



15 JANUARI 196

Het jaar 1964 ligt nu achter ons. Ieder voor zich weet wat het heeft gebracht. De redactie heeft een jaar „Studieblad” achter de rug en kan, terug ziende op het afgelopen jaar, wel enkele opmerkingen maken en verlangens opnoemen. Eerst echter onze wens voor 1965!

Wij wensen al onze abonnees in- en buiten Nederland, onze medewerkers en correspondenten alsmede de leden van de administratie van ons blad, een gelukkig jaar toe.

Gaarne betrekken wij hierbij, directie en medewerkers van de firma Wieringa, waar ons blad al jaren gedrukt wordt en met wie wij prettig samenwerken. Tevens brengen wij dank voor het vertrouwen, dat de abonnees ook in 1964 in ons stelden.

De opbouwende kritiek, die wij zo af en toe ontvangen, stellen wij zeer op prijs. De medewerkers aan ons Studieblad, hun namen zijn U allen wel bekend, betuigen wij onze hartelijke dank voor hun steun.

Wat de opmerkingen en verlangens aangaat het volgende.

Gezien het aantal vragen dat ons in de loop der tijd bereikte, zouden wij gaarne één of meerdere medewerkers hebben voor de belangrijke rubriek „Buitendienst”.

Iemand die over „Liften” zou willen schrijven is ons ook zeer welkom; hij zou aan de vele verzoeken van lezers van ons blad, die meer over liften en hun schakelingen willen weten, kunnen voldoen.

De abonnees en meer in het bijzonder de nieuwe abonnees willen wij er op attent maken, de Studiebladen toch vooral te bewaren.

Veel handiger is het natuurlijk de nummers per jaargang te laten inbinden. Men heeft dan steeds de beschikking over een belangrijk naslagwerk.

Over de kosten, die zeer matig zijn, kan Uw correspondent of de administratie van ons blad U inlichten.

Een en ander naar aanleiding van de vele verzoeken, die ons bereiken om toezending van oudere uitgaven.

Heel vaak kunnen wij hieraan helaas niet voldoen.

De redactie verzoekt dan ook de lezers dit in zich op te nemen en met ons een vruchtbaar Studiejaar tegemoet te gaan!

Met dit nummer maken wij tevens een aanvang met de TWINTIGSTE JAARGANG.

Onze oude leuze:

„IEDERE MEDEWERKER VAN DE T.D., zorgt voor EEN nieuwe ABONNEE”, moge dan door Uw aller medewerking een groot succes worden!
de redactie.

Bliksemafleiders 8

65-002

B. VAN ZANTEN

Benjamin Franklin was de eerste die ontdekte, dat electriciteit uit een onweerswolk via een vliegerkoord naar de aarde kon worden afgeleid. De verschijnselen en de uitwerking van de electricische vonk vertoonden een zo grote overeenkomst met die van de bliksem, dat de natuurkundigen niet meer in twijfel verkeerden over de electriche eigenschappen. De algemeen geldende opvatting was toen, dat een onweerswolk ontstond door neutralisering van grote hoeveelheden electriciteit van tegengestelde polariteit, welke zich gedeeltelijk aan het oppervlak van de aarde en gedeeltelijk in de hogere luchtlagen hadden verzameld. Was het potentiaalverschil tussen deze hoeveelheden electriciteit te hoog geworden, dan ontstond een ontlading, doordat een vonk aan de ene verzamelplaats op de andere

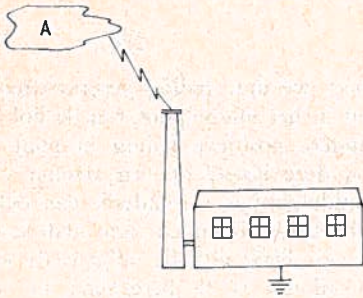


FIG. 1

overging (fig. 1). Kwam zulk een geladen wolk te dicht bij de aarde, dan ontstond er een rechtstreekse ontlading tussen beide punten en sprak men van een *directe blikseminslag*.

De vonkspanning kan hier enige miljoenen volts bedragen, terwijl de stroom in de orde van $20 \cdot 10^3$ ampère kan liggen. De vonklengthe is in de regel enige duizenden meters, terwijl de ontladingsduur ongeveer $40 \cdot 10^{-6}$ seconde kan zijn.

Vanzelfsprekend kan er ook ontlading

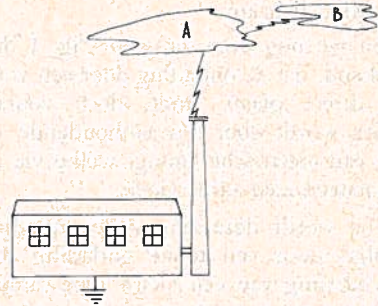


FIG. 2

plaatsvinden tussen twee geladen wolken en van een wolk over een andere naar de aarde. Fig. 2 laat schematisch dit laatste zien.

Alle eerste gegevens omtrent het verloop van ontladingsstoten door de lucht zijn verkregen langs fotografische weg. Vanzelfsprekend geven deze foto's een zeer beperkte indruk en is alleen de richting van de vertakkingen een maatstaf voor de gedachte, dat de ontlading zich ontwikkelt van wolk naar aarde.

Wel is komen vast te staan dat een bliksemstraal bestaat uit een aantal elkaar snel opvolgende ontladingen. De vonk zelf is zeer grillig gevormd en verandert van moment tot moment.

Fig. 3 laat een dergelijk ontladingsverschijnsel zien.

Bij het overslaan van de vonk ontstaat uit de zuurstof van de lucht een gas, *ozon* genaamd. De scheikundige afkorting is O_3 . Genoemd gas heeft een eigenaardige



FIG. 3

reuk en is sterk oxyderend. Enige geleerden zijn van mening, dat dit gas in sterke concentratie schadelijk is voor het menselijk lichaam.

Keren we nog even terug tot fig. 1 dan is bekend, dat de ontlading door een vonk niet direct plaats vindt, doch voorafgegaan wordt door een aanhoudende afvoer van elektrische lading, welke via de schoorsteen naar aarde vloeit.

Hierna wordt deze zgn. stille ontlading gevolgd door een totale ontlading. De ontwikkeling van een nieuw type camera en het fotograferen met dit apparaat leverde buitengewoon interessant studiemateriaal op. In principe worden met deze camera 2 opnamen gelijktijdig gemaakt door aanwezigheid van twee lenzen, welke zich in tegengestelde richting bewegen. Het bekijken van beide foto's leverde enigszins een inzicht op omtrent de voortplantingsrichting en de snelheid van de bliksem. Een intensieve bestudering van de foto's gaf zekerheid dat bliksemontlading praktisch steeds wordt ingeleid door een zwakke vóórontlading, welke veelal van wolk naar aarde plaats vindt.

Uit berekeningen blijkt dat de snelheid gemiddeld 0,5 % van de lichtsnelheid bedraagt. Duidelijk werd ook, dat de voorontlading direct gevolgd wordt door een tweede, welke zich in hetzelfde ontladingskanaal stoetsgewijze voortbeweegt en zelfs de eerste ontlading inhaalt. De snelheid tijdens iedere stoot bedraagt ongeveer 3 % van de lichtsnelheid, terwijl de tijd tussen de stoten ongeveer 20—30 microseconden bedraagt. Nadat deze voorontlading de aarde op korte afstand is genaderd, wordt aan uitstekende delen van het aardoppervlak de veldsterkte zò groot, dat ook hier voorontladingen ontstaan. Samenvattend kunnen we dus stellen, dat van twee zijden het ontladingskanaal naar elkaar toe groeit.

Ontstaat nu contact tussen beide voorontladingen, dan gaat dit gepaard met een zeer intensief lichtverschijnsel. Deze zeer krachtige ontlading noemt men „hoofdontlading”. Laatstgenoemde dooft na enige tijd en dan is de ontlading een voldongen feit.

Teneinde een zo duidelijk mogelijk inzicht te verkrijgen is het wenselijk, dat eerst het punt „veldsterkte” eens nader wordt bekeken. Het is bekend dat rondom iedere geladen geleider zich een gebied bevindt, waar de invloed van de lading waargenomen kan worden. De getekende bol in fig. 4 bevat een positieve lading.

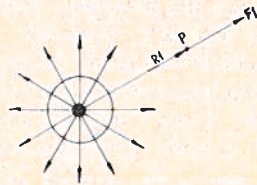


FIG. 4

Wanneer we deze lading geconcentreerd denken in het middelpunt van de bol en een andere positieve lading in punt P, waarbij deze laatste op een afstand van het middelpunt is verwijderd, dan oefenen de beide ladingen een afstotende kracht op elkaar uit, die volgens de wet van Coulomb is te berekenen uit de formule:

$$F_1 = \frac{m_1 \times m_2}{R_1^2} \text{ dyne.}$$

Uit de figuur zien we dat de kracht vanuit het middelpunt van de bol is gericht. De grootte van de kracht F_1 is in getalwaarde de veldsterkte in het punt P. Stel, dat de kracht 25 dyne zou bedragen, dan zou de veldsterkte daar ter plaatse 25 eenheden zijn. De richting van de kracht geeft ook de richting van het veld aan. Indien de lading P de vrije loop zou hebben, dan zou deze zich verplaatsen vol-

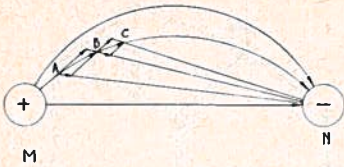


FIG. 5

gens een rechte lijn, gaande door het middelpunt van de bol. Genoemde lijn, welke door de eenheid van lading wordt beschreven, noemt men een *krachtilijn*, en het is in dit geval een krachtilijn van een electrisch veld. Wanneer we fig. 5 bekijken, dan zien we 2 ongelijknamig geladen bollen M en N, terwijl een *elektron* — deze bevat de negatieve eenheid van lading — zich bevindt in punt A. Genoemde eenheidslading ondervindt een afstotende kracht van de lading in M en een aantrekkende kracht van de lading in N. Het resultaat van dit krachtenkoppel wordt gevormd door de resultante AB.

Laat men de krachten werken zodat de lading zich verplaatst tot deze in punt B gearriveerd is, dan zullen de grootten en de richtingen van de krachten ook veranderd zijn. Met andere woorden: de afstotende kracht is verminderd en de aantrekkende kracht vermeerderd. Vanzelfsprekend is nu ook de resultante van grootte en van richting veranderd. Herhalen we deze konstruktie enige malen, dan ontstaat er een gebogen lijn. Deze lijn noemt men een *krachtilijn* en omdat deze lijn ontstaat doordat een geladen lichaam zich onder invloed van andere ladingen verplaatst, is dit een lijn van het *electrostatische veld*. Evenals bij magnetische krachtilijnen kunnen electrostatische krachtilijnen elkaar niet snijden; in tegenstelling tot magnetische krachtilijnen treden laatstgenoemde loodrecht uit een geleider.

Om berekeningen te vergemakkelijken heeft men afgesproken, dat het aantal lijnen per cm^2 in getalwaarde gelijk is



FIG. 6

aan de kracht, die op een eenheidslading uitgeoefend wordt, indien deze lading zich in het midden van deze cm^2 bevindt. In fig. 6 is nogmaals een geladen bol getekend waarvan de krachtilijnen hun oorsprong hebben in het middelpunt van deze bol en die zich voortzetten tot in het oneindige. We zien uit deze tekening dat de krachtilijnen uit de eerste bol treden en vervolgens door de 2e bol gaan, waarvan de straal R_1 is, om tenslotte via de 3e bol met een straal R_2 de ruimte te verlaten. Het totale aantal krachtilijnen, dat door beide bollen gaat, is voor beide gelijk. Omdat de oppervlakten van beide bollen zich verhouden als $R_1^2 : R_2^2$ zal het aantal lijnen per cm^2 van elke bol dus omgekeerd evenredig zijn met deze kwadraten, d.w.z. dat het aantal lijnen per cm^2 van bol R_1 staat tot dat van bol R_2 als $R_2^2 : R_1^2$.

Wij mogen tenslotte nog opmerken, dat deze veldsterkte in combinatie met een magnetisch veld de zgn. electro-magnetische golven doet ontstaan.

De veldsterkte kan ook worden berekend in volt per cm. Daar waar geladen vlakken elkaar het dichtst naderen is de veldsterkte het grootst. Doorslag treedt op, indien de veldsterkte een bepaalde waarde overschrijdt.

Voor isolatiematerialen wordt de doorslagvastheid aangegeven in kV/cm . Interessant is het te weten dat lucht met een kwikdruk van 76 cm een doorslagvastheid bezit van 21,4 kV/cm , terwijl het isolatiemateriaal pertinax een doorslagvastheid bezit van 100-200 kV/cm . Keren we nu tot het oorspronkelijke on-

derwerp terug, dan is tijdens metingen gebleken dat in normale gevallen de veldsterkte onder een onweerswolk steeds klein blijft in verhouding tot de doorslagspanning van de lucht. Schattingen hebben uitgewezen dat de veldsterkte voor de ontlading ≈ 10 kV per meter bedraagt. Dit laatste is zeer belangrijk, aangezien hiermede duidelijk is bewezen dat een bliksemontlading niet is te vergelijken met de ontladingen tussen twee elektroden. Uit een en ander kan dus worden geconcludeerd dat het veld in de lucht plaatselijk een veel grotere waarde bereikt.

Veel gegevens zijn de laatste jaren verkregen over de polariteit en de maximumwaarde van de stroom. Dank zij de electronenstraal-oscillograaf heeft men enig inzicht gekregen over het verloop van de stroom als functie van de tijd. Het blijkt dat de stroom van een bliksem in een tijd, die ligt tussen de 1 en 10 microseconde, zijn maximum bereikt (1 microseconde = $1 \mu\text{sec.} = 10^{-6}$ seconde).

Vanzelfsprekend zijn en worden er nog steeds proeven en metingen verricht om belangrijke gegevens over deze materie te verzamelen. Voor de lezers die hierover iets meer willen weten verwijzen wij naar het boekje „Richtlijnen voor bliksemafleidersinstallaties” (NEN 1014). De normen voor de bliksemafleidersinstallaties zijn hierin vervat. Om een inzicht te krijgen omtrent de onderdelen van de afleidersinstallaties verwijzen wij naar fig. 7 welke is ontleend aan de NEN 1014.

De installatie dient niet alleen mechanisch sterk genoeg te zijn, maar moet ook bestand zijn tegen electrolyse en corrosie.

Een regelmatige controle van de bliksemafleiders om de 2 tot 5 jaar is absoluut noodzakelijk. Vanzelfsprekend is na inslag een controle een eerste vereiste, aangezien we niet weten, welke weg de

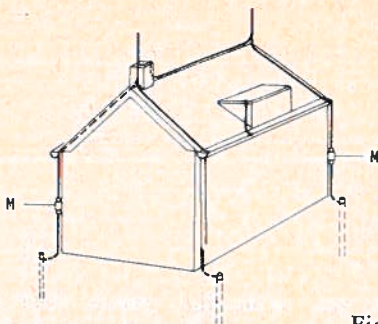


Fig. 7

stroom heeft gekozen. We trachten deze abnormaal hoge stromen zo goed mogelijk naar de aarde te laten afvloeien. De bliksemstraal probeert nl. zijn weg te vinden door goede geleiders en laat dan geen spoor achter van vernielingen. Zou daarentegen deze stroom gedwongen worden via slechte geleiders te vloeien, bijv. droog hout of steen enz., dan richt hij veelal grote verwoestingen aan.

De natuurkundige *Benjamin Franklin* komt de eer toe als eerste een bliksemafleider te hebben ontwikkeld.

Steeds dienen geleidingen te worden toegepast, welke een geringe weerstand bezitten; er zal evenwel altijd een overgangsweerstand bestaan tussen het einde van de bliksemafleider en de aarde. Wanneer we uitgaan van de gedachte, dat de aardingsweerstand 15 ohm bedraagt en bij een blikseminslag een stroom van $45 \cdot 10^3$ A vloeit, dan zou er dus een spanning van 675000 V nodig zijn om door deze weerstand te komen. Vóórdat een dergelijke spanning bereikt is, is de mogelijkheid groot, dat van de geleider uit overslag kan ontstaan naar andere metalen delen door houten wanden en dergelijke. Vreemd is het dus niet, dat bij beveiligde gebouwen op deze wijze toch nog brand ontstaat. Wanneer in genoemd voorbeeld de weerstand 5 ohm zou zijn geweest bij dezelfde stroom, dan was een spanning nodig van 225000 V.

De weerstand van de aardelektrode speelt dus een zeer voorname rol. Gebouwen

dienen van enkele opvangers te zijn voorzien, welke doormiddel van enkele geleiders met de aardelectroden zijn verbonden. Zij dienen het te beschermen object zoveel mogelijk als een kooi te omsluiten (kooi van Faraday).

Laatstgenoemde was een Engels natuur- en scheikundige, bekend door de ontdekking van de electromagnetische inductie. Hij leefde van 22 september 1791—22 april 1867.

Indien de wapening van beton geleidend is verbonden en met de verticale wapening in de kolommen een geleidend contact vormt, is het niet nodig dat boven de daken van dergelijke gebouwen speciale leidingen worden gelegd.

Van elke opvanger dienen volgens NEN 1014 minstens twee wegen naar de aarde te voeren. Naarmate het gebouw hoger is dan 25 meter dienen ook meer afgaande leidingen te worden aangebracht. Men kieze voor een verbinding hetzelfde materiaal als dat van de te verbinden onderdelen; verbindingen moeten bestand zijn tegen oxydatie en corrosie en dienen gemakkelijk te inspecteren zijn. In elke afgaande leiding moet een meetskoppeling zijn aangebracht (zie M in fig. 7).

De aarding bestaat uit *aardleidingen* en *aardelectroden*. Men maakt alle aardleidingen zo kort mogelijk en zonder scherpe bochten en draagt er zorg voor, dat zij losneembaar zijn en aan de afgaande leidingen verbonden. Is aarding op de waterleiding niet mogelijk, dan maakt men gebruik van in de grond geslagen verticale buizen of staven en dergelijke. Indien mogelijk, zorgt men ervoor dat aardelectroden onder de laagste grondwaterspiegel worden aangebracht.

Voor het aarden op de waterleiding is toestemming van het waterleidingbedrijf nodig.

De controle en het onderhoud van de bliksemafleiderinstallaties geschiedt periodiek, terwijl een extra controle plaats-

vindt voor de overname, bij oplevering of na verbouwing of verandering. Men controleert daarbij de gehele installatie, waarbij inbegrepen de opvangers, leidingen, meetskoppelingen en aardverbindingen. Ook dient gelet te worden op de bevestiging aan het gebouw en eventueel optredende corrosie.

Tenslotte nog iets over het meten van de verspreidingsweerstand en het gebruik van de meetinstrumenten.

De verspreidingsweerstand dient van elke aardelectrode of groep aardelectroden afzonderlijk te worden gemeten.

Ter vermindering van polarisatie dient deze meting met wisselstroom te worden uitgevoerd, terwijl de meting ook onafhankelijk moet zijn van de verspreidingsweerstand van de geslagen hulpaarding. Indien als hulpaarde het waterleidingnet ter beschikking staat, kan gebruik worden gemaakt van de stroom-spanningsmethode of van de brugmethode. Indien dit niet het geval is, dan kan men deze meetmethoden toch gebruiken, indien men 2 hulpaarden aanbrengt. In fig. 8 stelt a de te meten aardelectrode voor, terwijl b en c de hulpelectroden zijn. Is de som der weerstanden $a + b = U$, $a + c = V$ en $b + c = W$, dan is:

$$\begin{aligned} a + b &= U \\ a + c &= V \\ \hline 2a + b + c &= U + V \quad + \\ b &= -2a - c + U + V \\ b &= \quad -c \quad + W \\ \hline 0 &= -2a \quad + U + V - W \quad - \\ 2a &= U + V - W \\ a &= \frac{U + V - W}{2} \\ &\text{of:} \\ a &= 1/2 (U + V - W). \end{aligned}$$

Voor een nauwkeurig resultaat is het van zeer groot belang dat de weerstand van de hulpelectroden b en c niet groter is dan

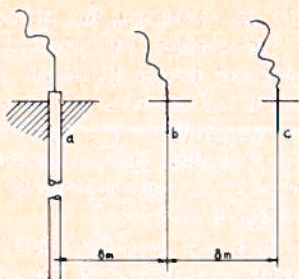


FIG. 8

van a. Indien rechtstreeks meten praktisch niet mogelijk is kan men van de volgende formule gebruik maken, indien de onderlinge afstand van de aardelectroden ten minste gelijk is aan hun lengte.

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \text{enz.}}$$

Hierin stelt R voor de verspreidingsweerstand van de electroden tesamen, terwijl R_1 , R_2 , R_3 de gemeten verspreidingsweerstand zijn van de afzonderlijke electroden. Uit de tekening van fig. 8 is ook te zien dat de hulpelectroden minstens 8 meter van elkaar en van de te meten aardelectrode moeten zijn verwijderd.

Is het mogelijk hulpaarden aan te brengen, waarvan de verspreidingsweerstand kleiner is dan de te meten weerstand, dan gebruikt men als meetinstrument de zgn *Megger-verspreidingsweerstandmeter* (fig. 9). Dit meetinstrument bestaat uit een generator G, een ohmmeter, bevattende een stroomspoel (str), een spanningsspoel (sp) en een permanente magneet.

De stroom door de stroomspoel str wordt geleverd door de generator via de electrode a en de hulpelectrode c. De spanningsspoel sp ligt over b aan de spanning van de te meten weerstanden. De naald van deze meter blijft in elke willekeurige stand staan. Bij het meten van een aardverbinding voor bliksemafleiders, veilig-

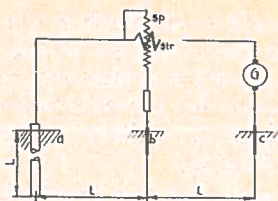


FIG. 9

heidsaardingen enz. worden de voorschriften NEN 1014 gehanteerd. Met de zgn. „Behrend"-schakeling volgens fig. 10 is het ook mogelijk deze weerstandswaarden te meten.

De aflezing gebeurt onder het glijcontact langs de weerstand R, welke zodanig wordt ingesteld, dat de wijzer van dit instrument niet meer uitslaat. De weerstand R ontvangt zijn spanning uit de secundaire wikkeling van de stroomtrafo T. De deelspanning wordt betrokken uit de door a en b vloeiende stroom.

Met de aardingsweerstandmeter volgens systeem „Wouda" kunnen aardingsweerstand van aardelectroden gemeten worden zonder dat een afzonderlijke voeding nodig is. Bij de metingen moet men wederom gebruik maken van de bekende hulpelectroden. In zandgrond maakt men gebruik van aardspitsen van ongeveer 1 meter lengte, terwijl bij kleigrond reeds volstaan kan worden met ijzeren pennen van enige decimeters lengte. De gevoeligheid van dit meetinstrument is zo groot, dat bij te meten aardingsweerstand tot

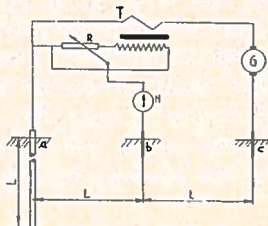


FIG. 10

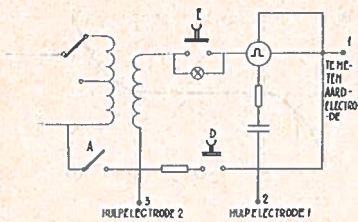


FIG. 11

10 Ω , de hulpelectroden aardingsweerstand mogen hebben tot $10^4 \Omega$. De wisselstroom wordt geleverd door een ingebouwde trillgenerator, welke gevoed wordt door een 4,5 V zaklantaarnbatterij. Aangezien het nog wel eens voorkomt dat aardingsweerstand van aardelectroden met een hogere stroom moeten worden gemeten, is de zgn NIEAF-aardingsweerstandmeter met netvoeding ontwikkeld. Fig. 11 laat het werkingsschema zien.

Een ingebouwde nettransformator zorgt voor de voeding, terwijl uit veiligheids-overwegingen de meetspanning is beperkt tot 24 V. Ondanks lage aardingsweerstand kan de meetstroom oplopen tot een maximum van 10 A. Het instrument is thermisch en magnetisch beveiligd, zodat de netspanning wordt uitgeschakeld indien men het apparaat langer dan 10 seconden belast. De verkregen aardingsweerstand kan direct worden afgelezen op een ingebouwde kruisspoelmeter, welke voorzien is van een zgn lange meswijzer. Het meetinstrument kan zowel voor 125 als bij 220 V worden gebruikt. Indien een nulleider aanwezig is, kan een meting worden verricht volgens het schema van fig. 12. Hiertoe wordt de hulpelectrode P aangebracht op ongeveer 20 m van de te meten aardelectrode X. Vervolgens worden aardelectrode en hulpelectrode respectievelijk verbonden met de meetklemmen 1 en 2, terwijl de schakelaar A op de stand 0 wordt gezet. Hierna wordt

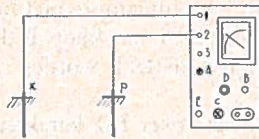


FIG. 12

het meetinstrument op de juiste spanning aangesloten tussen fase en nul. Indien het controlelampje brandt dan moet men de contactstop omdraaien, terwijl bij niet gloeien van het glimlampje de drukknop E kan worden ingedrukt en de gezochte aardingsweerstand worden afgelezen.

Met dit meetapparaat is het ook mogelijk de overgangswaarde van de hulpelectrode P te controleren. Hiertoe is een weerstand van 50 Ω ingebouwd. Men maakt de verbinding met meetklem 1 los en drukt de knoppen E en D in. Slaat de wijzer nu uit tot 49 à 50 Ω , dan is de overgangswaarde goed; wordt deze waarde niet aangewezen, dan is de weerstand te hoog en dient de hulpaarding te worden verbeterd.

Indien bij deze meting geen nulleider aanwezig is, maakt men gebruik van een 2e hulpelectrode Q. De weerstand van deze laatste mag niet veel hoger zijn dan de weerstand van de te meten aardelectrode (fig. 13). Hierna wordt schakelaar A op stand 3 geplaatst en de te meten aardelectrode verbonden met meetklem 1. De 1e en 2e hulpelectrode worden respectievelijk verbonden met de meetklemmen

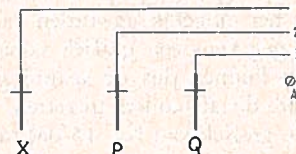


FIG. 13

2 en 3. Indien het glimlampje niet brandt kan na het indrukken van knop E de gezochte aardingsweerstand worden afgelezen.

Tenslotte nog iets over het karakter van de spreidingsweerstand van de aarde. Hiertoe worden 2 electroden of metalen staven op een afstand van ongeveer 50 m van elkaar in de grond gedreven. Vervolgens worden bedoelde electroden op een wisselspanningsbron aangesloten. De stroom dient op een constante waarde te worden gehouden; ter controle is in dit circuit een ampèremeter A opgenomen; zie fig. 14. Tussen de punten X en Y

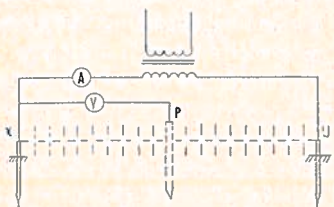


FIG. 14

denken we een rechte lijn, welke is verdeeld in stukken van 2 m. Een derde electrode P drijven we in het midden van deze denkbeeldige lijn in de grond. Vervolgens verbinden we een van de klemmen van de voltmeter met de electrode X, terwijl de 2e klem van deze meter wordt bevestigd aan de geslagen electrode P. Indien we nu laatstgenoemde electrode per 2 m verplaatsen in de richting van de electrode X en daarna in de richting van de electrode Y en we lezen het resultaat regelmatig op de voltmeter af, dan is het mogelijk geworden van de gevonden gegevens een grafiek samen te stellen; we kunnen dus de spanning als functie van de afstanden uitzetten. We zien uit de grafiek van fig. 15 dat tussen de punten a en b geen spanningsverandering optreedt.

Tussen de punten X – a en Y – b daaren-

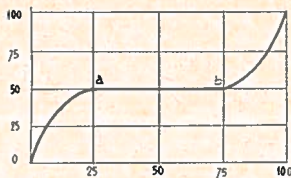


FIG. 15

tegen wel, zodat we kunnen concluderen dat de totale spanningsval in twee trappen verloopt. Hierdoor staat vast dat het verloop in het gebied tussen X – a veroorzaakt wordt door de spreidingsweerstand van electrode X en dat tussen b en Y door de spreidingsweerstand van electrode Y. We zien uit deze curve duidelijk dat de weerstand in de omgeving van de electrode niet-lineair is, terwijl het horizontale gedeelte van de kromme een kenmerkende eigenschap van de aardingsweerstand is. Indien we de electrode P plaatsen tussen de punten a – b, en we zorgen dat de aanwijzing van de voltmeter niet verandert, dan kan men de verspreidingsweerstand R bepalen met de volgende formule:

$$R_x = \frac{U}{I} = \frac{\text{aanwijzing voltmeter}}{\text{aanwijzing ampèremeter}}$$

Vanzelfsprekend dient deze meting als proef gezien te worden, aangezien het een voorschrift is, dat bij het uitvoeren van deze metingen de gevraagde weerstand direct in ohms moet kunnen worden afgelezen. De proef kan wel worden

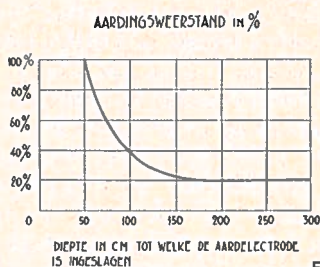
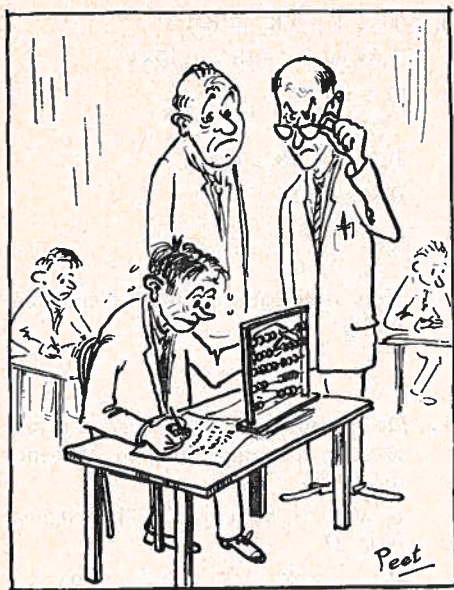


FIG. 16



Examenantwoorden 65-003

1. $R_{\text{totaal}} = 0,5 + 9 + 0,5 = 10 \Omega$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{60}{10} = 6 \text{ A}$$

Het spanningsverlies in de toevoerdraden is:

$$U = I \times (0,5 + 0,5) = 6 \times 1 = 6 \text{ V}$$

De spanning aan de klemmen van de weerstand is dus:

$$U = I \times R = 6 \times 9 = 54 \text{ V}$$

2.a. Door r_1 gaat een stroom van 6A.

Op r_1 staat een spanning van:

$$U = i_1 \times r_1 = 6 \times 9 = 54 \text{ V}$$

Door r_2 gaat dan een stroom:

$$I_2 = \frac{U}{r_2} = \frac{54}{4,5} = 12 \text{ A}$$

b. De totale stroom $I = 6 + 12 = 18 \text{ A}$

c. r_v van r_1 en r_2 is:

$$\frac{1}{r_v} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} = \frac{1}{9} + \frac{2}{9} = \frac{3}{9}$$

$$r_v = \frac{9}{3} = 3 \Omega$$

r_v van de weerstanden r_3 , r_4 en r_5 is:

$$\frac{1}{6} + \frac{1}{12} + \frac{1}{36} = \frac{6}{36} + \frac{3}{36} + \frac{1}{36} =$$

$$\frac{10}{36}$$

$$r_v = \frac{36}{10} = 3,6 \Omega$$

De totale weerstand van deze schakeling is:

$$3 + 2,4 + 3,6 = 9 \Omega$$

d. De aangesloten spanning is:

$$U = I \times R = 18 \times 9 = 162 \text{ V}$$

gebruikt om een conclusie te trekken betreffende de te verwachten aardingsweerstand op een bepaalde diepte tijdens het inslaan van een aardingselectrode. Dit laatste op grond van het feit dat de weerstand niet evenredig verloopt met de diepte der aardelectrode. In fig. 16 is de aardweerstand in % weergegeven als functie van de diepte in cm, tot welke de

aardelectrode is ingeslagen. We zien uit deze grafiek dat dieper inslaan van de electrode geen vermindering oplevert van de weerstand.

Indien de weerstand geen vermindering meer oplevert kan men tenslotte nog enige verbetering verkrijgen door een 2e of 3e electrode te slaan en deze 3 parallel te schakelen.

- e. De stromen door r_4 , r_5 en r_6 verhouden zich als 6 : 3 : 1 of

$$i_4 = \frac{6}{10} \times 18 = 10,8 \text{ A}$$

$$i_5 = \frac{3}{10} \times 18 = 5,4 \text{ A}$$

$$i_6 = \frac{1}{10} \times 18 = 1,8 \text{ A}$$

- f. Het spanningsverlies in elke weerstand bedraagt:

$$\text{in } r_1 \text{ is } U_1 = 6 \times 9 = 54 \text{ V}$$

$$\text{in } r_2 \text{ is } U_2 = 12 \times 4,5 = 54 \text{ V}$$

$$\text{in } r_3 \text{ is } U_3 = 18 \times 2,4 = 43,2 \text{ V}$$

$$\text{in } r_4 \text{ is } U_4 = 10,8 \times 6 = 64,8 \text{ V}$$

$$\text{in } r_5 \text{ is } U_5 = 5,4 \times 12 = 64,8 \text{ V}$$

$$\text{in } r_6 \text{ is } U_6 = 1,8 \times 36 = 64,8 \text{ V}$$

- 3.a. De vervangingsweerstand van r_1 en

$$r_2 =$$

$$\frac{1}{r_v} = \frac{1}{20} + \frac{1}{30} = \frac{3}{60} + \frac{2}{60} = \frac{5}{60}$$

$$r_v = \frac{60}{5} = 12 \Omega$$

$$r_{\text{totaal}} = \frac{U}{I} = \frac{280}{20} = 14 \Omega$$

b. $r_3 = 14 - 12 = 2 \Omega$

- c. De spanning over de weerstand r_3 is:

$$U = I \times r_3 = 10 \times 2 = 20 \text{ V}$$

$$\text{De spanning over } r_1 \text{ en } r_2 =$$

$$280 - 40 = 240 \text{ V}$$

- d. De stromen door r_1 en r_2 bedragen:

$$i_1 = \frac{240}{20} = 12 \text{ A}$$

$$i_2 = \frac{240}{30} = 8 \text{ A}$$

4. $U = I \times (R_u + R_i)$

$$1,5x = 2 \times (18 + 0,15x)$$

$$\frac{1,5x}{2} = 18 + 0,15x$$

$$0,75x = 18 + 0,15x$$

$$0,60x = 18$$

$$x = \frac{18}{0,60} = 30$$

Voor deze batterij zijn 30 elementen nodig.

- 5.a. De spanning van de batterij is gelijk aan de spanning van één element, nl. 1,5 V.

$$r_1 \text{ van de batterij} = 1/4 \times 0,2 = 0,05 \Omega$$

$$R_{\text{totaal}} = R_u + R_i = 0,7 + 0,05 = 0,75 \Omega$$

$$I_{\text{totaal}} = \frac{U}{R_{\text{totaal}}} = \frac{1,5}{0,75} = 2 \text{ A}$$

- b. De stroom door elk element geleverd bedraagt:

$$2 : 4 = 0,5 \text{ A}$$

- c. Het inwendige spanningsverlies in ieder element is

$$U = I_{\text{inw}} \times R_i = 0,5 \times 0,2 = 0,1 \text{ V}$$

- d. De klemspanning van de batterij is:

$$1,5 - 0,1 = 1,4 \text{ V}$$

Schakelingen, verbindingen en rangeringen in de automatische telefonie

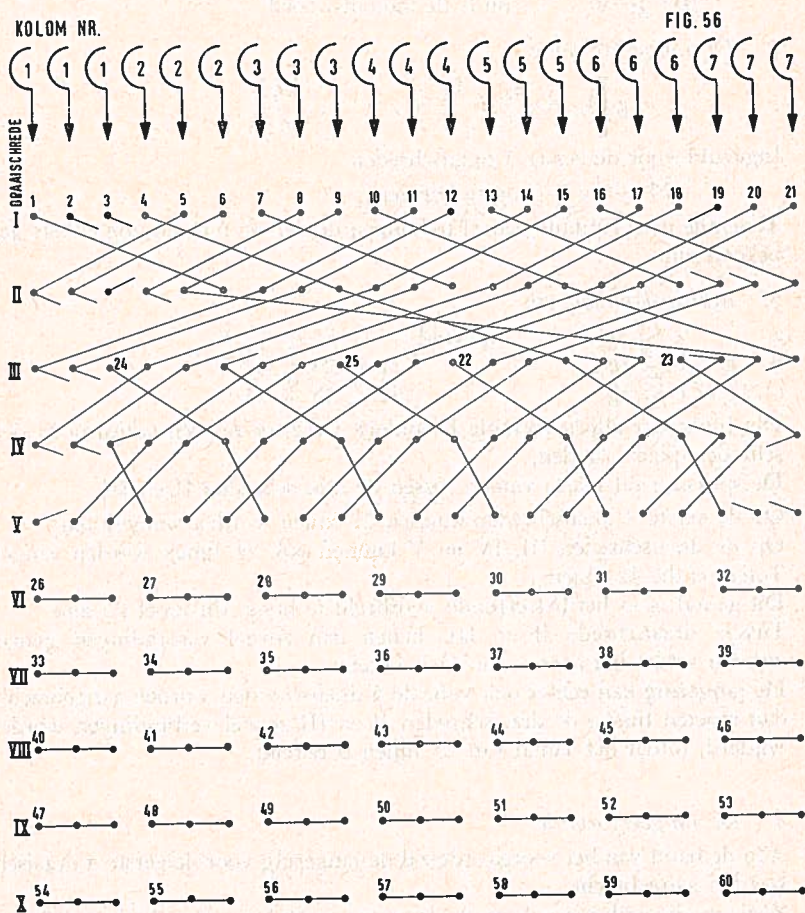
Samengesteld door B. KIEBOOM

(Vervolg van blz. 253, 1964)

65-004

7.2 Gevraagd wordt een rangering te maken voor 7 in drieën geknipte rekken met 10 draaischreden en 60 lijnen.

Oplossing: fig. 56.



1. De vuistregel.

$$g, k \geq 2c.$$

De vuistregel wordt de eerste 5 draaischreden gebruikt.

$$3 \times 7 \times 5 \geq 2.60$$

$$105 \geq 120$$

Dit klopt niet, er wordt nu vergeten dat ook lijnen moeten worden aangesloten op de laatste 5 draaischreden welke niet geknipt zijn.

Aangenomen wordt, dat op elke van de 5 laatste draaischreden en van elke kolom een lijn wordt aangesloten.

Het aantal aan te sluiten lijnen is dus voor de laatste 5 draaischreden $7 \times 5 = 35$ lijnen.

Voor de eerste 5 draaischreden blijft dan over $60 - 35 = 25$ lijnen.

Nu nogmaals de vuistregel toegepast:

$$\begin{aligned} 3 \times 7 \times 5 &\geq 2.25 \\ 105 &\geq 50 \quad \text{nu is de uitkomst goed.} \end{aligned}$$

2. De rangeerformule.

$$c = g \left[L_1 + \frac{L_2}{2} + \frac{L_3}{3} + \dots + \frac{L_n}{n} \right]$$

Ingevuld voor de eerste 5 draaischreden.

$$25 = 3 \times 7 \text{ [nog te bepalen.]}$$

Teneinde deze formule geheel te kunnen uitwerken moeten nog enkele gegevens bekend zijn.

3. Multipelsplitsingen.

a.	$c \leq g$	ingevuld	$25 \leq 3 \times 7$
b.	$g < c \leq 2g$		$21 < 25 \leq 42$
c.	$2g < c \leq 3g$		$42 < 25 \leq 63$

Het blijkt dat alleen formule b voldoet d.w.z. er zal een splitsing in de draaischreden plaats vinden.

De splitsing zal plaats vinden tussen de draaischreden II en III.

Op de eerste 2 draaischreden kunnen 21 lijnen worden aangesloten.

Op de draaischreden III, IV en V kunnen ook 21 lijnen worden aangesloten.

Totaal is dit 42 lijnen.

Dit aantal is in het betreffende voorbeeld te hoog, dit moet 25 zijn.

Tussen draaischrede II en III dienen dan zoveel verbindingen gemaakt te worden totdat het aantal van 25 is bereikt.

De rangering kan echter ook voor de 5 draaischreden worden aangebracht, doch dan moeten tussen de draaischreden II en III zoveel verbindingen worden verwijderd, totdat het aantal van 25 lijnen is bereikt.

4. De rangeerformule.

Aan de hand van het voorgaande zal de rangering voor de eerste 5 draaischreden worden aangebracht.

Zoals reeds eerder is opgemerkt kunnen nu 21 lijnen worden aangesloten welk aantal evenwel nog verhoogd moet worden tot 25 lijnen.

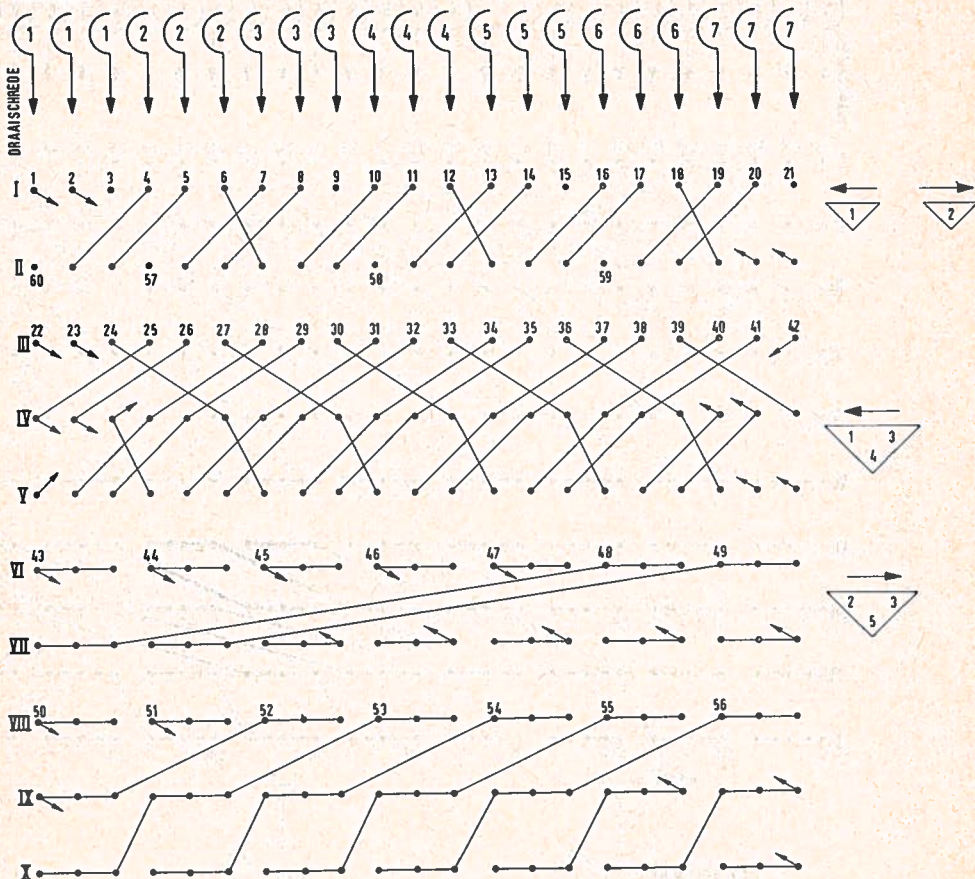
Hierbij is dus nu $1 = 5$

$$21 = 21 \left[\frac{5}{x} \right] \quad x = 5$$

Hieruit volgt dat 1 lijn verbonden moet worden met 5 kiezeruitgangen.

KOLOM NR

FIG. 57



5. *De rangering.*

De rangering zal beginnen bij draaischrede 5.

Volgens een nog te geven driehoek zullen vanaf draaischrede 1,5 kiezeruitgangen met elkaar worden verbonden.

6. *De rangeerdriehoek.*

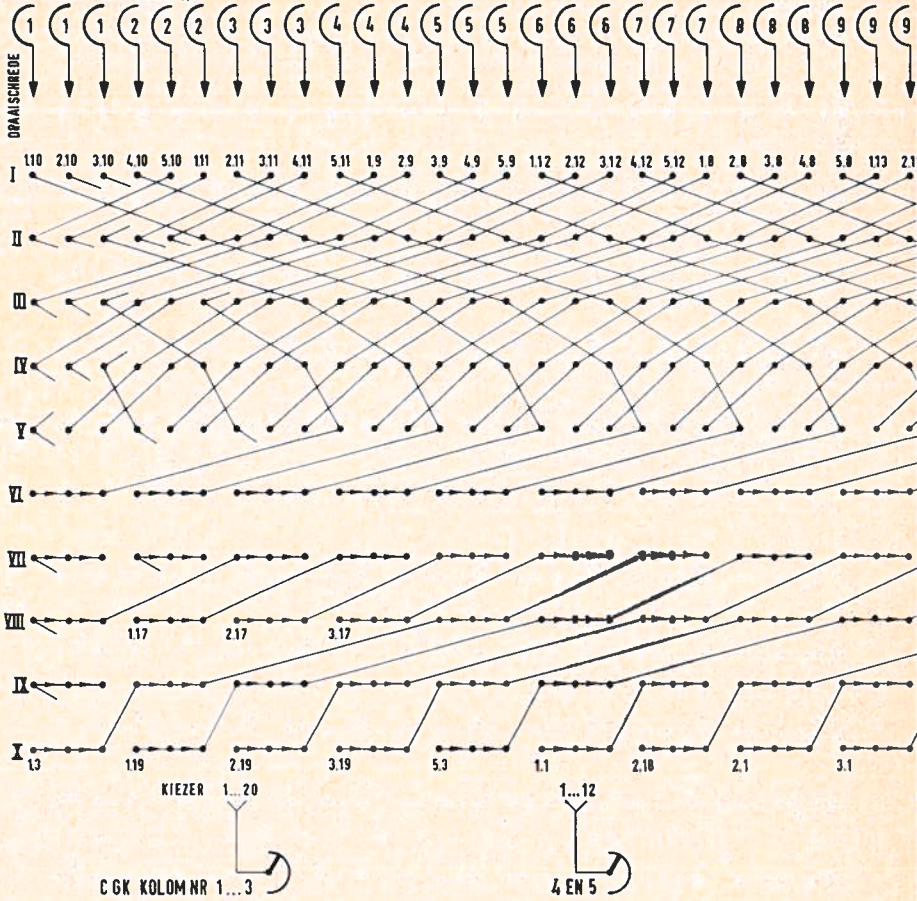
De rangeerdriehoek welke voldoet aan de gestelde eisen is reeds behandeld in punt 6.3.3, deze is

1-3-6-5 van rechts naar links en

2-3-6-4 van links naar rechts.

7. *De rangering kan nu in de figuur worden getekend.*

B GK KOLOM NR LAAG „0”



8. Op draaischrede I kunnen 21 lijnen worden aangesloten.

Er zullen 4 verbindingen tussen draaischrede II en III worden verwijderd teneinde de 25 lijnen op de eerste 5 draaischreden te kunnen aansluiten.

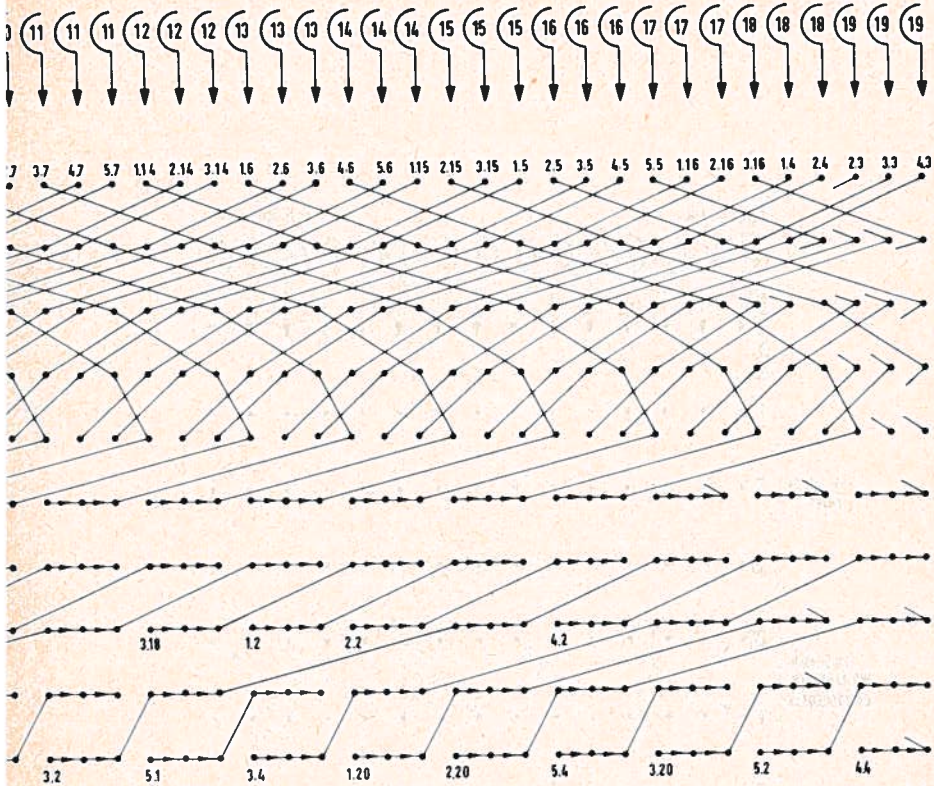
Ten behoeve van een regelmatige verdeling worden de volgende verbindingen gekozen :

- vanuit kolom 1 ondergroep 1;
- vanuit kolom 3 ondergroep 1;
- vanuit kolom 5 ondergroep 1 en
- vanuit kolom 7 ondergroep 1, (volg de verbindingen).

9. De rangering is nu voltooid.

Bij een eventuele uitbreiding van het aantal lijnen moeten eerst de verbindingen tussen de draaischreden II en III worden verwijderd.

FIG. 65



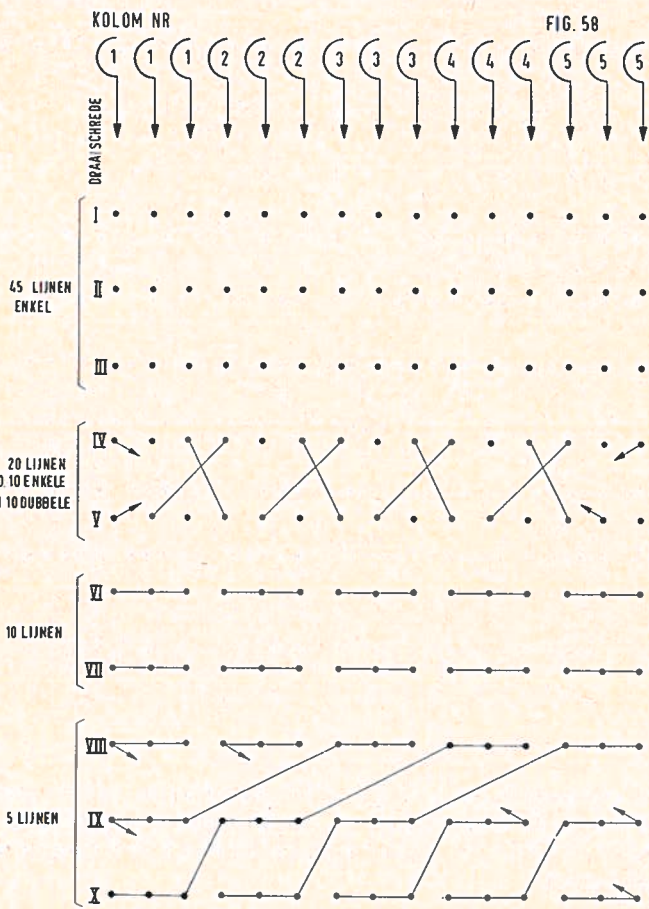
Bij een eventuele vermindering van het aantal lijnen moeten eerst de verbindingen tussen de draaischreden II en III worden aangebracht; eerst daarna kunnen de verbindingen worden aangebracht tussen de uitgangen van de laatste 5 draaischreden.

7.3 Het voorgaande voorbeeld van 7 dubbel geknipte kolommen (zgn. 20 knippingen), kan ook op een andere wijze, welke in bepaalde omstandigheden veel beter is, worden toegepast.

In fig. 57 is dezelfde opgave van fig. 56 gebruikt.

Echter met dit verschil dat hier de regel van de helft van het aantal lijnen op een kwart van het aantal draaischreden, wordt toegepast.

Ook in dit voorbeeld zal de vuistregel worden toegepast, benevens nog enkele genoemde punten.



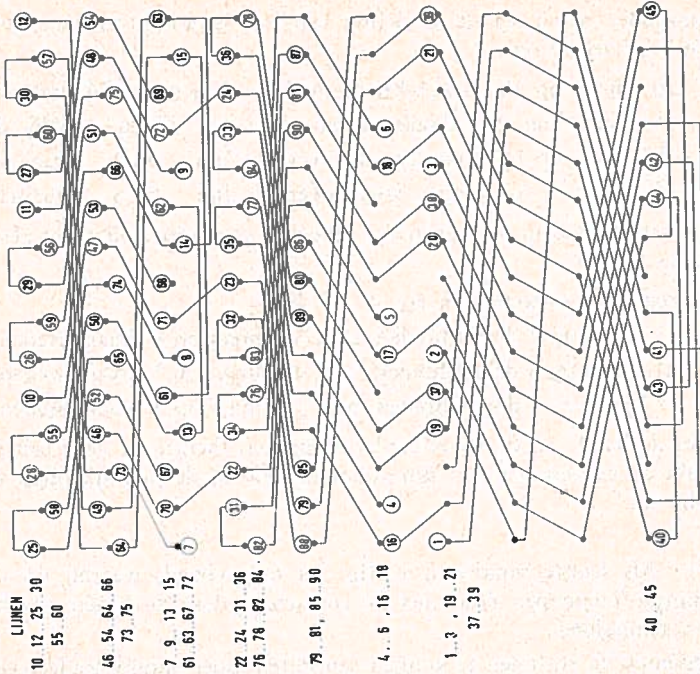
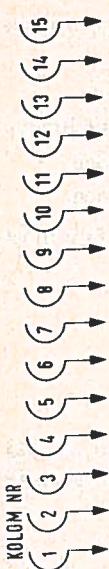


FIG. 59

VAN 10 T/M 90 LIJNEN

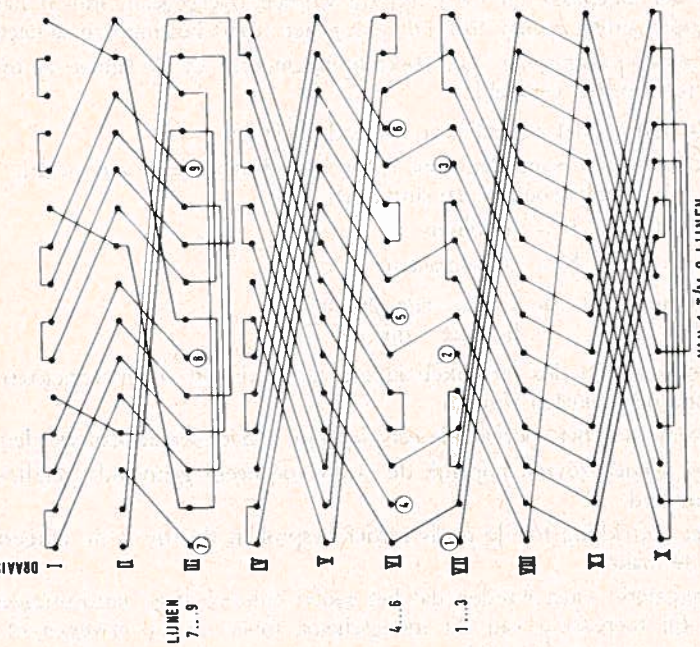
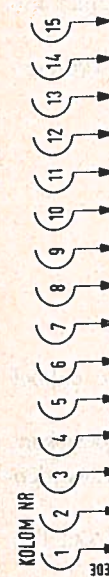


FIG. 60

VAN 1 T/M 9 LIJNEN

BESCHRIJFDE STANDAARDSCHEMA'S JACUTE - TRANSPARENTEN I RESP.
VOOR EVEN "E" EN ONEVEN "O" LAGEN

1511E, 1513E, 1515E, DERGER MET 3 LIJNEN OPLOPEND, T/M 1511 90 E
1511-O, 1513-O, 1515-O, .. 3 1 T/M 15190 O

UITBREIDING VAN DE LIJNEN VINDT IN VOLGORDE PLAATS VAN DE
OVEREENKOMSTIG GENUMMERDE RANDEERADEN 1 T/M 9 EN 10 T/M 90

Hieronder wordt nu de verdeling van het aantal lijnen aangegeven, volgens bovengenoemde regel.

- a. 30 lijnen op $2\frac{1}{2}$ draaischrede, over 30 lijnen op $7\frac{1}{2}$ draaischrede
- b. 15 lijnen op 2 draaischreden, over 15 lijnen op $5\frac{1}{2}$ draaischreden
- c. $7\frac{1}{2}$ lijn op $1\frac{1}{2}$ draaischrede, over $7\frac{1}{2}$ lijn op 4 draaischreden
- d. $3\frac{3}{4}$ lijn op 1 draaischrede, over $3\frac{3}{4}$ lijn op 3 draaischreden

Natuurlijk bestaan er geen halve lijnen en contacten zodat een afronding moet plaats vinden.

Volgens het getekende in fig. 57 is dit:

- a. 25 lijnen op 2 draaischreden, over 35 lijnen op 8 draaischreden
- b. 21 lijnen op 3 draaischreden, over 14 lijnen op 5 draaischreden
- c. 7 lijnen op 2 draaischreden, over 7 lijnen op 3 draaischreden

Aan de hand van de reeds eerder besproken theorie en deze laatste toepassing blijkt de rangering nu te zijn voltooid. Ook in de praktijk blijkt deze goed te voldoen.

7.4 Als laatste voorbeeld is fig. 58 toegevoegd, waarbij op de 5 dubbel geknipte kolommen (dus met 50 contacten) deze 80 lijnen niet kunnen worden aangesloten.

Teneinde de 80 lijnen te kunnen aansluiten moet knipping plaatsvinden.

In het algemeen zal tot knipping worden overgegaan, indien het aantal uitgangen groter is dan 50 à 66 % van het aantal beschikbare contacten.

Door toepassing van zgn. 20-knipping moeten de 80 lijnen nu over 100 contacten worden verdeeld.

Als hulpmiddel kan ook het volgende dienen:

Stel a = twee contacten door rangeerdraad aan elkaar verbonden.

b = enkelvoudige aansluitingen.

dan is $a + b = 80$ lijnen

$2a + b = 10$ contacten.

Hieruit volgt dat a moet zijn 20 en

b moet zijn 60.

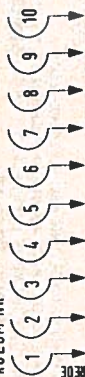
d.w.z. er zijn dus 60 enkelvoudige aansluitingen en 40 contacten die dubbel uitgevoerd moeten worden.

Uiteraard is het voorgaande een richtlijn, zodat hiervan kan worden afgeweken. Wel dienen zoveel mogelijk de in dit voorbeeld genoemde getallen te worden benaderd.

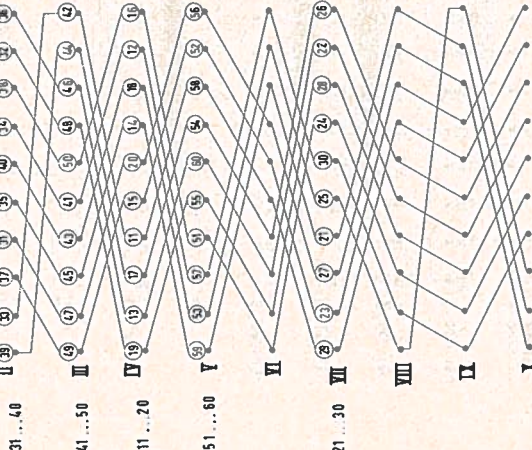
Met betrekking tot de reeds eerder besproken theorie is de rangering van fig. 58 te maken.

Opgemerkt moet worden dat het aantal enkelvoudige aansluitingen zeer groot is, bij toepassing van dit mengschema moet men overwegen of een kolom toegevoegd moet worden.

KOLOM NR



LIJNEN
1 ... 10



VAN 1 T/M 60 LIJNEN

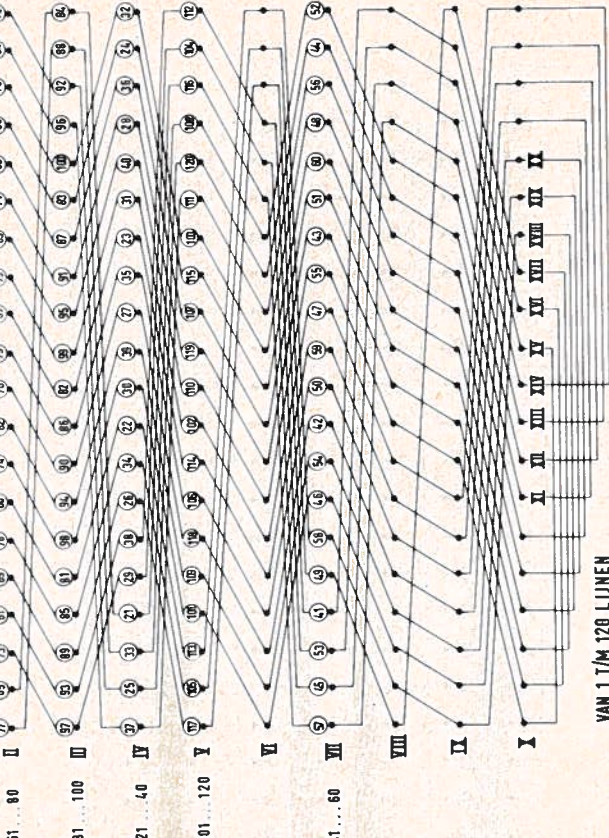
UITBREIDING VAN DE LIJNEN VINDT IN VOLGORDE PLAATS VAN DE OVEREENKOMSTIG GERUIMDE RANGEROADEN 1 T/M 60

BESCHIKBARE STANDAARDSCHEMA'S (LACUTE-TRANSBRANTEN) OESOP VOOR EVEN EN ONEVEN "O"-LAGEN.
 101.1E-101.5E; 101.10E-101.12E (VERDER MET 2 LIJNEN OPLOEPEND) T/M 101.50E VOOR 10 BEKKEN.
 201.1E-201.5E; 201.10E-201.12E (VERDER MET 4 LIJNEN OPLOEPEND) T/M 201.120E VOOR 20 BEKKEN.
 201.1E-201.5E; 201.10E-201.12E (VERDER MET 2 LIJNEN OPLOEPEND) T/M 201.120E VOOR 20 BEKKEN.
 201.1E-201.5E; 201.10E-201.12E (VERDER MET 4 LIJNEN OPLOEPEND) T/M 201.120E VOOR 20 BEKKEN.

KOLOM NR



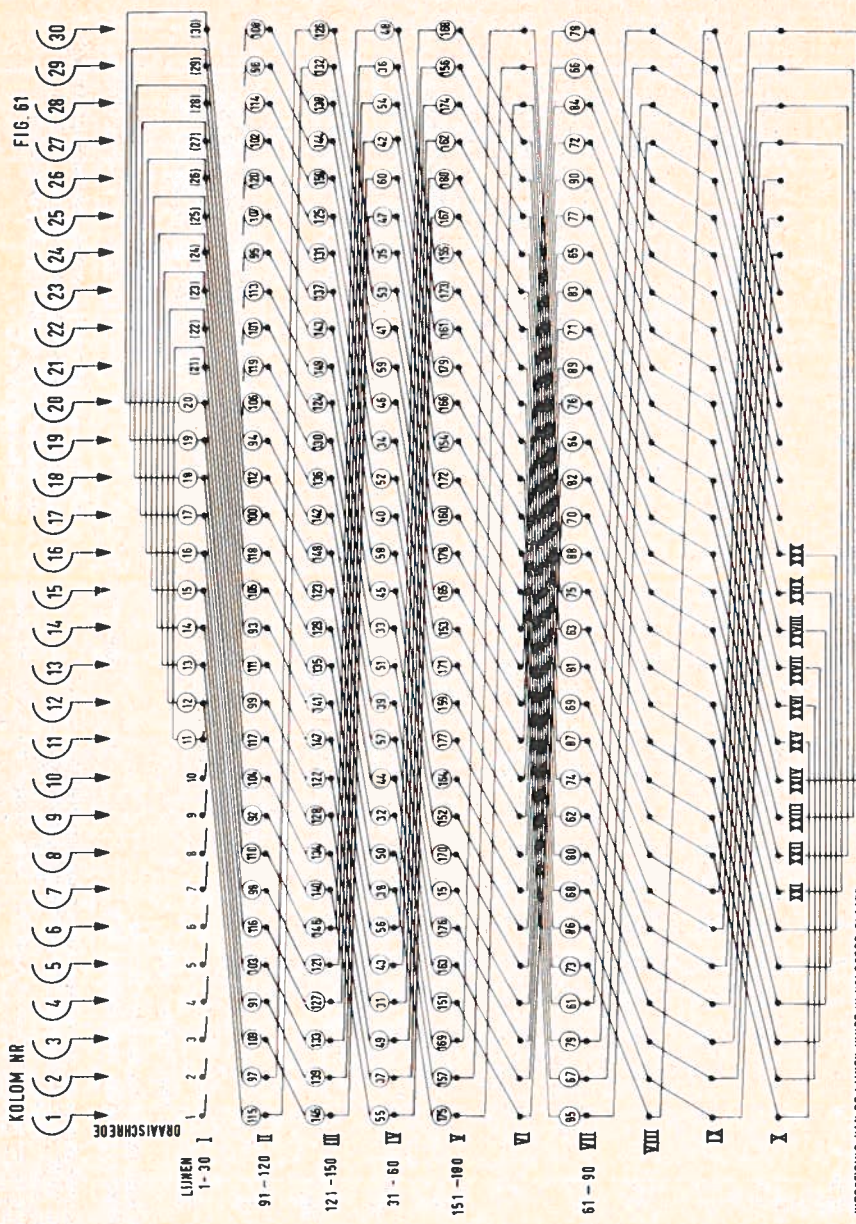
LIJNEN
1 ... 20



VAN 1 T/M 120 LIJNEN

UITBREIDING VAN DE LIJNEN VINDT IN VOLGORDE PLAATS VAN DE OVEREENKOMSTIG GERUIMDE RANGEROADEN 1 T/M 120 EN 21 T/M 120
 BIJ UITBREIDING MET DE LIJNNUMMERS 11 T/M 20 VENVALLLEN RESP.
 DE RANGEROADEN XI T/M XII

FIG. 61



UITBREIDING VAN DE LIJNEN VINDT IN VOLGORDE PLAATS
 VAN DE DREEKROMMIG GENUUMDEDE RANGEROEDEN 1 T/M 20 EN 31 T/M 180
 BIJ UITBREIDING MET DE LIJNNUMMERS (211) T/M (301) VERVALLEN RESP
 DE RANGEROEDEN XII T/M XIII

BESCHIKBARE STANDAARDSCHEMATA'S (ACUTE-TRANSPARENTEN) RESP VOOR EVEN-, E'-EN ONEVEN-, O'-LAGE
 3011E, 3013E, 30110E, 30115E, 30120E, 30125E, 30130E, 30135E, 30138E, 30139E, 30140E, 30145E, 30150E
 3011-0, 3015-0, 30110-0, 30115-0, 30120-0, 30125-0, 30130-0, 30135-0, 30138-0, 30139-0, 30140-0, 30145-0, 30150-0

(wordt vervolgd)

In het decembernummer gaven wij onder bovenstaande titel antwoord op een vraag van een onzer lezers over de moeilijkheden om verschillende begrippen in de nieuwere omschrijving te kunnen begrijpen.

„Inzender” noemt als voorbeeld

„Hoe komt men nu voor het begrip „veldsterkte H” aan de eenheid „ampère per meter”, terwijl we vroeger leerden dat de magnetische veld-

sterkte H gelijk was aan $\frac{0,4 \pi \cdot n \cdot I}{l}$ oerstedt?”

We moesten tot blz. 38 in het „Groene Boek” teruggaan om deze formule te vinden; in deel I van de VEV komt deze niet voor.

Teneinde hier uitvoerig antwoord op te geven moeten wij beginnen met iets te vertellen over de 5 „grondeenheden”, waarop het *Praktische eenhedenstelsel* is opgebouwd, of nog beter, iets over de reden, waarom het is uitgevoerd.

Het is echter niet de eerste keer, dat hierover in het Studieblad het een en ander is opgenomen. Op de blzn 264 en 304 van jaargang 1950 en op de blzn 6, 42 en 181 van 1951 werd bij de definitieve afkondiging van *Het Praktische Eenhedenstelsel* in de normbladen N 1221 t/m 1224 en de toelichting N 950 hierover geschreven.

Het is altijd jammer, dat de jongeren onder ons, die nog aan de studie zijn, niet beschikken over alle jaargangen van het Studieblad. Wellicht kunnen zij uit de districtsbibliotheek de oudere jaargangen ter inzage ontvangen.

Voor het moment willen wij volstaan met het volgende:

Het praktische eenhedenstelsel is een gesloten eenhedenstelsel voor de toegepaste wetenschap en de techniek, gebaseerd op vijf grondeenheden, die echter niet bij elke grootheid optreden; deze grondeenheden zijn de eenheden van lengte, massa, tijd, elektrische stroom en temperatuur.

Deze grondeenheden worden symbolisch voorgesteld door een cursieve hoofdletter tussen vierkante haken, d.w.z. *lengte* door [L], *massa* door [M], *tijd* door [T], *elektrische stroom* door [I] en *temperatuur* door [θ]. Deze symbolen noemt men de *dimensie* van de grondeenheid.

Elke andere grootheid heeft een dimensie, die van één of meer van deze grondgrootheden kan worden afgeleid; deze noemt men *afgeleide* eenheden.

De eenheid van lengte is de *meter*; dit is de afstand bij 0 °C van de middens van twee lijnen, getrokken op de internationale standaardmeter die te Sèvres in het Bureau international des Poids et Mesures wordt bewaard.

Een *oppervlakte* is in beginsel gelijk aan het produkt van twee lengten = $L \times L$ en heeft daarom de dimensie $[L^2]$.

Een *volume* of *inhoud* is in beginsel gelijk aan het produkt van 3 lengten = $L \times L \times L$ en heeft daarom de dimensie $[L^3]$.

De eenheid van massa is het *kilogram*; dit is de massa van het internationale standaardkilogram dat wordt bewaard in genoemd internationaal bureau.

Het is een cilinder van platina, welke ongeveer 160 jaar geleden vervaardigd is en waarvan de *massa* onder bepaalde omstandigheden gelijk is aan de massa van 1 dm³ zuiver water. Men aanvaardde de massa van deze cilinder als de *eenheid van massa* en gaf die eenheid de naam *kilogram*, niet te verwarren met de *eenheid van gewicht* of *kracht*, waaraan men — jammer genoeg — ook de naam kilogram heeft gegeven. Teneinde een duidelijk onderscheid te verkrijgen, heeft men laatstgenoemd begrip de naam *newton* (N) gegeven.

Nog iets over het begrip *massa*. Wanneer men een voorwerp boven op een hoge toren loslaat, zodat het vrij naar beneden kan vallen, dan doet het dit met een *eenparig versnelde beweging*, d.w.z. het gaat per tijdseenheid steeds sneller dalen.

Onder *snelheid* verstaan we de afgelegde weg per tijdseenheid; deze wordt uitgedrukt in meters per seconde (m/sec.; symbool [LT⁻¹]).

De snelheid neemt gedurende elke seconde toe; deze toename noemt men de *versnelling* van het voorwerp.

Versnelling is dus de toename per seconde van een aantal meters per seconde, m.a.w. een aantal meters per seconde per seconde, hetgeen men aanduidt als meters per secundekwadraat (m/sec²; symbool [L.T⁻²]).

In de mechanica hebben we als grondbeginsel van de dynamica geleerd: Kracht = massa × versnelling of $F = m \times a$.

Schrijven we deze formule als $m = F : a$, dan zien we, dat er een vaste verhouding bestaat tussen de kracht *F*, welke op het lichaam werkt en de versnelling *a*, welke het lichaam daardoor verkrijgt.

Deze zelfde verhouding bestaat ook in het geval van de vrije val, nl. $m = G : g$, waarin *G* het gewicht is, d.w.z. de zwaartekracht, welke dan op het lichaam werkt, en *g* de versnelling van de zwaartekracht bij vrije val. Deze constante waarde heeft men de *massa* van het lichaam genoemd; zij is een maat voor de hoeveelheid stof, welke een voorwerp bevat.

We weten dat de aarde „rond” is en dat deze draait om een as, welke loodrecht staat op het vlak, dat door de evenaar gaat. De afstand ten noorden en ten zuiden van dit vlak noemen we de noorderbreedte *NB* en de zuiderbreedte *ZB*; ze worden uitgedrukt in graden. In Nederland ligt Delft op ongeveer 52° N.B.

Laat men nu achtereenvolgens eenzelfde voorwerp op verschillende breedten van een even hoge toren vallen, dan neemt door het verschil in de middelpuntvliedende kracht het gewicht *G* telkens een andere waarde aan en de versnelling *g* verandert in evenredigheid hiermede; het quotiënt $G : g$ behoudt dus overal de constante waarde *m*, welke dus de massa voorstelt en die gemeten wordt in kilogrammen.

Zoals reeds gezegd de *eenheid van kracht* of *van gewicht* is dus thans de *newton* (N); de newton is de kracht, welke aan een massa van 1 kg de

versnelling van 1 m/sec^2 geeft. $1 \text{ N} = 1 \text{ kg.m/sec}^2$ (symbool $[MLT^{-2}]$). De ouderwetse kilogram voor kracht, welke we nog even als $\text{kg}(f)$ willen aanduiden (force = kracht), is dus, afhankelijk van de breedtegraad op aarde, verschillend. Hij is gelijk aan $g \times \text{N}$.

De grootte van g is

aan de evenaar	= 9,78
in Parijs	= 9,81
in Amsterdam	= 9,813
aan de pool	= 9,832

Hieruit volgt, dat in Nederland $1 \text{ kg}(f) = 9,813 \text{ N}$ of $1 \text{ N} = 0,102 \text{ kg}(f)$.

De eenheid van tijd is de *secunde*; dit is $\frac{1}{86400}$ middelbare zonnedag.

De eenheid van elektrische stroom is de *ampère*.

Teneinde de definitie voor de ampère te kunnen begrijpen is het goed, even in de Theorie der elektriciteit te duiken.

We hebben geleerd, dat zich om een geleider, waarin een gelijkstroom loopt, een magnetisch veld bevindt. Loopt in de draad de stroom van ons af, dan draaien de krachtlijnen rechtsom in concentrische cirkels en komt de stroom naar ons toe, dan zien we de krachtlijnen linksom lopen; fig. 1.

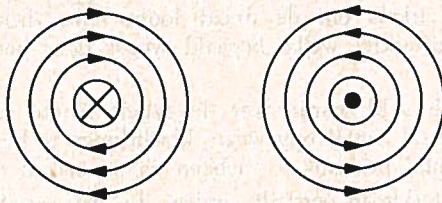


FIG. 1

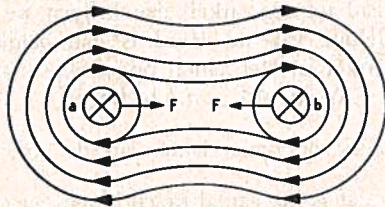


FIG. 2

Wanneer twee draden met de stroom in dezelfde richting evenwijdig naast elkaar lopen, dan zullen de krachtlijnen samen gaan lopen en als het ware beide draden omvatten, waardoor de draden naar elkaar toe getrokken worden; fig. 2.

Op deze eigenschap berust de definitie voor de *ampère*;

dit is de elektrische stroom die in twee rechtlijnige evenwijdige geleiders van oneindige lengte en verwaarloosbare cirkelvormige doorsnede, in het

vacuüm geplaatst op een onderlinge afstand van 1 meter, per meter lengte een kracht tussen deze geleiders opwekt, gelijk aan 2.10^{-7} newton.

De eenheid van temperatuur is de *graad celsius* ($^{\circ}\text{C}$); dit is het honderdste deel van het verschil in temperatuur van smeltend ijs en van verzadigde waterdamp, beide bij een druk van $101,3 \text{ kN/m}^2$.

Om nu te besluiten met de vraag van de inzender:

De opgegeven formule $H = \frac{0,4 \pi n \cdot I}{l}$ oerstedt heeft betrekking op een spoel zonder zachtstalen kern met een aantal windingen n , waarin een magnetisch veld wordt opgewekt.

Wanneer het aantal krachtlijnen per cm^2 1 bedraagt, dan zei men dat de veldsterkte 1 oerstedt bedroeg.

Wanneer we een spoel nemen van 1 winding, dan is in vorenstaande formule $n = 1$. De getallen 0,4 en π zijn getallen-factoren, zodat er overblijft, dat de veldsterkte alleen nog afhankelijk is van de stroom I en de lengte l van de draad en wel: recht evenredig met I (d.i. stroom $2 \times$ zo groot, veld $2 \times$ zo groot) en omgekeerd evenredig met l (d.i. de lengte $2 \times$ zo groot, veld $2 \times$ zo klein: dit is in het symbool uitgedrukt: $[L^{-1}, I]$).

Waarschijnlijk zal de factor „gedeeld door l ” voor velen ook nog vreemd lijken. Om een rechte stroomvoerende geleider wordt — zoals we hierboven ook nog zagen — een magnetisch veld opgewekt, dat in de vorm van concentrische cirkels om de draad loopt. Hoe dichter bij de draad, hoe groter de veldsterkte, welke bepaald wordt door het aantal ampères in de draad.

Dit magnetisch veld wordt over de gehele lengte van de draad opgewekt, dus om het totaal aantal opgewekte krachtlijnen te berekenen — let wel: dat is niet het aantal per cm^2 — hebben we te maken met de factoren I en l . Wil men de sterkte in oerstedt vinden, d.i. het aantal per cm^2 , dan komt er naast de afstand van de draad ook nog de factor 0,1 aan te pas.

Buigen we de draad tot een cirkel, dan krijgen we bovenbedoelde spoel met 1 winding. De lengte van de draad is dan gelijk aan πd , waarin d de diameter van de cirkel is. Het aantal opgewekte krachtlijnen zou dan volgens vorenstaande ($0,1 l \cdot I$) dus $0,1 \pi d \cdot I$ bedragen.

Dit aantal gaat door de oppervlakte van de cirkel, welke $\frac{\pi}{4} d^2$ bedraagt.

De veldsterkte H , dat is het aantal krachtlijnen per cm^2 is hier dus:

$$H = \frac{0,1 \pi d \cdot I}{\frac{\pi}{4} d^2} = \frac{0,1 \cdot 4 \pi d \cdot I}{\pi d^2} = \frac{0,4 I}{d} = \frac{0,4 I}{\frac{l}{\pi}} = \frac{0,4 \pi \cdot I}{l}$$

Zo zijn we dus gekomen aan het symbool voor veldsterkte $[L^{-1}, I]$.

P.S. In verband met het vorenstaande verwijzen we nog naar blzn 181 t/m 184 van 1951, waarin over de ampère als eenheid van stroom ook reeds geschreven werd.

(Vervolg van blz. 263)

13. De transistor-karakteristieken.

Bij de berekening van de transistor-versterker in paragraaf 8 zijn de waarden van enkele karakteristieke transistorgrootheden, zoals ingangsweerstand en stroomversterkingsfactor, bekend verondersteld. In deze paragraaf stellen we ons ten doel de waarden van deze grootheden door metingen te achterhalen. We volgen daarbij een indirecte weg. De genoemde grootheden zijn nl. *wisselstroomgrootheden* en we gaan ze afleiden uit het *gelijkstroomgedrag* van de transistor.

Deze indirecte wijze heeft het voordeel, dat we de meetgegevens in slechts enkele spannings-stroomdiagrammen behoeven onder te brengen, om het gehele gedrag van de transistor als versterker te overzien. Vanzelfsprekend geldt dat alleen voor het gedrag bij signaalfrequenties, welke zo laag zijn, dat op ieder moment in de diagrammen aan het verband tussen spanning en stroom wordt voldaan.

Hoever deze frequenties gaan hangt in sterke mate af van het transistortype. Er zijn reeds typen, waarbij het gestelde tot tientallen megahertzen geldig blijft. Behalve voor het bepalen van de versterkingsgrootheden, zijn de te maken spanning-stroomverbanden ook nuttig voor een overzicht van het niet-lineaire gedrag van de transistor en de mate waarin deze uitgestuurd kunnen worden door grote signalen.

13.1 De karakteristieken van de g.b.-schakeling.

Om het verband te leren kennen tussen de verschillende stromen en spanningen van de transistor in de g.b.-schakeling, gaan we uit van de meetopstelling volgens figuur 22.

Met de draadgewonden potentiometer van 500Ω in het linkergedeelte van de opstelling kunnen we de spanning U_{EB} , tussen de emitter en de basis continue regelen tussen 0 V en ongeveer 0,25 V. De laatste spanningswaarde is begrensd door de vaste weerstand van 500Ω , via welke de potentiometer aan de + klem van de batterij is verbonden. Door tussenschakeling van deze weerstand wordt voorkomen, dat de transistor overbelast raakt door een verkeerde instelling van de potentiometer.

De waarde waarop U_{EB} moet worden ingesteld is afleesbaar op een voltmeter en de waarde van de daarbij optredende emitterstroom I_E op een mA-meter.

Bij de hierna volgende meting is de volgorde juist andersom. Met de potentiometer

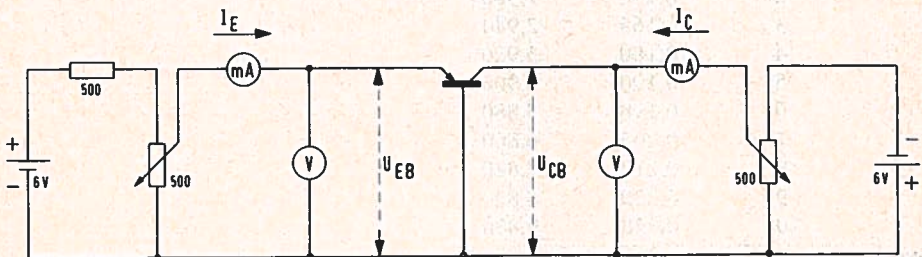


FIG. 22

meter stellen we een zekere emitterstroom in en nemen dan de daarvoor benodigde U_{EB} op.

In het rechter gedeelte van de opstelling bevindt zich eveneens een draadgewonden potentiometer van 500Ω . Hiermee kan de spanning U_{CB} tussen collector en basis continue worden geregeld tussen 0 en -6 V. Op de twee meters in dit gedeelte van de schakeling kunnen we de waarden van U_{CB} en I_C aflezen.

Over de meters kunnen we nog het volgende opmerken. Geplaatst zoals is aangegeven, geven de mA-meters aan de som van de emitter- respectievelijk collectorstroom en de stroom door de voltmeters.

Bij gebruik van voldoende hoog-ohmige voltmeters, bijv. $20 \text{ k} \Omega$ per V, zodat nog niet aan buisvoltmeters wordt gedacht, is de voltmeterstroom te verwaarlozen ten opzichte van de straks in te stellen emitter- en collectorstromen. Daarom is bij deze meting de aangegeven plaats te prefereren boven een plaatsing aan de andere zijde van de mA-meters. Dan is de stroomaflezing weliswaar correct, maar de spanningsmeting komt in het gedrang. De spanningsmeters geven dan nl. aan de som van U_{EB} respectievelijk U_{CB} en de spanning over de mA-meters. Dit kan tot relatief grotere onjuistheden leiden.

Met de beschreven opstelling gaan we eerst het verband bepalen tussen I_E , U_{EB} en I_C en wel bij een *constante waarde* van U_{CB} .

Voor dit laatste draaien we de looper van de rechter potentiometer naar de zijde, waarbij deze rechtstreeks verbonden is met de minklem van de 6 V-batterij. Hiermee hebben we U_{CB} op -6 V gebracht of wat hetzelfde is, $-U_{CB}$ op 6 V. Om deze spanning constant te houden bij alle waarden van I_C tussen 0 en 10 mA, waarop we deze stroom straks gaan instellen, moet de inwendige weerstand van de 6 V batterij laag zijn. Is dit niet het geval, dan kunnen we ons behelpen door de batterijspanning wat hoger te kiezen en $-U_{CB}$ bij iedere meetstap opnieuw met de potentiometer te regelen op 6 V. Als dit alles is geregeld gaan we met de linkerpotentiometer de emitterstroom in stappen van 1 mA brengen van 0 op 10 mA. Bij elke stap lezen we de waarden van U_{EB} en I_C af op de meters en noteren ze in een tabel, zoals in tabel 1 is aangegeven.

Bij deze meting zullen we ondervinden, dat I_C tegengesteld vloeit aan de richting van de pijl in figuur 22. Daarom is voor I_C in de tabel het minteken geplaatst.

I_E (mA)	U_{EB} (V)	$-I_C$ (mA)
0	0,000	0,002
1	0,120	0,980
2	0,150	1,960
3	0,165	2,940
4	0,180	3,920
5	0,190	4,900
6	0,198	5,880
7	0,205	6,860
8	0,212	7,840
9	0,220	8,820
10	0,228	9,800

De gevonden meetwaarden gaan we nu in twee diagrammen verwerken. Een diagram waarmee het verband tussen I_E en U_{EB} wordt vastgelegd en een tweede voor het verband tussen I_E en I_C . Deze diagrammen zetten we zo op, dat ze beiden de I_E -as gemeenschappelijk hebben. In de linkerhelft van figuur 23 is de $I_E - I_C$ karakteristiek boven de $U_{EB} - I_E$ karakteristiek geplaatst. Dit is een algemeen gebruikelijke wijze. In de rechtse karakteristiek is bovendien het verband aangegeven tussen I_C en U_{CB} bij verschillende *constante waarden* van I_E . Bij de meting van deze karakteristiek is I_E steeds op één van de aangegeven waarden ingesteld en daarna $-U_{CB}$ achtereenvolgens op bijv. 1, 2, 3, 4, 5 en 6 V. Bij elk van deze spanningswaarden is de mA-meter in het collectorcircuit afgelezen. Bij het daarna onderbrengen van de gevonden waarden in de karakteristiek blijkt, dat de grootte van I_C praktisch onafhankelijk is van de grootte van U_{CB} . Dit is iets wat we al hebben verondersteld bij de berekening van de versterking van de g.b.-schakeling in paragraaf 8. Het is nu dus door de meting bevestigd.

Uit de karakteristiek in de linker onderhelft van figuur 23 blijkt, dat het verband tussen U_{EB} en I_E verre van lineair is. Als hiermee geen rekening wordt gehouden bij de besturing van de transistor, dan kunnen ernstige signaalvormingen optreden. Dit kan bijv. het geval zijn, als de ingang van de versterker door de *spanning* van de signaalbron wordt gestuurd. Lezers, die zich tot nu toe alleen met vacuümbuizentechniek hebben beziggehouden, zullen zich misschien afvragen, waar men een versterker anders mee moet besturen. Deze lezers willen we alvast attent maken op de alternatieve mogelijkheid van *stroom*-besturing, welke bij transistors veel wordt toegepast. Hierover later meer.

Een spanningsbesturing heeft bijv. de in paragraaf 8 beschreven versterker. Voor de gelijkspanningswaarde van U_{EB} is 0,15 V gekozen.

Als de signaalbron daarop een sinusvormige wisselspanning met een topwaarde van 50 mV superponeert, dan zal in de positieve halve periode van deze wisselspanning de emitterstroom oplopen van 2 mA rustwaarde tot een topwaarde van 6,3 mA en in de negatieve halve periode tot minimaal 0,7 mA. Naar boven krijgen we dus een variatie van 4,3 mA en naar beneden van 1,3 mA. Deze ongelijkheid zet zich in dezelfde verhouding door tot in de collectorstroom.

Het verband tussen I_C en I_E is nl., in tegenstelling tot dat tussen U_{EB} en I_E , in hoge mate lineair. Men ziet dit in het linker bovengedeelte van figuur 23. Uiteindelijk zal de asymmetrie dus ook in de uitgangsspanning van de versterker verschijnen. In een versterker van redelijke kwaliteit mag zoiets natuurlijk niet voorkomen. Een dergelijke spanningsbesturing mag dan ook alleen maar worden toegepast als de signaalspanningen beperkt blijven tot enkele millivolts. Het kleine stukje van de $U_{EB} - I_E$ kromme, waarop alles zich afspeelt, kunnen we praktisch als recht beschouwen. In het volgende nemen we voorlopig aan, dat dit het geval is. Daardoor kunnen we hier onze beschouwingen over de karakteristieken beperken tot het bepalen van de ingangsweerstand r_E en de stroomversterkingsfactor a_{tb} voor kleine wisselspanningen en stromen.

De ingangsweerstand van de g.b.-schakeling is gedefinieerd als de verhou-

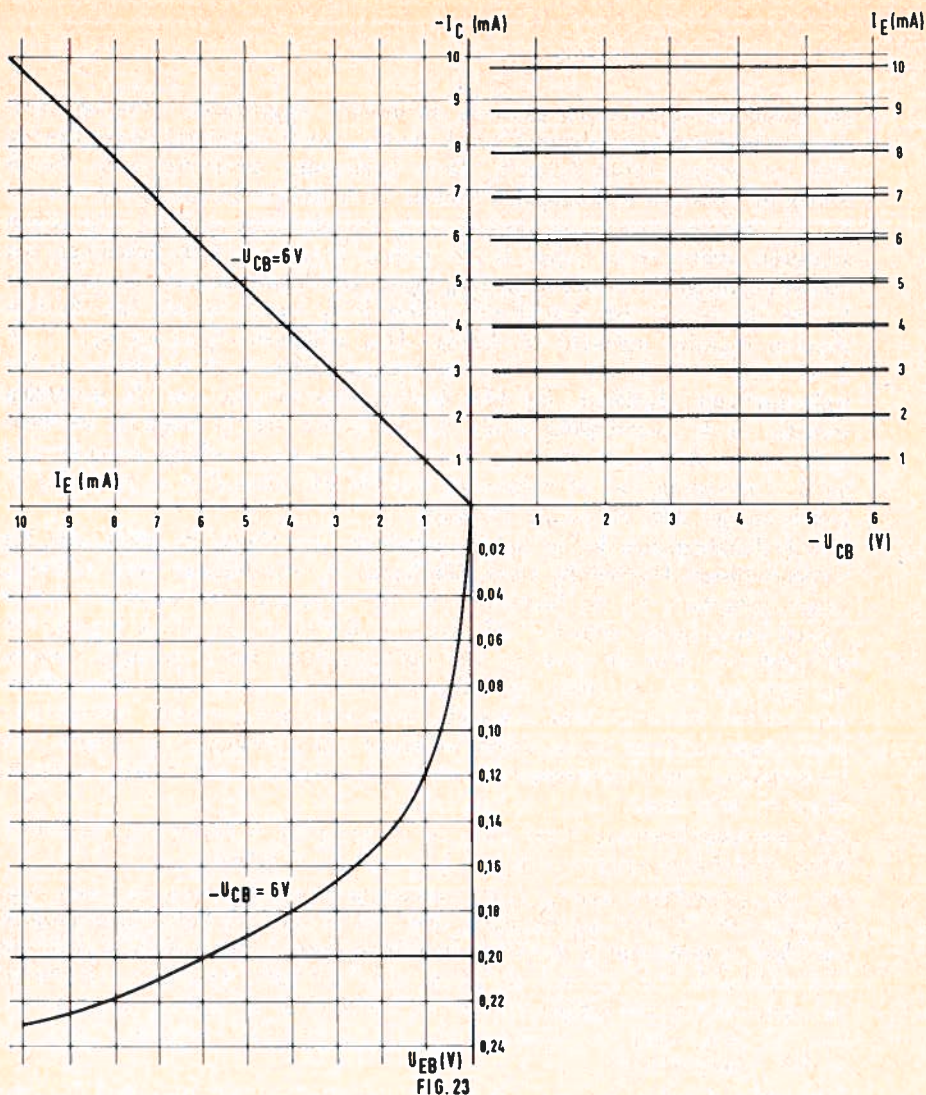


FIG. 23

ding tussen een kleine U_{EB} -variatie en de daaruit voortvloeiende I_E -variatie. Nu kunnen variaties van enkele millivolts niet meer met voldoende nauwkeurigheid rechtstreeks worden afgelezen uit de $I_E - U_{EB}$ karakteristiek. We gebruiken voor de bepaling van r_e dan ook het hulpmiddel van de raaklijn aan de kromme, zoals is aangegeven in figuur 24.

De verhouding tussen de in deze figuur aangegeven ΔU_{EB} en ΔI_E is de gevraagde ingangsweerstand bij het betreffende instelpunt. Uit de figuur is gemakkelijk af te leiden, dat:

$$r_e = \frac{\Delta U_{EB}}{\Delta I_E} = \cotg \alpha.$$

Daar de hoek α steeds een andere waarde heeft voor de verschillende instel-

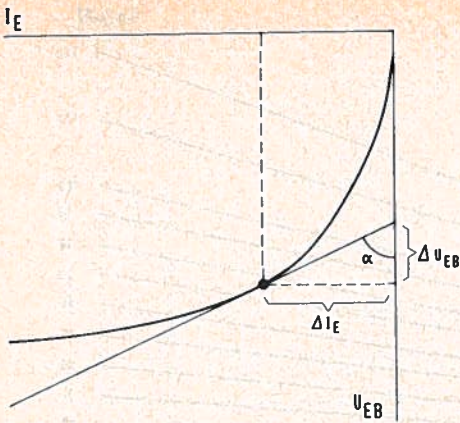


FIG. 24

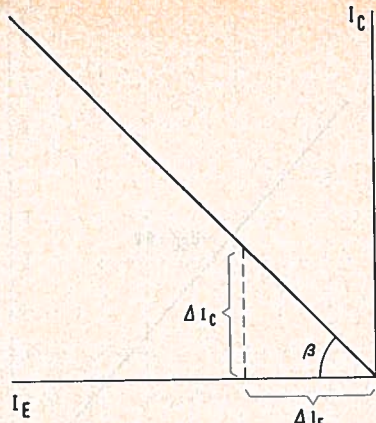


FIG. 25

punten, hangt ook de grootte van r_E af van de keuze van het instelpunt. Bij $I_E = 1 \text{ mA}$ is r_E bijv. 50Ω en bij $I_E = 10 \text{ mA}$ bijv. 10Ω .

De stroomversterkingsfactor a_{fb} voor kleine wisselstromen is gedefinieerd als de verhouding tussen kleine I_C en I_E variaties.

Daar de $I_C - I_E$ kromme een nagenoeg rechtlijnig verloop heeft, behoeven we hier geen raaklijn te trekken en kunnen we voldoen met het aannemen van een zekere ΔI_E en daarmee de overeenkomende ΔI_C bepalen, zoals is aangegeven in figuur 25.

Dan is:
$$a_{fb} = \frac{I_C}{I_E} = \text{tg. } \beta$$

De a_{fb} voor wisselstromen is dus praktisch gelijk aan de a_{fb} voor gelijkstromen.

Hiermee zijn de twee voornaamste versterkingsgrootheden van de g.b.-schakeling bepaald.

13.2. De karakteristieken van de g.e.-schakeling.

De meting van de g.e.-karakteristieken verloopt analoog aan die van de g.b. Hetingangssignaal wordt bij deze schakelmogelijkheid geplaatst tussen de basis en de emitter en daardoor interesseren we ons hier voor het verband tussen U_{EB} en I_B .

Het uitgangssignaal wordt weer van de collector betrokken, zodat het verband tussen I_C en I_B eveneens van belang is, als ook de samenhang $I_C - U_{CE}$.

Na de behandeling van de g.b.-karakteristieken kunnen we over de metingen van de g.e.-karakteristieken kort zijn.

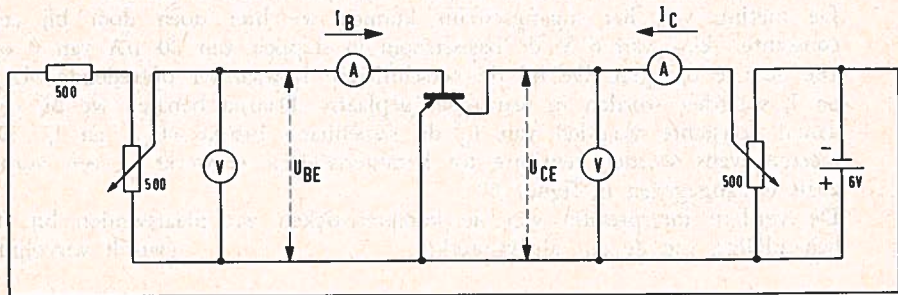


FIG. 26

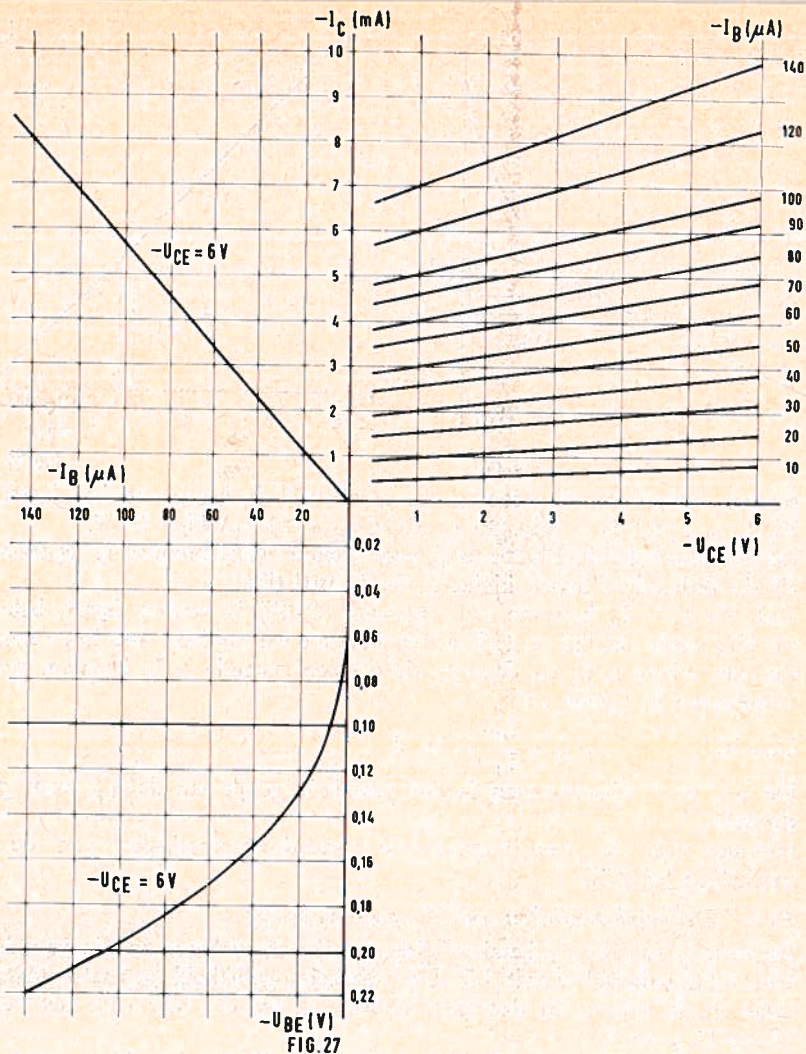


FIG. 27

De meetopstelling is gegeven in figuur 26. De voltmeter in het ingangscircuit is nu vóór de mA-meter geplaatst. Dit houdt verband met het feit, dat de te meten basisstromen veel kleiner zijn dan de emitterstromen.

De meting van het ingangscircuit kunnen we hier doen door bij een constante $-U_{CE}$ van 6 V de basisstroom in stappen van 20 μA van 0 op 140 μA te brengen. De bij de verschillende I_B -waarden optredende $-U_{BE}$ en I_C -waarden worden in een tabel geplaatst. Daarna bepalen we bij een aantal constante waarden van I_B de samenhang tussen $-U_{CE}$ en I_C . De meetgegevens worden tenslotte tot karakteristieken verwerkt in een vorm, zoals is aangegeven in figuur 27.

De verdere interpretatie van de karakteristieken zal plaatsvinden bij de behandeling van de g.e. als versterker. (wordt vervolgd)