebruikt u lens nr. 2. Moet deze lens dichterbij het diafragma staan of verder weg? A.u.b. eerst nadenken en dan pas uitproberen.

Heeft u om de één of andere reden een lichtstreep nodig, gebruik dan het spleet-diafragma.

9.7.6 Bundeling vóór de lichtsensor

Bij een grote lengte van het lichtslot lukt het niet om de straal volledig te benutten voor de lichtsensor, omdat de gloeidraad geen puntvormige lichtbron is en de lenzen afwijkingen vertonen.

U kunt echter de lichtbundel met behulp van nog een lens voor de fotowerstand nogmaals bundelen.

[Afb. B 15]

[Afb. B 16]

[Blz. 160]

9.8 VLAKKE SPIEGELS

In paragraaf 6.3 hebben we het gedrag van een lichtstraal leren kennen, die op een plat vlak valt. Als deze "gericht" wordt en vrijwel zonder verlies gereflecteerd, dan noemen we het reflecterende vlak een spiegelend vlak. Als dit vlak is, dan spreken we van een vlakke spiegel. Daarmee kan men stralenbundels van richting veranderen. Schets B 17 toont zes mogelijkheden.

Parallele stralen blijven na de reflectie parallel, divergerende stralen blijven ~~verdivergent~~ en convergerende blijven convergent. Overtuig uzelf van de juistheid van de 6 getekende stralengangen door een zelf bedachte proef met kogellamp, lens, vlakke spiegel en foto ~~weerstand~~sp. centreerplaat.

Voorbeeld 1 gebruikt men als lamp en lichtsensor vlak bij elkaar samen ~~gebouwd~~ moeten worden. De spiegel staat dan - goed uitgericht - aan het andere uiteinde van het lichtslot.

Voorbeeld 2 wordt gebruikt bij lichtsloten waarbij de lichtstraal éénmaal of meermalen van richting verandert. Zo'n opstelling heeft men bijv. nodig als men verschillende trajecten wil bewaken met één enkele fotoweerstand.

De voorbeelden 3 t/m 6 geven mogelijkheden om de benodigde ruimte van een lichtslot te beperken.

In de besturingstechniek zet men ook wel spiegels op beweegbare machine-onderdelen. Op die manier kan men bijv. met een enkele lichtbron verschillende lichtsloten na elkaar aansturen. Wie in het bezit is van een tweede fischertechniek elektronica-*Schaltstab*, kan met deze methode geraffineerde modellen bouwen. Omgekeerd is het echter ook mogelijk om met behulp van 2 spiegels, één of twee lampen en een enkele fotoweerstand een elektronica-*Schaltstab* vanuit verschillende plekken te besturen.

Het zal zeker niet moeilijk zijn om toepasselijke modellen te bouwen, bijv. om de excenterpers met lichtslotbeveiliging uit deel 1, blz. 32, om te bouwen.

[Afb. B 17]

[Blz. 161]

9.9 HOLLE SPIEGELS

In plaats van platte spiegelvlakken gebruikt men in de techniek vaak gekromde spiegelvlakken, bijv. spiegels waarvan het spiegelend vlak een deel van een boloppervlak is. Voor onze doeleinden zijn we vooral geïnteresseerd in zogenaamde "holle spiegels". In uw bouwdoos bevindt zich ook zo'n spiegel.

Schets B 18 toont de stralengang in een bolvormige holle spiegel bij verschillende afstanden van de lichtbron. Het principe in het midden past men toe bij projectielampen. De spiegel reflecteert in dat geval het anders nutteloos naar achteren vallende licht naar voren. Welke radius heeft de holle spiegel uit uw bouwdoos?

Een bijzondere vorm van holle spiegels zijn de "parabool"-spiegels die de vorm hebben van een omwentelingsparaboloïde, waarbij dus de parabool om zijn symmetrie-as is gewenteld.

[Afb. B 18]

[Afb. B 19]

Bouw nu eens een lichtslot volgens schets B 19.

9.10 FLEXIBELE SPIEGELSTRIP

De spiegelstrip in de bouwdoos maakt het mogelijk om aanschouwelijke experimenten met verschillend gekromde spiegels zelf uit te voeren. U kunt de strip in de langsrichting vrijwel onbeperkt buigen.

U kunt bijv. een "cilinderspiegel" maken door de strip cirkelvormig te buigen. Zo werd bijv. in het model "botsbeveiliging" de spiegelstrip als een uitwendig spiegelende cilinder gebruikt.

Meestal wordt echter in de lichtslot-techniek een parabolisch gebogen strip gebruikt. Schets B 20 toont de stralengang als de lamp in het brandpunt staat. Afbeelding B 21 (volgende pagina) toont een model van een instelbare spiegel en de bijbehorende spiegelhouder. Houd er rekening mee dat bij een parabool de kromtestraal niet constant is, maar naar buiten toe steeds groter wordt! Alleen met een parabolische spiegel kan men parallelle stralen maken, met een bolvormige niet.

[Afb. B 20]

[Blz. 162]

Een parabolische kromming krijgen we als we buitenkanten van de strip lijnvormig opleggen en vervolgens tegen het midden duwen. Om de lamp alleen richting spiegel te laten stralen, zetten we er een fischertechniek bouwsteen achter. Staat de lamp in het brandpunt van de spiegel, dan zien we – op voldoende afstand van de spiegel – de spiegelstrip als een gelijkmatig oplichtende strip.

Schets B 22 toont een “lichtgordijn”. Bij de juiste instelling van de schakel□drempel aan onze *Schaltstab* valt het relais af zodra een voorwerp de stralengang ergens verstoort. Bij het lichtslot met stralengang volgens schets B 23 daarentegen zal een klein voorwerp dat in de buurt van de spiegel door het lichtgordijn beweegt, niet leiden tot omschakeling als de schakeldrempel juist is ingesteld. Dat zal echter zeker wel gebeuren als het voorwerp door het lichtgordijn beweegt in de buurt van de lichtsensor. Probeer u het zelf.

De afbeelding op het titelblad van dit boek toont een opstelling waarmee men de lichtverdeling in het gordijn kan aftasten en meten.

In een lichtgordijn kan men ook de lamp en de lichtsensor van plaats verwisselen. Probeer u het eens!

[Afb. B 22]

[Afb. B 23]

[Afb. B 21]

[Blz. 163]

9.11 LICHTGELEIDER

Neem nu één van de twee lange, doorzichtige kunststof staven uit de bouwdoos en plaats aan het ene einde een kogellampje en aan het andere einde een kleine optische bank, waarop een centreerplaat verschuifbaar is gemonteerd. Zoals te zien in afbeelding B 24, bevindt zich de lamp precies voor de lichtgeleider.

Let er a.u.b. heel goed op dat uw lichtgeleiders zo weinig mogelijk krassen oplopen en niet afslijten.

Benader nu met het vrije uiteinde van de plexiglasen staaf de centreerplaat. U ziet dat de kopse kant van de staaf licht uitstraalt. Het licht van de lamp wordt dus door de staaf heen geleid! Daarom noemen we zo'n staaf een lichtgeleider.

Maken we de afstand tussen het vrije uiteinde van de staaf en de centreerplaat iets groter, dan zien we de ronde lichtvlek snel groter worden.

Nu buigen we de staaf een beetje. Tot onze verrassing gebeurt er daardoor niets met de lichtvlek. We kunnen dus met een lichtgeleider ook licht “de hoek om” leiden. Plaats de kortere, over een rechte hoek gebogen lichtgeleider uit uw bouwdoos met behulp van bouwstenen voor een lamp en overtuig uzelf ervan.

[Afb. B 24]

[Blz. 164]

Waarom geleidt de staaf het licht?

[Afb. B 25]

Afbeelding B 25 laat een doorsnede door een gebogen staaf zien. Straal 1, die vanaf de lamp loodrecht op de kopse kant de staaf intreedt en de stralen 2 en 3, die onder een hoek intreden, worden allen “totaal” gereflecteerd door de wanden van de staaf, voordat ze aan het andere uiteinde weer uit treden.

Nu wilt u natuurlijk graag weten waarom de straal op de plaatsen a-b-c enz. niet uit treedt uit de staaf, terwijl hij aan het uiteinde de staaf zonder meer verlaat.

Het principe laat schets B 26 ons zien.

De lichtstraal die uit het optisch dichtere medium I komt gaat in situatie 1 volgens de reeds bekende brekingswet (zie blz. 153) door het grensvlak

[Afb. B 26]

Plexiglas	I
Lucht	II

heen. In situatie 2 wordt hij aan het grensvlak naar het optisch dunnere medium precies in de richting van het grensvlak gebroken. In situatie 3 kan

de straal eveneens niet meer uitreden uit medium I, hij wordt “totaal” (= geheel) gereflecteerd.

In het algemeen geldt: als de hoek van inval α van een stralingsbron op een grensvlak van twee stoffen groter is dan de specifieke waarde (= grenswaarde) voor deze stofcombinatie (bijv. plexiglas-lucht), dan wordt de straal totaal gereflecteerd.

Maakt men echter het oppervlak van de staaf ruw, dan wordt het grensvlak golvend! De lichtstralen die zulke plaatsen bereiken worden nog maar gedeeltelijk gereflecteerd, het andere deel treedt uit het grensvlak onder allerlei hoeken. Met andere woorden: het opgeruwde deel of de kras wordt duidelijk zichtbaar zodra er licht door de staaf vloeit.

In de techniek beschermt men daarom lichtgeleiders, die een heel specifieke functie hebben, door een laklaag. De staven hebben allerlei vormen. De uiteinden waar het licht in- of uitgaat worden zorgvuldig vlakgeslepen en gepolijst.

De fischertechnik-lichtgeleiders kunnen we, na verwarmen, in bijna elke willekeurige vorm buigen (afb. B 27). We kunnen daarmee bijv. het licht van één lamp verdelen over meer plaatsen of één of meer lichtgeleiders naar een fotoweerstand leiden (afb. B 28). Dat is interessant als we vanuit verschillende lampen een enkele fotoweerstand willen sturen en deze lampen zich in verschillende stroomkringen bevinden.

Lichtgeleiders zijn echter ook te gebruiken als wegaftakking voor licht-elektronische voertuigen. Het geringe strooilight dat de staaf zijdelings verlaat is in de meeste gevallen voldoende om de *Schaltstab* via een fotoweerstand te besturen.

Voor speciale doeleinden kan men eens met een mes in de lengterichting over een lichtgeleider schaven en hem daardoor opruwen. Vanuit de tegenoverliggende zijde ziet deze smalle streep er vanwege de lenswerking van de ronde staaf zeer breed uit.

[Blz. 165]

[Afb. B 27]

[Afb. B 28]

[Blz. 166]

10 INLEIDING IN DE BESTURINGS- EN REGELTECHNIEK

10.1 HET BEGRIP: BESTURING

De leek zal dit begrip in eerste instantie associëren met het besturen van een auto of een schip; zo eenzijdig moet men het begrip besturing in de techniek echter niet zien.

We kiezen een heel eenvoudig voorbeeld, dat zeer verhelderend werkt. Bouw nogmaals het model van een schemeringschakelaar dat afgebeeld is op bladzijde 19 van deel 1. Het elektrische principeschema S 1 toont ons in vereenvoudigde vorm hoe het daglicht via de fotoweerstand het relais be-stuur~~t~~ waarvan de contacten de lampen in het vermogenscircuit in- resp. uitschakelen. De vermogensbron is in ons model de trafo.

[Afb. S 1]

Daglicht
Vermogensbron
Principeschema

Het is duidelijk welke opdracht de technicus al in de ontwerpfase kreeg: De verlichting van een straat moet, zodra en zolang het daglicht niet voldoende is, automatisch worden overgenomen door kunstlicht.

De opgave werd op de volgende wijze opgelost:

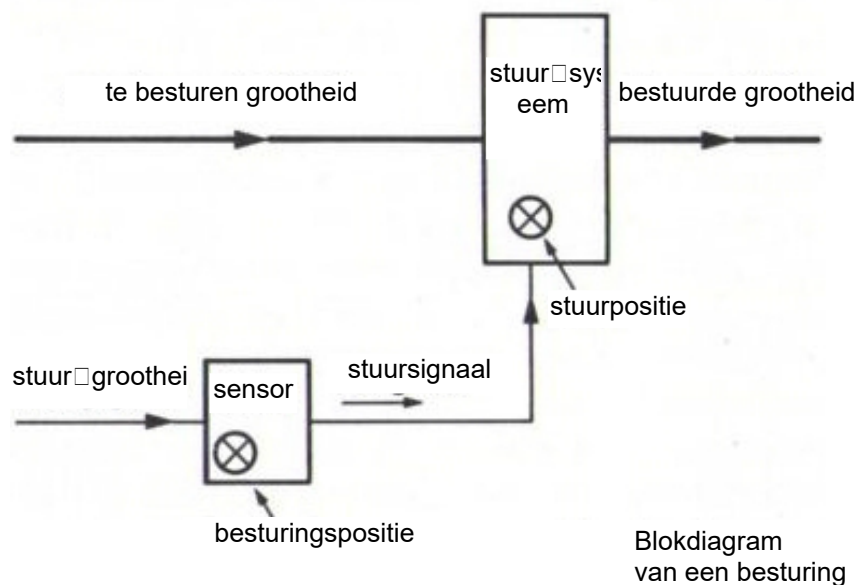
Als de verlichtingssterkte van de zon op een straat of plein onder een bepaalde grenswaarde zakt, dan mag men aannemen dat in verband daarmee ook de verlichtingssterkte van het licht van de hemel op de fotoweerstand onder een zekere waarde zakt. Deze waarde gebruikt men als criterium om de lampen in te schakelen. Analoo (op gelijke wijze) gaat men te werk bij het uitschakelen van de lampen.

Merk op dat de feitelijke schakeltoestand van de lampen geen enkele invloed heeft op de verlichtingssterkte van de fotoweerstand, aangezien de lampen niet de fotoweerstand, maar de straat verlichten. Het is dus voor

de schakeltoestand om het even of de straat toevalligerwijze door andere lichtbronnen al voldoende wordt verlicht.

Dit voorbeeld maakt het ons gemakkelijker om in het vervolg van het verhaal een algemeen geldende voorstelling van de besturingstechniek te begrijpen.

In een schets die in de besturings- en regeltechniek een "blokschema" wordt genoemd zijn de gestandaardiseerde, algemeen geldende begrippen van de besturingstechniek het beste te verduidelijken.



S 2

De bestuurde grootheid is in ons voorbeeld de van de lampen afkomstige lichtstroom, die bijv. een waarde afhankelijk van soort en aantal van de lampen of 0 kan aannemen.

De te besturen grootheid is de elektrische stroom die al dan niet door de lampen vloeit.

Het stuursysteem omvat het schakelrelais, diens contacten, de lampen, onze trafo. Verder behoort ook de schakelversterker (onze *Schaltstab*) tot het stuursysteem.

[Blz. 167]

De stuurgrootheid is de verlichtingssterkte van het daglicht, de sensor een fotoweerstand, de besturingspositie de top van een paal en het stuursignaal de stroom die door de fotoweerstand vloeit. De stuurpositie is de plaats waar de stuurschakel, het relais van de *Schaltstab*, is op- of ingebouwd.

Bekijkt men de indeling van de schakels t.o.v. elkaar, dan onderscheidt men een keten van afzonderlijke schakels, een zogenaamde "besturingsketen" waarbij geen enkele van de opeenvolgende schakels de voorafgaande kan beïnvloeden. We hebben namelijk - door de fotoweerstand op de top van een paal te plaatsen in de richting van de hemel - ervoor gezorgd dat het licht van de ingeschakelde lampen geen wezenlijke invloed kan uitoefenen op de stuurgrootheid, de verlichtingssterkte op de fotoweerstand. De besturingsketen heeft een "ingangsgrootheid" (in ons voorbeeld de verlichtingssterkte op de fotoweerstand) en een "uitgangsgrootheid" (in ons voorbeeld de lichtstroom van de lampen). De uitgangsgrootheid heeft geen invloed op de ingangsgrootheid.

Heel algemeen kunnen we de besturing als volgt definiëren:
De besturing is een proces waarbij een vastgestelde waarde van een uitgangsgrootheid tot stand komt door verandering van een daarvan onafhankelijke ingangsgrootheid.

De stuurgrootheid en de bestuurde grootheid zijn in ons voorbeeld licht. Ze zijn onafhankelijk van elkaar als de sensor niet toevallig verkeerd gemonteerd zou zijn en reageert op het licht van de lampen!

Tevens is het belangrijk dat het stuursignaal het stuursysteem op de juiste wijze stuurt. In ons voorbeeld stuurt het goed als de straatverlichting bij beginnende duisternis wordt ingeschakeld (en dus niet als de ochtendschemering begint!).

In ons voorbeeld wordt alleen onderscheid gemaakt tussen de besturings- toestand "licht aan" - "licht uit". Het principe van de besturing verandert niet als men met behulp van bijkomende componenten bijvoorbeeld de helderheid van de straatverlichting zou laten variëren. Zo zou men - eveneens gestuurd door het daglicht en met een tweede *Schaltstab* (uit I-e 2) - zodra het helemaal donker wordt enkele lampen kunnen bijschakelen. Deze lampen kan men dan - op een bepaalde tijd of na een zekere tijdsduur - weer uitschakelen.

Een ander voorbeeld: een verwarmingsinstallatie voor verschillende ruimtes wordt niet bestuurd door temperatuursensoren in de ruimtes zelf, maar door een buitensensor. De verwarming gaat dus aan als de buitentemperatuur bijv. onder de 10 °C daalt en weer uit als hij boven deze (of een andere) grenswaarde stijgt.

Wat is in dit geval het stuursysteem, de bestuurd grootheid, de stuurgrootheid en het stuursignaal?

De bestuurd grootheid kan vanzelfsprekend ook van een heel andere aard zijn als de stuurgrootheid. Zo kan bijv. de druk in een leidingstelsel bestuurd worden door de temperatuur bij een machine.

Opgave: bouw een model van een verlichtingsinstallatie, waarbij 1 lamp via de *Schaltstab*, afhankelijk van de hoeveelheid daglicht, wordt in- resp. uitgeschakeld bij begin van de schemering. Een 2^e lamp moet 2 minuten na het inschakelen van de 1^{ste} lamp bijgeschakeld worden; ze moet samen met de 1ste lamp uitgeschakeld worden.

Echt interessant wordt de besturingstechniek als er verschillende sensoren ter beschikking staan. Daarmee kan men dan verschillende processen tegelijkertijd of na elkaar starten.

Een zeer interessant voorbeeld met contactloze sensoren, namelijk onze lichtsloten, vindt u op de volgende pagina.

[Blz. 168]

10.2 VOORBEELD UIT DE BESTURINGSTECHNIEK: SORTEERINSTALLATIE

Hiervoor heeft u nog een uitbreidingsdoos I-e 2 nodig, die een *Schaltstab* en een lichtsensor bevat.

Afbeelding S 3 toont een sorteerinstallatie voor fischertechnik bouwstenen. Het is een verkleinde versie van een pakket-sorteermachine. De draaibare sorteertafel wordt aangedreven door een mini-motor. In de afgebeelde rust-stand is het een verlenging van de vaste glijbaan. Glijdt een bouwsteen over de glijbaan op de sorteertafel tot tegen de aanslag "A", dan wordt een korte steen automatisch vóór de grondplaat en een lange steen achter de grondplaat neergelegd. Het apparaat scheidt dus automatisch bouwstenen van twee verschillende groottes.

In detail werkt de installatie als volgt: zodra een steen arriveert bij aanslag "A", onderbreekt hij - al naar gelang zijn lengte - ofwel alleen lichtslot "a" ofwel beide lichtsloten "a" en "b". Lichtslot "a" zet via *Schaltstab* 1 spanning op *Schaltstab* 2. Lichtslot "b" kijkt via *Schaltstab* 2 of er een korte of lange steen is aangekomen.

Beslissing 1: lichtslot "b" is niet onderbroken! De motor draait de sorteertafel zodanig dat de steen naar voren eruit valt. Gelijktijdig met de motor krijgt lamp II spanning. Omdat deze fotoweerstand 4 belicht, die parallel aan fotoweerstand 5 is geschakeld en daardoor een "houdschakeling" vormt die *Schaltstab* 2 ingeschakeld houdt, heeft de onderbreking van lichtslot "b" door de segmenten S₁ en S₂ tijdens het draaien geen effect. Pas als na een volledige omwenteling van de tafel lichtslot "a" wordt vrijgegeven door de spleet tussen sorteertafel en segment S₁, maakt *Schaltstab* 1 de *Schaltstab* 2 spanningsloos. Daardoor gaat lamp II uit en de houdschakeling voor *Schaltstab* 2 wordt opgeheven.

Beslissing 2: aan het begin van het sorteerproces zijn lichtslot "a" en "b" beide onderbroken! De motor loopt andersom en lamp II blijft uit. Na een halve omwenteling van de sorteertafel - vlak daarvoor viel de steen ervan af - valt er licht op lichtsensor 4 vanwege de excentrische plaatsing van segment 4 t.o.v. de as. Op dat moment verandert de draairichting van de motor en wordt tegelijk lamp II ingeschakeld. De sorteertafel stopt in de uitgangspositie omdat de motor - net als bij beslissing 1 - via lichtslot "a" op het juiste ogenblik wordt uitgeschakeld. Lamp III, die parallel aan de motor is geschakeld, werkt in dit geval als een "kortsluitweerstand"; de motor komt daardoor zeer snel tot stilstand.

De draairichting van de aandrijfmotor voor de sorteertafel wordt dus bepaald door het al dan niet onderbroken zijn van lichtslot b bij de start. De afstelling van de segmenten S_1 en S_2 op de sorteertafel als u de sleuven waardoor licht zou kunnen vallen afplakt en het grote tandrad wegneemt, zodat u de sorteertafel met de hand kunt draaien.

De te besturen gebeurtenis wordt door een stuursignaal gestart, bijv. de onderbreking van een lichtslot.

Bij de eenvoudige besturing zal het stuursignaal, gegeven door een stuurgrootheid, de gebeurtenis, bijv. het lopen van een motor, op gang brengen en weer uitschakelen.

In onze sorteerinstallatie wordt alleen het stuursignaal voor de start van buitenaf gegeven. Na de start heeft de stuurgrootheid geen invloed meer op het verdere verloop van het proces. Het sorteerproces wordt niet door een extern signaal beëindigd, maar door een signaal dat de sorteertafel resp. de segmenten S_1 en S_2 door hun positie afgeven. Dat betekent dat het proces dat van buitenaf is gestart, zichzelf beëindigt. Zo'n besturing noemt men een "sequentiële besturing".

Een algemeen geldende definitie van een sequentiële besturing luidt: bij het bereiken van de drempelwaarde van een ingangsgrootheid wordt een binair "aan"-signaal gegeven, dat het proces start. Het proces is verder onafhankelijk van wijzigingen van de ingangsgrootheid. Overschrijdt de uitgangsgrootheid door het verloop van het proces een drempelwaarde, dan wordt een binair signaal gevormd dat zorgt voor beëindiging van het proces.

[Blz. 169]

[Afb. S 3]
6V~ naar staaf 1 [Schaltstab 1]

[Afb. S 4]

[Afb. S 5]

[Blz. 170]

10.3 HET BEGRIIP: REGELING

In het voorlaatste hoofdstuk hebben we gezien dat bij een besturing geen terugkoppeling plaatsvindt van de uitgang (bestuurde grootheid) op de ingang (stuurgrootheid) van de besturingsketen.

Is er echter wel zo'n terugkoppeling, dan spreken we van een "regeling". Een eenvoudig voorbeeld maakt dit nog duidelijker.

Een vlak moet verlicht worden met een constante verlichtingssterkte, bijv. 50 lux. Schommelingen van de voedingsspanning en het verwisselen van een defekte lamp mogen geen rol spelen.

Om deze opgave op te lossen kan men in het eenvoudigste geval in een stroomkring met lampen een variabele weerstand opnemen, waarvan men de waarde instelt met een kleine motor (= stelmotor). Dan hoeven we alleen nog maar ervoor te zorgen dat de momentane verlichtingssterkte op het vlak wordt gemeten en het meetresultaat met een ingestelde waarde (bijv. 50 lux) wordt vergeleken. Is de werkelijke verlichtingssterkte groter, dan zegt de technicus: de werkelijke waarde is groter dan de instelwaarde. In dat geval wordt met behulp van de stelmotor de variabele weerstand zover vergroot, totdat de werkelijke en ingestelde waarde gelijk zijn. Is daarentegen de werkelijke waarde op een gegeven tijdstip kleiner dan instelwaarde, dan wordt met behulp van de stelmotor de regelweerstand overeenkomstig verlaagd. De stelmotor loopt niet als werkelijke en ingestelde waarde met elkaar overeenstemmen!

Het schakelschema voor de oplossing zou er zo uit kunnen zien:

[Afb. S 6]
Vergelijker
Instelling

We hebben bij deze schakeling een kunstgreep toegepast: we regelen alleen lamp 2. Daardoor wordt het "verliesvermogen", dat in de regelweerstand in warmte wordt omgezet en dus geen bijdrage levert aan de verlichting van het vlak, kleiner. Iedere lamp in het schakelschema bestaat in werkelijkheid uit verschillende lampen.

(Wie zulk een model wil bouwen, heeft een variabele weerstand nodig, die zich gemakkelijk laat verstellen. Het afstellen is het best te doen in een brugschakeling en als stelmotor gebruikt men een kleine gelijkstroommotor van 1,5 Volt met een grote vertraging. De brug moet men voeden met 10 - 20 Volt.)

Wij kunnen afzien van het bouwen van deze installatie en in de plaats daarvan het model "Synchroon lopen van twee aandrijvingen" bouwen uit deel I, bladzijde 90.

Bij dit model maken twee kabeltrommels, aangedreven door verschillende motoren, evenveel omwentelingen - gezien over een langere tijdsduur.

De regeling vindt plaats door beide motoren te koppelen met een differentiël. Deze overbrenging vergelijkt voortdurend de werkelijke toestand (in ons voorbeeld: het aantal omwentelingen van de "geregelde motor" sinds het starttijdstip) met de instelwaarde (in ons voorbeeld: het aantal omwentelingen van de "ongeregelde motor" sinds het starttijdstip) en beïnvloedt op grond van deze meting het momentane toerental ("omwentelingen per tijdseenheid") van de geregelde motor. Ligt de geregelde motor achter op de ongeregelde motor, dan wordt hij ertoe aangezet om wat sneller te lopen dan de andere motor. Heeft hij echter een voorsprong, dan gaat hij - afhankelijk van de schakeling - wat langzamer lopen dan de andere motor of hij wordt stopgezet. Het verschil tussen instelwaarde en werkelijke waarde wordt voortdurend gemeten.

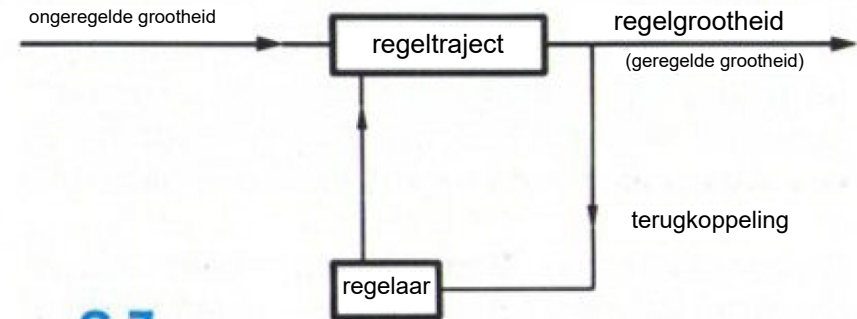
Het wezenlijke van beide modellen is: de uitkomst aan het einde van de arbeidsketen beïnvloedt het begin van deze keten. We hebben dus niet meer - zoals bij de besturing - een arbeidsketen, maar een arbeidskring.

[Blz. 171]

Nu begrijpen we ook de officiële, "gestandaardiseerde" definitie van het begrip regeling. Zij luidt:

Regeling is een proces waarbij de vastgestelde waarde van een grootheid voortdurend via ingrijpen op grond van meting van deze grootheid gehandhaafd wordt. De hiervoor benodigde opeenvolgende acties vinden plaats in een gesloten circuit, de regelkring.

Het blokschema van een regeling is te zien in afbeelding S 7.

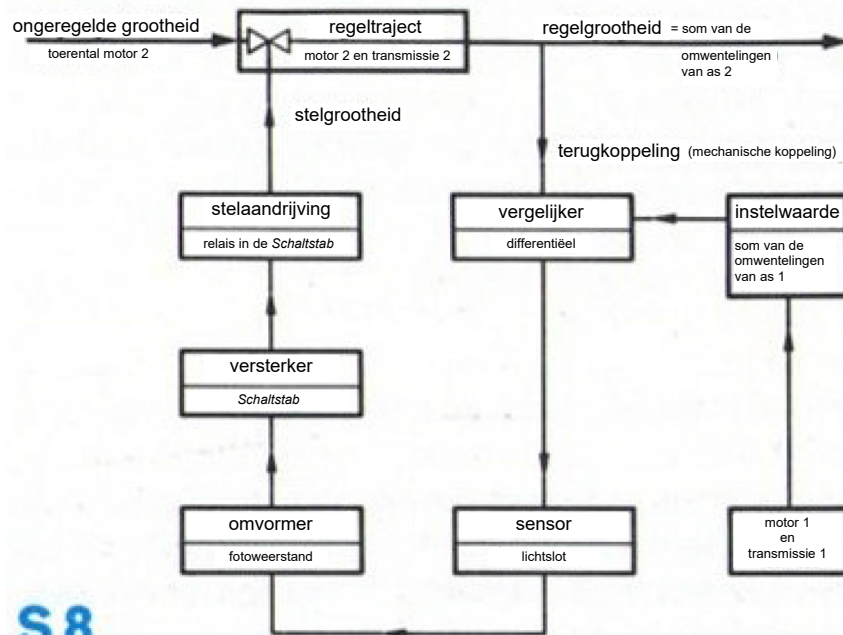


S 7

De regelkring bestaat uit het regeltraject, de terugkoppeling en de regelaar, die het regeltraject beïnvloedt. Is deze kring niet gesloten, dan is het geen regeling, maar een besturing.

Onder het "regeltraject" verstaat men het geheel van alle organen, die door de regeling worden beïnvloed. Aan de uitgang van het regeltraject wordt een deel van de geregelde energie afgetapt. In het algemeen is dit deel zeer klein ten opzichte van de totale afgegeven geregelde energie. Dit is ook het geval in onze voorbeelden. In het tweede voorbeeld wordt de kracht teruggekoppeld die benodigd is voor de aandrijving van één zijde van het differentiël. Aangezien het aftasten van de positie van de buitenmantel van het differentiël door een lichtslot geen energie aan het differentiël onttrekt, wordt slechts een zeer kleine hoeveelheid energie gebruikt om de wrijvingskrachten te overwinnen.

De regelaar is het orgaan dat de instelwaarde met de werkelijke waarde vergelijkt aan de uitgang van het regeltraject en - indien ze niet met elkaar overeenstemmen - een schakel van het regeltraject zodanig beïnvloedt dat de werkelijke en ingestelde waarden volledig - of op zijn minst beter - overeenstemmen. Het vergelijken moet voortdurend of op zijn minst binnen redelijke tijdsintervallen gebeuren. Het blokschema S 7 laat zich verfijnen. In afbeelding S 8 zijn de algemeen geldende begrippen en bijbehorende elementen uit ons voorbeeld aangegeven.



S8

In het eerste voorbeeld van een regeling moet de verlichtingssterkte constant gehouden worden. Men vergelijkt daarvoor de werkelijke waarde, verkregen door een fotoweerstand, met de instelwaarde, die niet verandert. Zulk een regeling noemt men daarom een "vaste waarde"-regeling. De instelwaarde noemt men ook de "referentiewaarde". Het is niet gemakkelijk om een lichttechnische referentiewaarde te creëren die vrijwel niet verandert in de tijd. De daarvoor toegepaste lampen voedt men met "onderspanning", d.w.z. een kleinere dan toelaatbare spanning, ter verhoging van de levensduur en om het zwart worden van de glazen bol te verminderen. Door speciale elektrische ingrepen houdt men de stroom door de lamp constant.

In het tweede voorbeeld van een regeling, het synchroniseren van twee aandrijvingen, is er daarentegen geen vaste referentiewaarde. De instelwaarde is het aantal omwentelingen vanaf het begintijdstip van het vergelijken. De instelwaarde neemt voortdurend toe in het voorbeeld. Men noemt zo'n soort regeling daarom een "nalooptregeling". Dit soort behoort

in de groep "volgeregeling" (in tegenstelling tot de groep vaste waarde-regeling). Er is eveneens sprake van een volgeregeling als men de instelwaarde volgens een tijdschema continu of stapsgewijze verandert.

[Blz. 172]

Iets over regelsnelheid en regelnauwkeurigheid: in het voorbeeld van de verlichtingssterkte-regeling is gemakkelijk in te zien dat de stelmotor voor het verstellen van de regelweerstand niet reeds bij de kleinste onbalans van de meetbrug begint te lopen. Schakeling S 9 toont dit meetprincipe.

[Afb. S 9]

De motor start pas met lopen als de onbalans van de brug zo groot is dat de spanning over de diagonaal van de brug de "aanloopspanning" van de motor overschrijdt. Kleine afwijkingen in de werkelijke verlichtingssterkte worden dus niet weggeregeld. Een versterker in de diagonaal van de brug zou wel de aanspreekgevoeligheid verhogen, maar niets veranderen aan het principe.

Is het verschil tussen werkelijke en ingestelde waarde groot genoeg, dan begint de motor te lopen, maar hij regelt het verschil niet helemaal weg, omdat hij al stopt voordat het verschil 0 is.

Nu zetten we nog eens duidelijk op een rij wat men met een regeling in het algemeen kan of wil bereiken. Bij de vaste waarde-regeling is de ingestelde waarde constant. In dat geval heeft men dus een constante vergelijkingsstandaard nodig. Vanwege de vele conversiemogelijkheden die de elektronica en elektrotechniek ons bieden, kan deze standaard van een heel andere aard zijn als de te regelen grootte. Voorbeeld: een vaste weerstand in een brugschakeling in plaats van een fotoweerstand die door een lichtbron met constante lichtsterkte wordt verlicht. Men spaart hiermee zowel de constant brandende lamp uit als de temperatuurgevoelige fotoweerstand! De vaste waarde-regeling is ook geschikt als grotere vermogens constant gehouden moeten worden en de overeenkomstige standaarden technisch of economisch alleen voor hele kleine vermogens vervaardigd kunnen worden.

Voor de volgeregeling geldt hetzelfde.

Bovendien biedt ze de mogelijkheid om 2 op zich constant maar niet even snel verlopende processen of 2 niet constant verlopende processen zo te koppelen dat ze even snel verlopen.

In beide gevallen wordt behalve het bijregelen van schommelingen van de ongeregelde grootte tevens bereikt dat een van buitenaf werkende storing op het regelsysteem, een zogenaamde "stoorgrootheid-invloed", geheel of gedeeltelijk wordt bijgesteld, afhankelijk van het soort regeling.

De regelaars kan men naar soort regeling in de volgende groepen indelen:

Proportionele regelingen. Deze regelen sneller bij naarmate het verschil tussen werkelijke en ingestelde waarde groter is. (Daartoe behoort de brugschakeling met motor in de diagonaal.) Kleine verschillen worden slechts langzaam bijgesteld. Proportionele regelaars hebben in het algemeen een lange "dode tijd". Daarmee bedoelt men de tijd tussen het optreden van de afwijking tot aan begin van het regelen.

Differentiërende regelingen. Deze regelen kleine afwijkingen snel en goed bij, schieten echter tekort bij grote afwijkingen en hebben de neiging om te gaan oscilleren.

Integrerende regelingen. Het model "synchrone aandrijvingen" werkt volgens dit principe. De regeling verhindert dat de som van de afwijkingen groot wordt. Het verschil in toerental van de assen op enig moment interesseert de regeling niet, alleen de optelsom van alle verschillen tot dan toe.

In de techniek moet men meestal een combinatie van deze 3 typen regelingen toepassen.

[Blz. 173]

Laten we nog eens kijken naar de regeling in het model: 2 synchrone aandrijvingen.

De ideale toestand van de regeling, namelijk dat het reeds gelopen aantal omwentelingen van elke aandrijving volledig overeenstemt, is nooit volledig bereikbaar. De geregelde aandrijving zal altijd wat voor of achter lopen. Het regelproces is dus niet "continu", maar "discontinu", d.w.z. in

stappen. Onze regelaar is een typische tweestandenregelaar, want hij kan slechts tussen 2 extreme standen schakelen.

Het regelen gebeurt door de "arbeidscyclus" te veranderen. Met arbeidscyclus bedoelt men de verhouding tussen de tijdsduren van twee opeenvolgende schakeltoestanden. Schets S 10 toont twee voorbeelden:

[Afb. S 10]

Spanning U	tijd t
Toerental n	tijd t

In het eerste voorbeeld is de arbeidscyclus uit : aan = 1 : 1, in het tweede geval echter 3 : 1. Men kan grofweg zeggen dat de motor in het eerste geval 50% van zijn vermogen levert en in het tweede geval 25%. Al naar gelang het vermogen daalt of stijgt het toerental.

Als u het model laat lopen op een batterij in serie met de *Schaltstab*, dan krijgt u bij de geregelde motor waarschijnlijk een spannings- en toerentaldiagram zoals in S 11.

Nu gaan we proberen de regelsnelheid in het model te verhogen. Daartoe bouwt u het model zodanig om dat het differentiële de werkelijke en ingestelde waarde vergelijkt van twee sneller draaiende assen. (Voorwaarde: voor beide aandrijvingen een gelijke overbrengingsverhouding tussen kabeltrommel en differentiële.)

Nu schakelt de *Schaltstab* in kortere intervallen (= tijdspannen). U kunt zelfs een "quasi-constante" (als constant werkende) regeling bereiken. Dit is het geval als as 2 constant en bij benadering gelijkmatig draait. We bereiken dit omdat de roterende (draaiende) delen van de motor en de snelopende delen van de aandrijving een zekere traagheid hebben en daardoor de snelle regeling van de motorspanning niet meer kunnen volgen. Het toerental van de motor wordt ook in dit geval door verandering van de arbeidscyclus geregeld.

[Afb. S 11]

S 12 toont een spannings- en toerentaldiagram voor deze snelle regeling bij serieschakeling van batterij en *Schaltstab*.

In het model hoeft het toerental van motor 1 geenszins constant te zijn. Om de regeling toch te laten functioneren, moet aan twee voorwaarden zijn voldaan: het toerental van as 1 mag niet kleiner zijn dan het kleinste en niet groter dan het grootste toerental dat de regelaar kan instellen. Er wordt nogmaals op gewezen dat het toerental een maat voor de snelheid is en gemeten wordt in omwentelingen per tijdseenheid (bijv. per minuut). De regeling in het model regelt daarentegen de som van het aantal omwentelingen vanaf het begin van vergelijken. (Voorwaarde: in het begin moet de voeler zich precies op de as van het lichtslot bevinden.)

[Afb. S 12]

Ook in het model "Toerentalregeling zonder verliezen", bladzijde 92, deel I, wordt door het verstellen van de gevoeligheidsdrempel van de *Schaltstab* de arbeidscyclus veranderd en daarmee het toerental gevarieerd. U ziet en hoort dat aan de relaiscontacten.

[Blz. 174]

10.4 GRENSWAARDE-REGELING

In de vorige paragraaf hebben we kennis gemaakt met het principe van de regeling: bij een regeling moet er een terugkoppeling bestaan tussen uitgang en ingang. Tegelijkertijd moet er echter ook in enigerlei vorm een vaste of veranderlijke instelwaarde zijn, waarmee de werkelijke waarde in de regeling vergeleken kan worden. Naar aanleiding van deze vergelijking stelt de regeling de uitgaande grootte bij in de richting van de ingestelde waarde.

Een bijzondere, meestal eenvoudiger versie van de regeling is de zogenaamde "grenswaarde"-regeling.

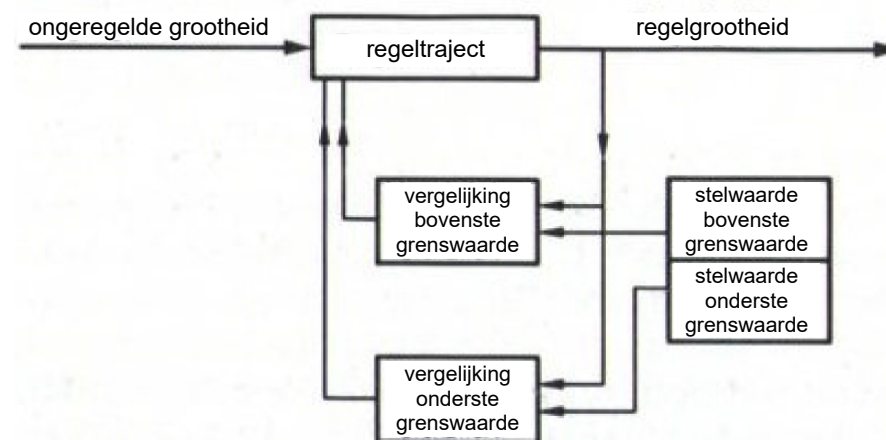
Een eenvoudig voorbeeld helpt ons verder. In een ruimte met vensters staat een apparaat met bedieningspaneel. De verlichtingssterkte op dit bedieningspaneel mag nooit onder 10 lux zakken. Zodra dit gebeurt moet een reservelamp ingeschakeld worden. Als de verlichtingssterkte van het daglicht of andere lichtbronnen inclusief de reservelamp op het bedieningspaneel echter groter is dan 25 lux, dan moet de reservelamp automatisch uitgeschakeld worden. (De genoemde lux-waarden geven

slechts aan dat de verhouding tussen de hoogste en laagste waarde meer dan 2,0 moet zijn.)

Deze opdracht is geen eenvoudige besturingsopdracht, want de uitgangswaarde (verlichtingssterkte op het paneel) beïnvloedt de ingangsgrootte. Er bestaat dus een arbeidskring (terugkoppeling, red.). Een echte regeling zoals tot nu toe besproken is het echter ook niet, want er is geen instelwaarde gegeven, er worden alleen grenzen genoemd.

De ene grens geeft aan dat de verlichtingssterkte nooit onder 10 lux mag zakken. De andere grenswaarde vereist slechts dat bij een verlichtingssterkte boven 25 lux de reservelamp wordt uitgeschakeld. Er wordt dus niet geëist dat de absolute verlichtingssterkte niet boven 25 lux mag komen. Als dat wel werd vereist, dan hadden we een echte regeling. Dan zou er een stelbaarheid beschikbaar moeten zijn, die bijv. de jaloezieën van de ruimte zover sluit dat de 25 lux in geen geval wordt overschreden. (Waarschijnlijk zou men dit oplossen door het daglicht helemaal uit te schakelen en met kunstmatig licht te werken.)

S 13



De grenswaarde-regeling is in het algemeen op te lossen met behulp van twee sensoren en de bijbehorende omvormers en schakelaars. Het vereenvoudigde blokschema is te zien in schets S 13.

De technische uitvoering van de regelopgave wordt wezenlijk eenvoudiger, als we de zogenaamde "inschakel-uitschakel-hysteresis" van een schakelrelais benutten.

Hiermee bedoelt men de eigenschap, dat voor het aantrekken een wezenlijk hogere stroom nodig is dan voor het vasthouden van het aangetrokken relais. (Een relais valt in het algemeen pas af als de stroomsterkte onder 50% zakt van de waarde die nodig is om het relais te laten aantrekken.) Het relais in onze Elektronica-*Schaltstab* vertoont ook dit effect.

Schets S 14 toont u het principe van de bedrading. Probeer u eens het principe-schema hiervan te ontwerpen. De versterker moet u symbolisch aangeven.

Dan bouwt u het model en probeert het uit.

[Blz. 175]

[Afb. S 14]

Licht vanaf het venster

Hoe werkt dit systeem?

Als de verlichtingssterkte beneden de onderste grenswaarde (bijv. 10 lux) daalt, dan daalt de stuurspanning U_1 op de *Schaltstab* tot onder ongeveer 0,5 Volt. Zoals we op bladzijde 119 e.v. van dit boek zagen, valt dan het relais in de *Schaltstab* af en gaat de lamp die op de contacten 3 - 4 is aangesloten branden. Aangezien deze lamp ook de fotoweerstand verlicht, stijgt de verlichtingssterkte daarop. Zolang ze echter onder de bovenste grenswaarde (bijv. 25 lux) blijft, blijft ook de stuurspanning, die we eerder met U_1 hebben aangeduid, onder 0,6 Volt en het relais blijft afgevallen.

Daalt de standaardverlichting nog verder, dan vermindert ook de verlichtingssterkte op ons paneel. Ze kan echter nooit beneden de waarde komen die de ingeschakelde lamp produceert.

Stijgt om de een of andere reden de verlichtingssterkte weer, dan daalt de weerstandswaarde van de fotoweerstand. Daarmee stijgt echter de

stuurspanning U_1 . Overschrijdt deze 0,6 Volt, dan trekt het relais aan en de reservelamp gaat uit. Aangezien de reservelamp een bijdrage van 10 à 15 lux levert aan de totale verlichtingssterkte, wordt de fotoweerstand na uitschakelen van de lamp nog met minstens 10 à 15 lux verlicht. Hoewel bij deze verlichtingssterkte de stuurspanning U_1 kleiner dan 0,6 Volt is, is ze nog steeds groter dan 0,5 Volt. Daarom blijft het relais in de *Schaltstab* aangetrokken en de reservelamp blijft uit.

Let op dat de lamp hoog genoeg boven het paneel hangt. Is dit niet het geval, dan overschrijdt na inschakelen van de lamp de verlichtingssterkte de bovenste grenswaarde. Daardoor wordt de lamp uitgeschakeld. Vervolgens wordt de lamp opnieuw ingeschakeld. Dit proces herhaalt zich voortdurend. Het regelsysteem zou in dat geval nooit tot rust komen.

Nu gaan we proberen om via een kunstgreep de verhouding tussen de bovenste en onderste regelgrens te vergroten. Schema S 15 toont ons een mogelijkheid.

[Afb. S 15]

We schakelen dus in serie met de fotoweerstand een vaste weerstand van 1 k-Ohm. Door een relaiscontact r , bediend door relais R, kan de voorschakelweerstand overbrugd worden. Omdat het relais op de contacten 1 - 2 van de *Schaltstab* is aangesloten, trekt het relais R aan als de reservelamp niet brandt, aangezien de verlichtingssterkte groter is dan de onderste grenswaarde. De schakeling werkt in deze toestand dus alsof het extra relais er niet is.

Op het ogenblik van omschakelen valt relais R echter af. De overbrugging van de 1 k-Ohm weerstand wordt opgeheven.

Als nu de verlichtingssterkte weer stijgt, dan vindt het omschakelen pas plaats als de weerstand van de lichtsensor 1 k-Ohm kleiner is dan bij het model zonder extra relais. Dat is zeker niet het geval bij een verlichtingssterkte van 25 lux. De grenswaarde van de verlichtingssterkte waarbij de reservelamp wordt uitgeschakeld, ligt nu wezenlijk hoger.

[Blz. 176]

Nog een zeer interessant model toont afbeelding S 16, de bijbehorende schakeling S 18. Een wagentje kan vrij op twee rails heen en weer bewegen. Het ene einde van de rails kan door een motor op en neer bewogen worden, al naargelang het lichtslot onderbroken is of niet.

Bouwt u het model en zet in eerste instantie het lichtslot op de afgebeelde positie. Enkele wenken voor de bouw en de werking: de wiellagers van het wagentje moet u zorgvuldig uitrichten en heel lichtjes met dunvloeibare olie smeren, om het zo licht mogelijk te laten lopen. De wielen moeten een beetje axiale speling hebben. De *Schaltstab* voedt u het best met een wat lagere gelijkspanning zodat de motor niet te snel loopt.

Voor de eerste proef stelt u de hoogte van de rails aan het vaste lagerblok zó af dat bij loodrechte stand van de excenterschijf - zoals in afbeelding S 17 - de rails precies horizontaal liggen. De wagen zet u in het midden van de baan. In deze stand wordt de fotocel verlicht, het lichtslot is dus geopend.

Nu schakelen we de *Schaltstab* in. Dan moet de motor de aandrijving zo draaien dat de wagen in richting lagerblok, dus richting lichtslot begint te lopen.

Onderbreekt de wagen het lichtslot, dan verandert de draairichting van de motor. Het zojuist omhoog getilde einde van de rails gaat nu omlaag. De wagen loopt echter nog in dezelfde richting verder, omdat de rails nog steeds dezelfde hellingshoek hebben. De hellingshoek wordt kleiner tijdens het omschakelen. De snelheid van de wagen neemt geleidelijk af. Vanwege de traagheid van de wagen zal hij echter pas tot stilstand komen als de rails al naar de andere kant hellen.

Nu begint de wagen terug te lopen. Al na een kort stukje geeft hij het lichtslot vrij. Daardoor wordt de motor weer omgepoold. De hellingshoek neemt weer af en neemt vervolgens toe in de andere richting. Ook de wagen keert weer om en het spel begint van voor af aan.

Door de hoogte van de rails bij het lagerblok te variëren en door de plaats van het lichtslot en de onderbrekerplaat te veranderen kan men bewerkstelligen dat de wagen al omkeert voordat hij het einde van de baan heeft bereikt.

Met ons model hebben we een in de techniek vaak gehanteerd regelprincipe leren kennen: de pro-actieve regeling. Het signaal voor de richtingsverandering wordt bij dit principe gegeven vóórdat de gewenste grenswaarde wordt bereikt. In het voorbeeld gebeurt het omschakelen van de motor al lang voordat de wagen de positie heeft bereikt waar hij moet omkeren.

[Afb. S 18]

[Blz. 177]

[Afb. S 17]

[Afb. S 16]

[Blz. 178]

11 ANTWOORDEN OP DE GESTELDE VRAGEN

Blz. 24: Contactloze trillingsmeting

Een zwart vlak slokt veel meer licht op van een lichtbron dan het lichtgrijze, glanzende vlak van de fischertechnik bouwstenen, en zeker als dat zwarte vlak niet glanzend, maar mat is.

Maakt men de slinger zwart, dan kan het omgevingslicht van de ruimte de fotoweerstand niet bereiken. In de donkere fase ontvangt de fotoweerstand dan praktisch geen licht, waardoor het verschil tussen licht en donker groter wordt.

Bij heel snelle oscillaties van de slinger kan men de breedte van de zwarte papierstrip nog groter kiezen. Daardoor wordt de "verduisteringstijd" en dus de duur van de impuls langer. Dan is de versterker in staat ook bij snelle oscillaties het telwerk aan te sturen.

Blz. 42: Transportband met teller

De juiste plaats van het lichtslot is positie 3. In positie 1 worden onderdelen die zich overlappen op de band slechts als één onderdeel geteld. In positie 2 worden alleen grote onderdelen geteld, en in positie 4 zou een onderdeel dat hol op de band ligt, twee maal geteld kunnen worden.

Blz. 78: Hefpoort

Automatische besturing van de hefpoort na een startimpuls is mogelijk, als u schuin voor de lichtsensor een lamp monteert, die u parallel aan de motor schakelt. Een korte lichtpuls of een korte druk op de startknop is dan voldoende om de lamp voor de fotoweerstand in te schakelen.

De motor schakelt zichzelf weer uit aan het einde van de "openingscyclus" als u een bouwplaat zodanig aan de poort bevestigt dat deze aan het einde van het sluitproces de lichtstraal van de nieuw aangebrachte lamp naar de lichtsensor onderbreekt.

U kunt ook met een tweede lichtsensor en de tweede lamp een "houdschakeling" maken.

Blz. 102: Vermogen en arbeid

1) Een 100 Watt gloeilamp mag precies 10 uren ingeschakeld zijn, om een arbeid van één kW-uur (kWh) aan het net te onttrekken. Want: $1 \text{ kWh} = 100 \text{ W} \times 10 \text{ uren}$.

2) Door een 220 Volt gloeilamp met een vermogen van 100 Watt vloeit ongeveer 0,5 Ampère.

Want: $P = U \cdot I$; $I = P / U = 100 / 220 = 0,455 \text{ (A)}$

3) $P = U \cdot I = U \cdot U/R = U^2 / R = 6^2 / 60 = 36 / 60 = 0,6 \text{ (W)}$

Blz. 106: Serie-parallelschakeling

Door nog een lamp parallel te schakelen aan de lampen 2 en 3 wordt de weerstand van het parallelgeschakelde deel lager en daardoor de spanning U_1 hoger. Lamp 1 brandt dan nog feller.

Blz. 110: Een wisselend licht maken

Naarmate de fotoweerstand sterker verlicht wordt, daalt de elektrische weerstand ervan. Aangezien de fotoweerstand parallel aan lamp 1 is geschakeld, wordt de weerstand van deze parallelschakeling lager en de spanning over lamp 2 neemt evenveel toe als de spanning over lamp 1 afneemt. U kunt ook zeggen: de stroom die door lamp 2 vloeit gaat slechts gedeeltelijk door lamp 1, omdat in knooppunt "A" een vertakking van de stroom in b en c plaatsvindt met de stromen J en Jb. Beide overwegingen leiden ertoe dat bij sterkere verlichting van de fotoweerstand lamp 1 donkerder en lamp 2 feller wordt.

[Blz. 179]

Blz. 128: Werking van de spanningsdeler

De ijking uit de laatste proef geldt niet meer, omdat de spanning over de buitenste aansluitingen van de potentiometer is veranderd.

U moet daarom opnieuw ijken of de schaalverdeling omrekenen na vergelijking van de beide maximale instelspanningen.

Blz. 130: Schaduwbeelden

Het middelste van de 3 schaduwbeelden wordt door geen van beide lampen verlicht, terwijl de andere twee schaduwbeelden elk door 1 lamp wel en de andere niet verlicht worden.

Verduistert men de ruimte, dan vindt er uitsluitend verlichting door de 2 lampen plaats. De beide buitenste schaduwbeelden staan in de "halfschaduw", terwijl het middelste schaduwbeeld "kernschaduw" laat zien.

Blz. 135: Verlichtingssterkte

$$E_1 : E_2 = I_1 : I_2, \text{ dus als } I_1 = I_2 \text{ dan } E_1 : E_2 = (l_2 : l_1)^2$$

Blz. 137: Vergelijken van lichtsterktes

Van lamp 1 die als standaard wordt gebruikt kennen we de lichtsterkte niet. Wie de waarde bij benadering wil meten, moet in plaats van lamp 1 bijv. een 100 W huishoudgloeilamp nemen. We kunnen berekenen dat deze een lichtsterkte I van ongeveer 120 candela heeft. De lamp (zonder scherm) moet 1 tot 2 meter van het referentievlak verwijderd opgesteld worden!

Blz. 139: Een andere visuele methode

De hier beschreven methode werd voor het eerst door Rumford beschreven.

Lamp 1 verlicht alleen schaduwvlak "I", aangezien de staaf het licht van lamp 2 afbuigt. Schaduwvlak "II" kan alleen door lamp 2 verlicht worden.

Verschuift men de lamp zover totdat beide schaduwvlakken even helder zijn, dan is de verlichtingssterkte op beide vlakken even groot. Volgens de afstandsregel is dan de verhouding tussen de lichtsterkte I_1 van lamp 1 en lichtsterkte I_2 van lamp 2 gelijk aan het kwadraat van de verhouding tussen de afstanden l_1 en l_2 . Men noteert dat als volgt:

$$I_1 : I_2 = l_2^2 : l_1^2 \text{ als } E_2 = E_1$$

Blz. 144: Richtkarakteristiek van een lenslamp

[Afb. L 29]

Blz. 154: Brandpuntsafstand en brandpunt

Brandpuntsafstand van lens 1 = 3,5 cm

Brandpuntsafstand van lens 2 = 7 cm

Brandpuntsafstand van lens 3 = 14 cm

[Blz. 180 t/m 186]

12. ALFABETISCHE INDEX

aanloopspanning	172
aantrekken - afvallen van een relais	118 ff, 127, 174
aanwijzingen voor het bouwen van modellen	13
abrupt remmen van een motor	32, 168
absolute waarde	137
absorptie: zie lichtabsorptie	
achtereenschakeling van lenzen	155 ff
afbeelding van een staaf	158
afschermkap	15, 129, 141, 145
afstandsregel	136
afstelling van een brugschakeling	146
afstelling van verlichtingssterktes	136
aftakking	104
aftaster	50
afvlakking van een gelijkspanning	117
aktieve componenten	108
alarm, continu	121
alarmschakeling	10, 20, 82, 121
Ampère	102
anker van een relais	113
anti-diefstal: zie alarmschakeling	
anti-inbraak: zie alarmschakeling	
apo-stilb	135
arbeid, elektrische	103
arbeidscyclus	173
arbeidsketen	170
arbeidskring	170, 174
atomen	106

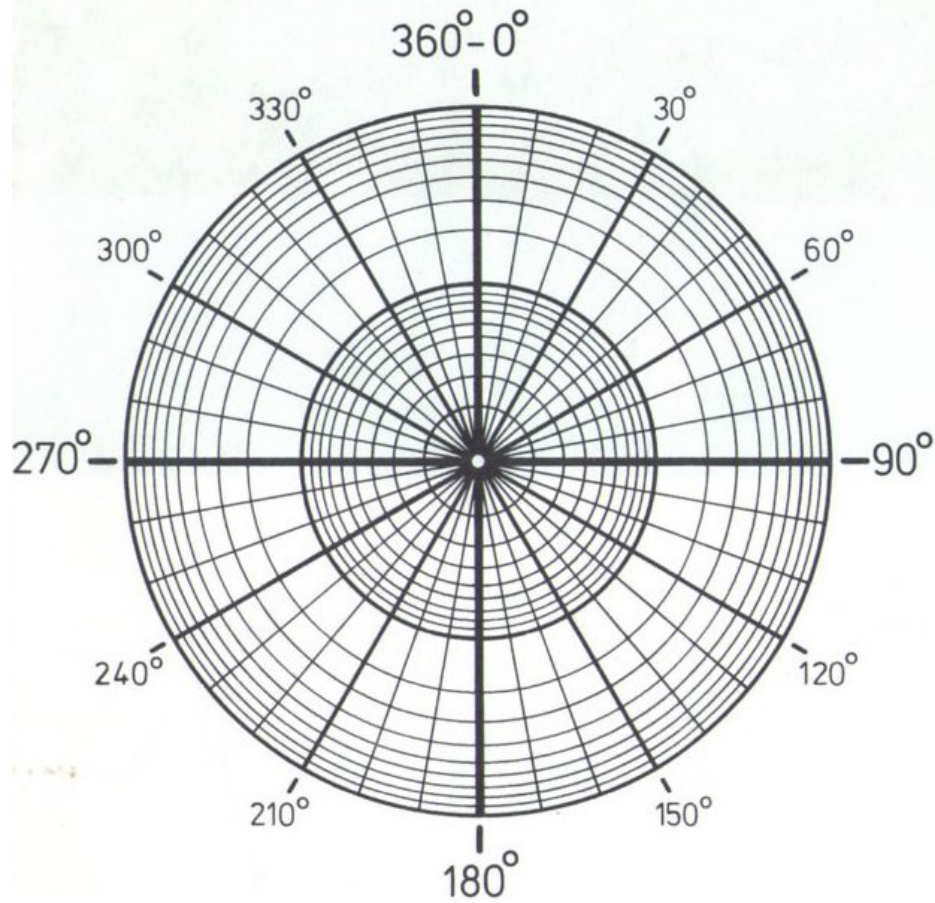
basis	118	diffuse reflectie	132
belastbaarheid, maximale van de <i>Schaltstab</i>	114	diode	116, 122
belastbaarheid, maximale van een trafo	4	dioptrie	155
belastingweerstand	119, 125	discontinu	173
belichtingsmeter	141	divergeren	153, 160
besturing, definitie	166 ff	divergerende lens	154
besturingsketen	167	dradenkruis	150, 159
besturingspositie	167	drempelwaarde	168
besturingspositie	167	drukknop - schakelaar, verschil	3, 114, XIV
bestuurde grootheid	166 ff	drukknopbesturing	114
blokschema	166 ff	effectieve waarde	116
botsbeveiliging	56	eigentrilling	88, 175
brandpunt	154, 161	elektronen	106
brandpuntsafstand	154	elektronica, definitie	108
brandwacht	14	elektronische schakeling	108
breking: zie lichtbreking		emitter	118
brekingscoëfficiënt	153	emitterschakeling	119
brekingswet	153, 164	energiebron	1, 108
brugschakeling	146, 170	excenterpers	32, 160
candela: zie "nieuwe kaars"		excenterschijf	110
capaciteit, elektrische	117	experimenten, overzicht	IX
centreerplaat, toepassing	152 ff	externe spanning	124
cilinderspiegel	56, 161	flexibele spiegel	161
collector	118	fotocel	108
componenten, elektrische	108	fotodiode	108
computer: zie logische schakeling		fotoelement	108
concaaf	154	fotohalfgeleider	109
condensator	86, 117, 122	fototransistor	108
constant licht	110	fotoweerstand	108 - 110, 118, 145
contact "A"	124	frequentie	7, 110
contactenset van een relais of schakelaar	113	functionele controle van de <i>Schaltstab</i>	8
continue regeling	173	galvanometer = gevoelige stroommeter	
controle van de <i>Schaltstab</i>	8	garagepoort	76, 78
convergeren	153, 160	geleidbaarheid	106
convergerende lens	152 - 154	gelijklopen	90, 170
convex	154	gelijkrichten	116
coördinatensystemen	111, 124, 138, 142, 143, 149	gelijkspanning - wisselspanning	7, 116
diafragma	150, 156, 158	gemiddelde waarde van een spanning	116
diagram-voorstelling: zie coördinatenstelsel		gestuurde grootheid: zie stuurgrootheid	
dichtheid zie: optische dichtheid		gevoelighedsinstelling	120 ff, 149
differentieel	90, 170	gloeilamp	2, 4, 110, 134

gordijn: zie lichtgordijn		lichtgeleider	54, 163
grenswaarde-regeling	174	lichtgeweer	86
halfgeleider	108	lichtgordijn	162
halve periode	116	lichtintensiteit, definitie	135
helderheids-vergelijking	136 - 141, 146	lichtintensiteit, meting	136 ff, 147, 179
Hertz	110, 116	lichtkoker	15, 129, 143, 145
hoek van inval	133, 153	lichtmeting	136 ff
holle spiegel	161	lichtradarinstallatie	66
hoofdstralingsrichting	139, 143	lichtsensoren	11, 108
houdschakeling	84, 168, 178	lichtsleutel	52
hulpstroomcircuit	113	lichtslot	58, 150, 156
hysteresis van een relais	119, 174	lichtsterkte van een lens: zie relatieve opening	
impulsduur	178	lichtstralen	130 ff
ingang van een schakeling	8, 112, 119	lichtstroom zie lichtvermogen	
ingangsgrootheid	167	lichttechniek, basisbegrippen	130 ff
ingangsspanning: zie stuurspanning		lichttechnische begrippen	134 ff
ingestelde waarde - werkelijke waarde	170	lichtvermogen	134
interne spanning	128	lift	84
kaars: zie nieuwe kaars		logische schakeling	48
karacteristieken, bijv. van een versterker	126	lumen	134
kilowattuur	103	luminantie, definitie	135
kleurgevoeligheid	140	Lunamobiel	80
knipperlichtschakeling	88	lux	135
knooppunt	178	luxmeter	140
koppeling: zie ook terugkoppeling	170	maximale belasting: zie belastbaarheid	
kortsluiting	10, 114	maximale waarde van een spanning	116
kortsluitweerstand	168	meekoppeling	112
krommingsradius van lenzen	152	meten, definitie	134
kruisdraaddiafragma	150, 156	model-aanwijzingen	13
kruk-schuif-mechanisme	32, 50	modellen, overzicht	IV
kruk-slinger-mechanisme	66	model-overzicht	I - IV
ladingsdrager	107	naloop-regeling	171
lamp	4	naloop-sturing	38
lenslamp, uitrichten	156	neutronen	107
lenslamp, vergelijking met kogellamp	142 ff, 179	nieuwe kaars	135
lenzencombinatie	155, 157	npn-transistor	118
levensduur van lampen	138	nul-instrument	146, 170
lichtabsorptie	131	ohm	102
lichtbreking	153	ohm, wet van	102
lichtbronnen	130 - 134	Olbrichtse bol	134
lichtbundeling	150 ff	omgekeerde afbeelding	157

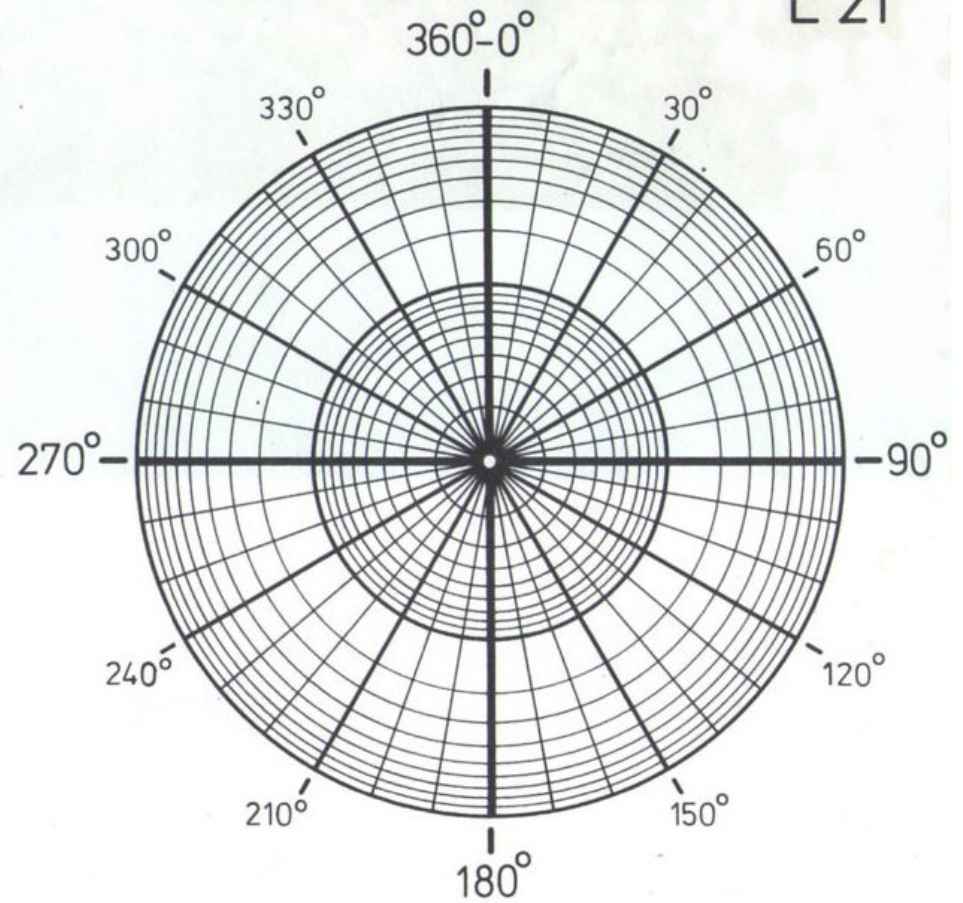
startimpuls	178		
startnop	10, 114, 121, 123		
stekkermontage	2		
stelmotor	170		
sterkte (van een lens): zie dioptrie			
stilb	135		
stoorgrootheid-invloed	172		
stoorlicht	150		
stopwatch	74		
stralengang	133, 150 ff, 156 ff, 160 ff		
straler: zie lichtstralen			
stripbewaking	28		
striptoevoer-installatie	54		
stroom	4, 102, 106		
stroom, toelaatbare grootte	4, 114		
stroombron: zie energiebron			
stroomkring	1, 3		
stroomrichting: zie ook polariteit	116		
stroomverbruiker	2		
stuklijst I-e 1	XII		
stuklijst, <i>Schaltstab</i>	122		
stuurgrootheid	167, 170		
stuurschakel	167 ff		
stuursignaal	167		
stuursignaal	168		
stuurspanning	118 ff, 124 ff, 175		
stuurstroomkring	113 - 119		
stuursysteem	166		
stuurvermogen	118		
synchronisatie	66		
tegenkoppeling	112		
telwerk	12		
temperatuurgevoeligheid	127		
terugkoppeling	112, 170 ff		
tijdmeting	74		
tijdschakelaar	34, 114		
tijdsdiagram	111, 116		
toerental	92, 170, 173		
trafo = transformator	1, 7		
trafo, schema	124		
transistor	108, 118 ff		
transportband	42, 44		
uitgang van een schakeling	112 ff		
uitgangscontacten	8, 114		
uitgangsgrootheid	167		
uitlijnen	68		
uitrichten van een kogellamp	150		
uitrichten van een lenslamp	156		
uitschakelen bij gevaar	34, 80		
vaste waarde-regeling	171		
verduisteringstijd	178		
vergelijker	171		
verlichtingsoptiek, grondbegrippen	150 ff		
verlichtingssterkte, definitie	135		
verlichtingssterkte, richtwaarden	141		
verlichtingssterkte, vergelijking	136, 140		
verlichtingssterkte-meting, elektrisch	140 ff		
vermogen, elektrisch	102		
vermogen, mechanisch	102		
vertragingsschakelmechanisme	36		
visueel	136		
vlakke spiegel	133, 160		
voedingsspanning, invloed van de - voeler	127, 138 167 ff		
volgeregeling	171		
Volt	102		
Voltmeter: zie spanningsmeter			
Watt	102		
Wattseconde	103		
weeginstallatie	40, 44		
weerstand	5, 102		
werkelijke vermogen	103		
werkelijke waarde - ingestelde waarde	170		
wisselcontact	113		
wisselend licht	110		
wisselspanning - gelijkspanning	7, 116		

Richtkarakteristiek

L 21



horizontaal



verticaal

Naam: Voornaam: Plaats: () Straat:

Leeftijd: jaar Beroep of wat wil je later worden:

I-e 1 bouwdoos zelf gekocht cadeau gekregen aankruisen wat van toepassing is

Heeft al de volgende **fischertechnik** bouwdozen:

Voorstellen tot verbetering: