Tijdschrift van het Nederlands Radiogenootschap

November 1950 **Deel XV No 6.**

Electronische rekenapparaten. Mathematische grondslagen.

door IJ. Boxma

Phys. Lab. R.V.O.—T.N.O.

Voordracht gehouden voor het Nederlands Radiogenootschap op 3 Februari 1950.

SUMMARY

After indicating that for use in computing machines the mathematics should be reduced to the elementary mathematical operations, a description is given of these elementary operations in the binary system.

Inleiding

In de tweede wereldoorlog werd de ontwikkeling van snelle, universele rekenmachines, waaraan reeds lang een behoefte gevoeld werd, aanzienlijk gestimuleerd. Speciaal het berekenen van de banen van projectielen kostte veel tijd. Hiervoor werd de ENIAC (electronic numerical integrator and calculator) ontworpen. Deze kan een dergelijke baanberekening uitvoeren in 30 sec., terwijl met een gewone tafelrekenmachine zo'n berekening ongeveer 20 uur duurt. De ENIAC kan echter moeilijk meer gerekend worden tot de moderne, snelle en universele rekenmachines, omdat het omzetten voor een ander probleem met de hand moet gebeuren en veel meer tijd kost dan het rekenen zelf.

Aan een te bouwen rekenmachine kunnen verschillende eisen worden gesteld. De voornaamste zijn wel:

1. de eisen, die aan de nauwkeurigheid van de berekeningen worden gesteld;
2. de snelheid, die van de machine wordt gevraagd;
3. de hoeveelheid getallen en opdrachten, die de machine tegelijk moet kunnen onthouden of verwerken.

Hiertegenover staan natuurlijk de tijd en de kosten, die aan de bouw besteed mogen worden.

Het is mogelijk, om de rekenmachines in twee groepen te verdelen: de analogie-machines en de cijfer-machines.

Een analogie-rekenmachine vervangt een mathematische bewerking door het effect van een mechanisch, hydraulisch of electrisch mechanisme. Een voorbeeld is de rekenliniaal. Hierbij bestaat de analogie o.a. in de lengte van een lijnstuk tegenover de logarithme van een getal. Een ander voorbeeld is het vermenigvuldigen met gebruikmaking van de wet van Ohm: de spanning over een weerstand is gelijk aan het product van de waarden van de weerstand en de stroom door deze weerstand.

De voornaamste analogie-machine is de Bush-Caldwell Differential Analyser in het Centre of Analysis in het Massachusetts Institute of Technology.

Practisch is 1 : 1000 bij de analogie-machines wel de bereikbare grens in de nauwkeurigheid. Voor snel kwalitatief werk en voor kwantitatief werk, waarbij een beperkte nauwkeurigheid voldoende is, kunnen ze van groot nut zijn. We zullen ons hier echter verder bepalen tot de cijfer-rekenmachines.

Een cijfer-rekenmachine ontvangt zijn gegevens in getalvorm en werkt hier verder mee.

De nauwkeurigheid kan willekeurig groot worden gemaakt, door het aantal cijfers, dat de machine kan opnemen, maar groot genoeg te kiezen.

Het is duidelijk, dat continue processen met machines, die volgens dit principe werken, onmogelijk zijn. Deze moeten dan worden vervangen door een numeriek equivalent.

Oorspronkelijk werkten de cijfer-machines natuurlijk mechanisch, zoals de gewone tafel-rekenmachine. Het is voor een ervaren rekenaar nog mogelijk om aan een dergelijke tafel-rekenmachine instructies en getallen toe te voeren, zonder dat de machine in verhouding lang moet wachten. Zou deze echter veel sneller werken, dan zou dit practisch geen verbetering meer geven in de tijd, waarin de hele berekening wordt uitgevoerd.

De meeste problemen bevatten echter een groot aantal herhalingen, zodat voorkomen kan worden, dat de mens de snelheid van de rekenmachine beperkt. Hiervoor moet een snelle rekenmachine in staat gesteld worden om een in detail meegedeeld proces te herhalen gedurende een vast aantal malen of tot een of ander criterium bereikt is.

Dergelijke betrekkingen, waarin de volgorde van de bewerkingen steeds dezelfde blijft, heten recursie-betrekkingen. Hiervan kunnen vele voorbeelden gegeven worden, o.a.:

1. Iteratieve bewerkingen. Dit zijn steeds herhaalde bewerkingen, waardoor een grootheid steeds beter benaderd wordt. Na iedere berekening bepaalt de machine het verschil tussen de laatste en de voorlaatste benadering, en stopt, als dit o is tot het gewenste aantal decimalen.
2. Het maken van tabellen van $f(x)$ voor allerlei waarden van x, b.v. voor $x = 0 \ldots . n$. De machine bepaalt hier na iedere berekening $x - n$. Zolang 'dit negatief is, werkt de machine door; wordt het echter o, dan stopt hij.
3. Het vermenigvuldigen van matrices.
4. Het bepaald integreren, waarbij een functie-waarde voortdurend bepaald moet worden en daarna moet worden opgeteld bij de som van de voorgaande functie-waarden.
5. Het komt voor, dat de waarde van een bepaalde functie (sinus, Bessel, enz.) voor een tijdens het reken-proces gevonden argument bepaald moet worden. Met een of andere reeksontwikkeling kan deze waarde dan berekend worden.
6. Het oplossen van partiële differentiaal-vergelijkingen.

Op de iteratieve bewerkingen zullen we nog iets verder ingaan. Voorbeeld : voor het bepalen van $x = \sqrt{a}$ kunnen we het volgende iteratieve proces toepassen : $x_{n+1} = \frac{1}{2}\left(x_n + \frac{a}{x_n}\right)$.

Uitgaande van een willekeurige x_0 vinden we een waarde van x_1; deze geeft een waarde van x_2. Iedere volgende x is een betere benadering van $\sqrt{a}$.

Is b.v. $a = 4$, en gaan we uit van $x_0 = 1$, dan vinden we achtereenvolgens :

$$x_1 = 2{,}5$$
$$x_2 = 2{,}05$$
$$x_3 = 2{,}006$$
$$x_4 = 2{,}00000009$$

Als voordeel van een dergelijke iteratieve bewerking kan nog genoemd worden, dat het zijn eigen fouten herstelt, en dat het weinig eisen aan het geheugen van de machine stelt.

Bovenstaande iteratieve formule is een bijzonder geval van de volgende :

$$x = a^{-\frac{1}{p}}. \qquad x_{n+1} = \frac{x_n}{p}.\left[p + 1 - a . x_n^p\right].$$

Een ander bijzonder voorbeeld hiervan is de veel gebruikte iteratieve formule voor het bepalen van de reciproke waarde van een getal: $x = \frac{1}{a}$

$$x_{n+1} = x_n \,.\, (2 - a \,.\, x_n)$$

Een dergelijke iteratieve functie geldt alleen wanneer de reeks $x_0, x_1 \ldots\ldots x_n, x_{n+1} \ldots\ldots$ een limiet X heeft. Wanneer we dit nagaan voor deze eenvoudige formule, dan is het duidelijk, ook zonder dat van de strenge limiet-definitie gebruik wordt gemaakt, dat er convergentie is, als de fout steeds kleiner wordt.

Stellen we $x_n = \frac{1}{a} \pm \varepsilon$, waarin ε de fout voorstelt, dan is

$$x_{n+1} = \left(\frac{1}{a} \pm \varepsilon\right) . \left\{2 - a \,.\left(\frac{1}{a} \pm \varepsilon\right)\right\} = \left(\frac{1}{a} \pm \varepsilon\right) . \,(1 \mp \varepsilon \,.\, a) = \frac{1}{a} - \varepsilon^2 \,.\, a \,.$$

$\varepsilon^2 a$ is de nieuwe fout.

Er zal dus convergentie zijn als $\varepsilon^2 a < \varepsilon$ is.

Dus als $\varepsilon < \frac{1}{a}$ is, of $0 < x_0 < \frac{2}{a}$

De eerste aanname voor $x = \frac{1}{a}$ moet dus liggen tussen 0 en $\frac{2}{a}$ om tot resultaat een steeds betere benadering te krijgen.

In dit verband kunnen we ons afvragen, of de convergentie van het proces nog sneller gemaakt kan worden. In het algemeen is $x_n = X + \varepsilon_n$, waarbij ε_n de fout in de n^{de} approximatie is. Ontwikkelen we nu $x_{n+1} = F(x_n)$ in een reeks van Taylor, dan is

$$x_{n+1} = F(X) + F'(X) \,.\, \varepsilon_n + \frac{F''(X)}{2!} \,.\, \varepsilon_n^2 + \frac{F'''(X)}{3!} \varepsilon_n^3 + \ldots.$$

De convergentie zal sterker zijn naarmate meer coëfficienten van deze Taylor-reeks 0 zijn.

In ons voorbeeld is:

$$F(X) = X(2 - a\,X) = 2\,X - a\,X^2 = \frac{2}{a} - \frac{1}{a} = \frac{1}{a}.$$

$$F'(X) = 2 - 2\,a\,X = 2 - 2\,a \,.\, \frac{1}{a} = 0$$

$$F''(X) = -\,2\,a$$

$$F'''(X) = 0$$

Om $F''(X)$ ook 0 te maken, proberen we de oplossing:

$$x_{n+1} = x_n [3(1 - a x_n) + (a x_n)^2] \ .$$

Dan zijn:

$$F(X) = X(3 - 3aX + a^2 X^2) = 3X - 3aX^2 + a^2 X^3 = \frac{3}{a} - \frac{3}{a} + \frac{1}{a} = \frac{1}{a}$$

$$F'(X) = 3 - 6aX + 3a^2 X^2 = 3 - 6 + 3 = 0$$

$$F''(X) = -6a + 6a^2 X = -6a + 6a = 0$$

$$F'''(X) = 6a^2$$

Het convergentie-gebied blijkt weer $0 < x_0 < \frac{2}{a}$ te zijn, terwijl nu de fout in x_{n+1} $\varepsilon_n^3 a^2$ bedraagt, wanneer $x_n = \frac{1}{a} \pm \varepsilon$ gesteld wordt.

Men noemt dit een iteratief proces van de derde orde, daar de eerste term in de reeks van T a y l o r, die ε_n bevat en ongelijk is aan 0, de term met ε_n^3 is.

Met mechanische middelen is niet de snelheid te bereiken, welke nodig is voor het toepassen van deze recursie-betrekkingen. Daarom moet de hulp van electrische middelen worden ingeroepen. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van normale relais, maar de grootste snelheid wordt bereikt, wanneer electronen de enige bewegende delen zijn.

De hierbij gebruikte electronische relais worden gewoonlijk triggers of flip-flops genoemd.

Voor de theorie en een beschrijving van deze schakelingen zij hier verwezen naar „Frequentie-standaarden en electronische telsystemen", door ir B. v a n D ij l. Tijdschrift N.R.G. Maart 1947, deel XII no. 2.

Wij zullen hier alleen opmerken, dat het schakelingen van twee buizen zijn, gewoonlijk trioden, waarbij altijd één van beide buizen stroom geleidt. De schakeling bezit dus twee evenwichtstoestanden. Het is mogelijk de overgang van de ene in de andere toestand te doen plaats vinden door aan de schakeling een korte electrische spanningsstoot toe te voeren.

Bij de eerste electronische rekenmachine, de ENIAC, werden met dergelijke triggerschakelingen als elementen telschakelingen samengesteld: voor ieder cijfer 10 triggers, dus om getallen tot 10^{10} te kunnen bevatten, zijn 100 triggers nodig.

Bij latere ontwerpen heeft men overwogen, dat bij berekeningen, waarbij het aantal mathematische bewerkingen aanzienlijk groter is dan het aantal getallen, dat aan de machine moet worden toegevoerd, het gebruiken van het tientallige stelsel niet noodzakelijk is.

Om een nieuw talstelsel te kiezen, kunnen we allereerst nagaan, hoeveel geheugen-elementen we nodig zullen hebben. Is het grondtal a, dan hebben we voor ieder cijfer a geheugenelementen nodig. Voor p cijfers dus $a \,.\, p = x$.

Hiermee is het getal $N = a^p$ nog te bevatten.
x bereikt voor een bepaalde N een minimum voor $a = e$, zodat de talstelsels met grondtal 2, 3 of 4 het eerst in aanmerking komen.

Om minstens 10^{10} te kunnen bevatten wordt x voor:

$a = 10$	$x = 100$
4	67
3	63
2	67

Nemen we echter in aanmerking, dat strikt genomen geen geheugenelement aanwezig behoeft te zijn om een 0 weer te geven, dan wordt het aantal geheugen-elementen per cijfer $a - 1$ inplaats van a. Dan wordt x dus:

$a = 10$	$x = 90$
4	50
3	42
2	34

Dit geeft speciaal in het tweetallige stelsel een grote verbetering. Het is bovendien in dit stelsel zeer eenvoudig uit te voeren, omdat triggerschakelingen twee evenwichtstoestanden bezitten, en dus aan deze beide toestanden de cijfers 0 en 1 kunnen worden toegekend.

Als voordelen van het tweetallige stelsel kunnen, behalve de tot op ongeveer een derde verminderde hoeveelheid materiaal, genoemd worden:

Het geheugen, het belangrijkste deel van de rekenmachine, biedt minder constructie-moeilijkheden, doordat slechts het ja-nee-idee moet worden uitgevoerd; en de optel- en vermenigvuldigingstafels zijn in het tweetallige stelsel aanzienlijk eenvoudiger dan in het tientallige.

De nadelen van het gebruik van het tweetallige stelsel zijn:

Alle gegevens moeten van het tientallige stelsel worden omgezet in het tweetallige, en de antwoorden in omgekeerde volgorde.

Overigens kost het aflezen van het geheugen vaak zoveel tijd, dat door deze conversie en deconversie het proces in verhouding weinig langer duurt.

Een ander nadeel is, dat getallen in het tweetallige stelsel enigszins onhandig zijn, doordat ze ongeveer driemaal zo lang zijn als de getallen, waarmee wij vertrouwd zijn, en bovendien doordat we er geen spreektaal voor bezitten. Maar de getallen komen nooit in deze gedaante buiten de machine, zodat dit alleen een nadeel is bij de contrôle van de machine. Mijns inziens moet dit niet te zwaar worden opgevat, omdat de contrôle van een dergelijk apparaat alleen door een geschoolde kracht kan geschieden.

Behalve dit tweetallige stelsel worden ook wel andere stelsels toegepast, die als een tussenvorm beschouwd moeten worden. Speciaal dient het stelsel te worden genoemd, waarbij het gehele getal in het tientallige stelsel blijft staan, terwijl de afzonderlijke cijfers binair worden gecodeerd. Deze binaire codering behoeft niet precies volgens het tweetallige stelsel te geschieden, maar mag een andere code met behulp van enen en nullen zijn. Hierop wordt straks nog teruggekomen.

Het aantal geheugen-elementen in dit stelsel is 4 per cijfer (met 3 binalen is tot 8 te tellen en met 4 tot 16), dus voor 10 cijfers: 40 elementen.

Ook wordt als een tussenvorm wel het achttallige stelsel gebruikt om getallen te noteren. Voordelen zijn, dat de overgang uit het tweetallige stelsel eenvoudig is, terwijl de getallen niet veel langer zijn dan in het tientallige stelsel.

Achtereenvolgens zullen we nu het binale stelsel en het binair gecodeerde, decimale stelsel bespreken.

Het tweetallige stelsel.

Zoals in het tientallige stelsel de betekenis van een getal de volgende is: $935 = 9 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 5 \times 10^0$, zo is in het tweetallige stelsel de betekenis van een getal:

$$10110 = 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0.$$

Uitgedrukt in voor ons begrijpelijke taal is dit dus:

$$16 + 4 + 2 = 22.$$

Optellen.

Om te kunnen optellen, dienen we de regels van het optellen te kennen. Deze zijn hier zeer eenvoudig, n.l.:

$$0 + 0 = 0$$
$$0 + 1 = 1$$
$$1 + 1 = 10$$

Een optelling van 2 getallen ziet er dus b.v. zo uit:

$$\begin{array}{rr} 22 = & 10110 \\ 13 = & 1101 \\ \hline 35 = & 100011 \end{array}$$

Aftrekken.

Aftrekken is ook mogelijk, maar wordt meestal vervangen door het optellen van het complement.

Inplaats van het complement ten opzichte van een gehele macht van het grondtal van het talstelsel, dus t.o.v. 2^n, nemen we hier liever het complement t.o.v. $2^n - 1$, omdat dan ieder cijfer tot 1 moet worden aangevuld. Dit komt dus neer op het verwisselen van de enen en de nullen. Links van het getal komt dan nog een extra cijfer, dat als teken-indicatie kan worden gebruikt:

$$0 = + \text{ en } 1 = -$$

Dit invoeren van het complement t.o.v. $2^n - 1$ geeft geen fouten, wanneer het aantal mintekens voor en na het gelijkteken van de optelling hetzelfde is. Als vóór het gelijkteken een minteken meer staat dan er achter, moet in de uitkomst 1 worden opgeteld om de fout te herstellen. In dit laatste geval zal tengevolge van het wisselen van teken links een 1 uit het telwerk lopen. Door deze rechts weer in te voeren, wordt bovenbedoelde fout hersteld, (end-around-carry).

Opgemerkt dient nog te worden, dat het belangrijk is, niet de capaciteit van het telwerk te overschrijden.

Enkele voorbeelden:

+ 9 = 0 1001	+ 9 = 0 1001	− 9 = 1 0110	− 9 = 1 0110
+ 3 = 0 0011	− 3 = 1 1100	+ 3 = 0 0011	− 3 = 1 1100
+ 12 = 0 1100	10 0101	− 6 = 1 1001	11 0010
	$\longrightarrow$ 1		$\longrightarrow$ 1
	+ 6 = 0 0110		− 12 = 1 0011

Vermenigvuldigen.

Bij het vermenigvuldigen worden, evenals in het tientallige stelsel, de gedeeltelijke producten uitgerekend en op de juiste wijze verschoven onder elkaar geplaatst en opgeteld.

De gedeeltelijke producten zijn hier altijd 0 of gelijk aan het vermenigvuldigtal, omdat de cijfers van de vermenigvuldiger altijd 0 of 1 zijn.

Voorbeeld :

```
 22      =      10110
 13              1101
 ——×             ————×
 66             10110
22             10110
——            10110
286           —————————
              100011110
```

Delen.

In principe gaat het weer als in het tientallige stelsel.

Voorbeeld :

```
13/143\11   =   1101/10001111 1011
   13                1101
   ——                ————
    13               100111
    13                1101
    ——                ————
     0                 1101
                       1101
                       ————
                          0
```

Maar hierbij zou de rekenmachine dus moeten kunnen constateren of een aftrekking kan worden uitgevoerd, zonder dat het verschil negatief wordt. Dit is niet eenvoudig, zodat naar een andere methode gezocht moet worden. Deze kan worden gevonden door iedere aftrekking uit te voeren. Is de uitkomst positief, dan wordt een 1 geregistreerd in het quotient. Nadat de deler één plaats naar rechts verschoven is, wordt de volgende aftrekking uitgevoerd.

Is de uitkomst echter negatief, dan had de aftrekking niet behoren te worden uitgevoerd en wordt een 0 geregistreerd in het quotient. Nadat de deler één plaats naar rechts verschoven is, wordt de volgende aftrekking veranderd in een optelling.

Feitelijk is dan dus (deler $\times 2^n$) afgetrokken en daarna (deler $\times 2^{n-1}$) opgeteld.

Is dan de uitkomst positief geworden, dan wordt een 1 geregistreerd, omdat de aftrekking van (deler $\times 2^{n-1}$) klaarblijkelijk wel had mogen worden uitgevoerd, want $-$ deler $\times 2^n +$ deler $\times 2^{n-1} = -$ deler $\times 2^{n-1}$. Was de uitkomst negatief gebleven, dan moest weer een 0 worden geregistreerd.

Het zelfde voorbeeld met het extra cijfer, dat het teken aangeeft:

$$
\begin{array}{ll}
 & 1101/010001111\backslash 01011 \\
- & \quad\;\; \underline{1101} \\
 & \quad\;\; 110111111 \\
+ & \quad\;\; \underline{\;\;\;\;1101} \\
 & \quad\;\; 000100111 \\
- & \quad\;\; \underline{\;\;\;\;\;\;1101} \\
 & \quad\;\; 111110011 \\
+ & \quad\;\; \underline{\;\;\;\;\;\;\;\;1101} \\
 & \quad\;\; 000001101 \\
- & \quad\;\; \underline{\;\;\;\;\;\;\;\;\;\;1101} \\
 & \quad\;\; 000000000
\end{array}
$$

Omzetting van het tientallige in het tweetallige stelsel (conversie).

Meestal wordt er met behulp van omrekeningsfactoren (zekere machten van 2) voor gezorgd, dat de getallen, die de machine krijgt te verwerken, kleiner dan 1 zijn. Daarom zullen we alleen de conversie van dergelijke getallen beschouwen.

Voor getallen groter dan 1 kunnen soortgelijke oplossingen worden gegeven.

Bijv. 0,217. Vermenigvuldiging met 2 geeft 0,434. We noteren, wat voor de komma verschijnt, dus een 0.

Weer vermenigvuldigd met 2 geeft 0,868 ; weer een 0 noteren. Verder: 1,736, 1 noteren. $0{,}736 \times 2 = 1{,}472$, 1 noteren. $0{,}472 \times 2 = 0{,}944$, 0 noteren, enz.

De uitkomst is: 0,00110111100 . . . .

Deconversie.

Gegeven zij 0,001101111.

Vermenigvuldiging met tien (1010 in het 2-tallige stelsel) geeft: 10,00101011.

Voor de komma staat 10. Dit is 2, hetgeen we noteren. De rest achter de komma vermenigvuldigen we weer met tien. 1,1010111. 1 noteren, enz. Dit geeft tenslotte 0,217.

Vergelijken van het proces, toegepast in het 10-tallige stelsel op 0,217, verduidelijkt bovenstaande kunstgreep.

Het genoemde vermenigvuldigen met tien geeft vaak moeilijkheden, als dit gebeurt op de normale wijze met 1010. Want het verschuiven over twee plaatsen naar links, daarna optellen, weer 2 plaatsen verschuiven en optellen, kan tot resultaat hebben, dat de capaciteit van het telmechanisme wordt overschreden. Vooral als de machine alleen is ingericht voor getallen kleiner dan 1.

Het is dan beter om tien te schrijven als $2^4 \times (2^{-1} + 2^{-3})$. Eerst vermenigvuldigen met 2^{-1} en 2^{-3}, optellen en daarna vermenigvuldigen met 2^4 geeft bij deze laatste handeling ineens het gezochte getal, dat opgevangen wordt als het buiten de capaciteit van het telapparaat komt.

Opm.: vermenigvuldigen met een macht van 2 komt in het 2-tallige stelsel neer op verschuiven van het getal over een aantal plaatsen, gelijk aan de exponent van twee.

Het binair gecodeerde, decimale stelsel.

Zoals reeds werd opgemerkt, is dit het decimale stelsel, waarin de cijfers 0 tot en met 9 door een code worden vastgelegd. Hierbij zijn natuurlijk verschillende mogelijkheden.

Als eerste kunnen we de code beschouwen, die volledig overeenstemt met het binale stelsel:

0 = 0000
1 = 0001
2 = 0010
3 = 0011
4 = 0100
5 = 0101
6 = 0110
7 = 0111
8 = 1000
9 = 1001

Een nadeel hiervan is, dat niet het complement t.o.v. 9 gevonden kan worden, door eenvoudig de nullen en enen te verwisselen.

Een tweede nadeel is, dat bij het optreden van een overdracht 6 moet worden opgeteld, want niet bij 1001 = 9, maar pas bij 1111 = 15 treedt een overdracht op als 1 wordt opgeteld.

$$
\begin{array}{rr}
\text{Voorbeeld: } & 7 = 0111 \\
 & \underline{5 = 0101}\ + \\
 & 1100 \\
\text{extra} & \underline{6 = 0110}\ + \\
 & 1 \leftarrow 0010
\end{array}
$$

Het resultaat is dus een twee en een overdrachts-één.

Een verbetering krijgen we door overal 3 bij te tellen:

0 = 0011	Het complement t.o.v. 9 is nu direct te verkrijgen door verwisselen van 0 en 1. Bij een overdracht moet 0011 worden opgeteld en bij geen overdracht moet 0011 worden afgetrokken. Een voordeel voor de contrôle is, dat 0000 niet voorkomt. Terwijl ook als voordeel kan worden aangemerkt, dat getallen van 5 en hoger met een 1 beginnen, zodat afrondingen gemakkelijk kunnen worden uitgevoerd.
1 = 0100	
2 = 0101	
3 = 0110	
4 = 0111	
5 = 1000	
6 = 1001	
7 = 1010	
8 = 1011	
9 = 1100	

Een derde oplossing is nog, dat aan de 4 cijfers de waarden 2 4 2 1 worden toegekend, met de bepaling, dat de linker 2 alleen gebruikt wordt voor getallen van 5 en hoger:

0 = 0000	Het complement t.o.v. 9 is hier eenvoudig en ook het afronden. Maar bij het optellen moet in sommige gevallen 0110 worden afgetrokken en soms behoeft niets te worden gedaan. Dit laatste is natuurlijk een bezwaar van deze code.
1 = 0001	
2 = 0010	
3 = 0011	
4 = 0100	
5 = 1011	
6 = 1100	
7 = 1101	
8 = 1110	
9 = 1111	

Slotopmerking.

Een snelle electronische rekenmachine zal in veel gevallen een aanzienlijk aantal berekeningen moeten maken, zonder dat van buiten af wordt ingegrepen. Hierbij zullen veel afrondingen worden gemaakt. Deze afrondingsfouten kunnen optellen, en dus moet het aantal cijfers van de getallen aanzienlijk genomen worden, om de geëiste nauwkeurigheid te kunnen halen. Gewoonlijk wordt als maximum getal 10^{10} voldoende geoordeeld.

Hieruit blijkt dus, dat de in het begin genoemde eisen betreffende snelheid en nauwkeurigheid niet onafhankelijk zijn.

Discussie

Ir J. Piket: De bewering, dat met de electronische middelen een rekenmethode in het 2-tallige stelsel voordelen levert, die bij de mechanische middelen ontbraken, lijkt aanvechtbaar: moet niet omgekeerd de conclusie getrokken worden dat ook de mechanische middelen vatbaar zijn voor vereenvoudiging?

Ir IJ. Boxma: In principe is dit natuurlijk volkomen juist. Maar bij mechanische rekenmachines worden de elementen van een teller gevormd door de tanden van tandwieltjes, terwijl bij electronische rekenmachines triggers deze functie overnemen. Hier heeft dus het tweetallige stelsel voordelen, omdat het totaal aantal triggers verkleind wordt, terwijl in het mechanische systeem dan meer wieltjes, ieder met minder tanden, gebruikt zouden moeten worden.

Electronische rekenmachines; algemene opbouw en uitvoeringsvormen

door L. Kosten

Voordracht gehouden voor het Nederlands Radiogenootschap op 9 Januari 1950.

SUMMARY

The main components to be found in an automatic computer are briefly discussed, viz. the input- and output devices, the store, the arithmetical unit and the external control. The magnetic, supersonic and electrostatical ways of storage are described. Two examples of adding units, working on a parallel and a serial basis respectively, are given. Finally a simplified block-diagram of the external control of the EDSAC, together with a table of orders, are dealt with.

1. *Inleiding; Principiële componenten.*

De electronische rekenmachine kent van huis uit slechts elementaire rekenkundige bewerkingen: optellen en aftrekken, meestal vermenigvuldigen, soms ook delen en vrijwel nooit worteltrekken. Gecompliceerde berekeningen moeten, in deze deelbewerkingen ontleed, aan de machine worden opgedragen. Eén principiële component van de machine is derhalve het *rekenkundig orgaan.*

Daar bij de deelbewerkingen steeds tussenresultaten ontstaan, die later weer gebruikt moeten worden, is verder nodig een *geheugenorgaan,* hetwelk deze getallen in gecodeerde vorm kan onthouden. In dit geheugenorgaan zijn een aantal „vakjes" (bijv. 1000 stuks) in ieder waarvan één getal opgeborgen kan worden. Deze vakjes zijn op één of andere wijze genummerd. Door dit nummer te specificeren, kan men direct de plaats aangeven, waar een bepaald te verwerken getal opgeborgen is, subs. een tussenresultaat opgeborgen moet worden.

Om de machine nu een bepaalde serie bewerkingen te doen uitvoeren, moet men een zekere informatie geven, het zog. „programma". Dit houdt in, waar de gegevens zich bevinden, wat met deze gegevens moet gebeuren en ev. ook, wat met het bewerkingsresultaat moet geschieden. Deze informatie kan geheel in gecodeerde vorm gegeven worden. Immers kan de aanwijzing van de plaatsen in het geheugenorgaan waar de gegevens zich bevinden (subs. het resultaat opgeborgen moet worden) geschieden met de nummers der vakjes. Voorts is het aantal verschillende soorten mogelijke bewerkingen ook eindig. Deze bewerkingen kunnen dus elk een bepaald codenummer dragen. Aan de machine worden zog. gecodeerde *orders* toegevoerd. Deze bestaan ieder uit een numeriek deel, dat de vakjes van gegevens (en/of bewerkingsresultaat) aanwijst, en een operatief deel, dat het codenummer van de bewerking aangeeft.

Daar de orders zich in vorm niet onderscheiden van de getallen waarmee gerekend wordt (beide gecodeerde informatie), worden de orders tegenwoordig meestal opgeborgen in hetzelfde geheugenorgaan, waar de getallen onthouden worden.

Om de machine te kunnen laten reageren op de order, is nog een orgaan nodig, dat uit deze order de nodige conclusies trekt. Dit orgaan, het *besturingsorgaan,* zet de juiste „kranen" open, zodat de gegevens uit de juiste vakjes in het rekenkundig orgaan lopen, regelt de soort der bewerking, enz.

Tenslotte moeten er nog organen zijn, om de machine met de buitenwereld in contact te brengen. Het *ingangsorgaan* dient, om gegevens van buitenaf toe te voeren. Deze gegevens zijn getallen als begingegevens en een volledig berekeningsschema in de vorm van een lijst van gecodeerde orders.

Het *uitgangsorgaan* tenslotte dient, om eindresultaten, welke in gecodeerde vorm uit de machine komen, in leesbare tekst af te leveren.

Recapitulerend kunnen in de machine dus de volgende hoofdorganen worden onderscheiden:

a. ingangsorgaan
b. geheugenorgaan
c. rekenkundig orgaan
d. besturingsorgaan
e. uitgangsorgaan

2. *Invoer- en uitvoerorganen.*

De in te voeren getallen en orders moeten aan de machine worden aangeboden in de vorm van impulstreinen. Het zal duidelijk zijn, dat verreschrijver-apparatuur, die immers ook met impulsseries werkt, hiervoor zeer geëigend is. Deze wordt daarom meestal gebruikt. Ook voor het omzetten van de door de machine in de vorm van impulsseries afgeleverde resultaten worden meestal verreschrijvers gebruikt.

Eén bezwaar is tegen verreschrijvers aan te voeren, n.l. dat ze in verhouding tot zeer snelle machines traag zijn, zodat hier een „bottle-neck" ontstaat. In zeer grote projecten schakelt men tussen machine en verreschrijver daarom soms een magnetische band (bekend van de tape-recorders) tussen, welke de gegevens van de verreschrijver langzaam opneemt om ze later met grote snelheid aan de machine mede te delen. Gedurende de tijd dat de magnetische band „geladen" wordt kan de machine dan aan andere berekeningen werken. Ook bij de uitvoer werkt de band met grote snelheid samen met de machine, om de resultaten later weer op zijn gemak aan de verreschrijver mede te delen.

3. *Het geheugenorgaan.*

3.1. *De aan een geheugenorgaan te stellen eisen.*

De eisen, welke aan een geheugenorgaan gesteld kunnen worden, zijn in hoofdzaak de volgende:

a. grote capaciteit (d.i. aantal vakjes) per volumen eenheid;
b. grote snelheid van schrijven en aflezen;
c. grote snelheid van opzoeken;
d. willekeurig lange houdbaarheid der gegevens;
e. uitwisbaarheid zonder materiaal vernietiging;
f. niet te grote kosten per vakje.

De eisen *b* en *c* vallen niet samen. Want ook al kan een getal zéér snel ingeschreven of afgelezen worden, maar het duurt erg lang voor het betreffende vakje gevonden is, dan moet zo'n geheugentype toch als langzaam gequalificeerd worden.

3.2. *Enige uitvoeringsvormen van geheugens.*

Er bestaan geen geheugentypen die aan alle eisen gelijktijdig ideaal voldoen. In tabel I vindt men een overzicht van enige typen geheugen met opgave, in welke mate aan de verschillende eisen voldaan wordt. De appreciatie is

TABEL I.

Eisen / Type geheugen	Grote cap/vol	Grote snelheid schr. en lezen	Grote opzoek snelheid	Houdbaarheid	Uitwisbaarheid	Geringe kosten
Ponskaarten	ja	neen	neen	ja	neen	matig
Ponsbanden	ja	neen	neen	ja	neen	ja
Relais'	neen	neen	neen	ja	ja	neen
Triggers	neen	bij uitstek	?	ja	ja	neen
Magn. band	bij uitstek	matig	neen	ja	ja	bij uitstek
Magn. trommel	ja	matig	matig	ja	ja	ja
Supersoon syst.	neen	bij uitstek	bij uitstek	ja	ja	neen
Electrostatisch systeem	neen	"	"	"	"	"

hierbij dikwijls relatief. Wanneer bijv. de snelheden bij de magnetische trommel als matig staan aangegeven, dan is dit, omdat de laatste twee systemen veel sneller zijn. Iemand, die deze niet kent, zal echter geneigd zijn de magnetische trommel als snel te qualificeren.

Geen der geheugensoorten voldoet aan alle eisen gelijktijdig. In grote machines zal men daarom dikwijls twee soorten geheugen aantreffen. Een geheugen met grote opzoek snelheid (supersoon of electrostatisch) wordt gebruikt om gegevens te bewaren, welke in verloop van zeer korte tijd weer nodig zijn. Hiernaast vindt men dan een geheugen met kleinere opzoeksnelheid doch met veel grotere capaciteit (bijv. een magnetische band). Dit dient om grote groepen getallen, welke een veel langere tijd moeten worden opgeborgen, *en bloc* uit het snelle geheugen op te nemen, teneinde het laatste weer vrij te maken voor het meer flexibele gebruik waarvoor het bestemd is.

Het gebruik van ponskaarten, -banden, relais' en triggers als geheugenorgaan zal niet verder behandeld worden. De laatste drie, in tabel I genoemde minder bekende geheugentypen, zullen thans evenwel kort besproken worden.

3.2.1. *Magnetische geheugenorganen.*

De magnetische wire- en tape-recorders worden thans algemeen als dicteermachines en als vrij volmaakt geluidsregistratie-systeem bij de omroep e.d. gebruikt en behoeven geen nadere beschrijving. Het zal duidelijk zijn, dat geluidsregistratieapparatuur ook bruikbaar is voor registratie van de telegraaftekens, waaruit de te onthouden getallen en orders bestaan. Zelfs zijn hierbij de te stellen eisen, wat betreft geruis en overspreken belangrijk minder stringent. De commerciële apparatuur is daarom als geheugenorgaan vrijwel zonder meer bruikbaar.

Eén bezwaar is echter aan het gebruik van banden en draden verbonden. De opgeborgen gegevens komen op de band (draad)

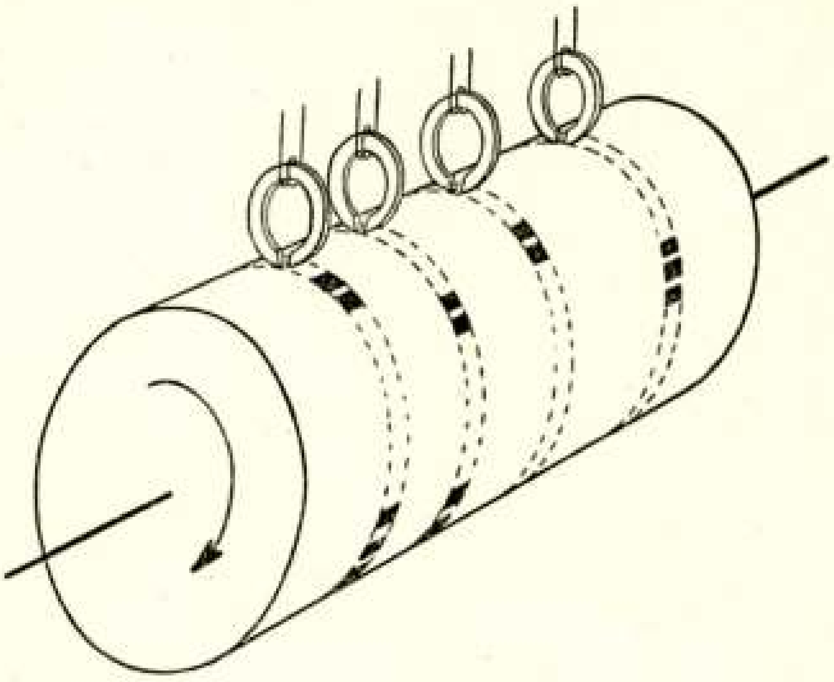

Fig. 1.
Magnetische trommel als geheugen.

in een bepaalde volgorde voor. Men kan de band nu in de ene of de andere richting laten lopen tot het gewenste gegeven (dus het bepaalde geheugenvakje) bij de aflezer is. Dit kost in het algemeen des te meer tijd, naarmate de band langer is. Men mist dus de mogelijkheid om in het geheugen „heen en weer te kunnen springen". Daarom is zo'n geheugentype alleen bruikbaar om gehele blokken gegevens tijdelijk over te nemen van een geheugen met betere opzoekmogelijkheid.

Wil men de zoektijd bij het magnetisch geheugen verkleinen, dan kan dit door de volgende maatregelen. De band wordt in een aantal stukjes geknipt die alle volgens een cirkel op een draaibare cylinder zijn aangebracht (figuur 1). Ieder van de zo ontstane „sporen" wordt bestreken door een eigen magnetisch systeem dat zowel kan schrijven als aflezen. De opzoektijd kan nu aanmerkelijk bekort worden. Immers kan de juiste schrijver/aflezer relatief snel door instelling van relais' of door een electronische schakeling worden uitgekozen, waarna het opzoeken nog maximaal één omwenteling van de trommel kan kosten. Roteert de trommel met 3000 omwent./min, dan duurt één omwenteling slechts 20 msec. Wil men de trommel echter met deze snelheid (waarbij ook een tamelijk grote omtreksnelheid behoort) laten draaien, dan mogen de schrijvers/aflezers niet meer in contact met de banden zijn, daar anders abnormale slijtage optreedt. Het is nu evenwel mogelijk een zeer geringe luchtspleet tussen band en magneetsysteem te handhaven, daar de banden op een vaste ondergrond zijn aangebracht. In werkelijkheid worden de banden meestal vervangen door een rechtstreeks op de trommel aangebrachte laag nikkel of magnetiet.

Een idee van de capaciteit wordt gegeven door de volgende getallen. Het aantal impulsen dat per mm spoorlengte kan worden ondergebracht is 2 à 6. Van de sporen kunnen er 5 à 10 per cm axiale breedte worden aangebracht.

De schrijfsnelheid kan door het gebruik van doelmatige, zeer kleine, magnetische systemen tot 140.000 impulsen per sec worden opgevoerd.

3.2.2. *Het supersone geheugen.*

In een buis met een lengte van ca. $1^1/_2$ m bevindt zich kwik. Aan beide einden van de buis zijn piëzoelectrische kristallen met gelijke eigenfrequenties van bijv. 10 MHz opgesteld (fig. 2).

Wanneer het linkerkristal kortstondig (bijv. 1 μsec) met 10 MHz electrisch wordt aangestoten, zendt het een golftrein van ca 10 perioden uit, welke zich met de snelheid van het geluid in kwik (ca. 1500 m/sec) voortplant. Daar de breedteafmeting van het kristal groot is t.o. van de golflengte in kwik (ca 0,15 mm), is het golfpakketje in de breedterichting goed begrensd. Het breidt zich dus niet tot de wand toe uit. Wanneer de kristallen goed gericht zijn, komt een belangrijk gedeelte van de acoustische energie op het rechterkristal terecht. Alleen treedt in het kwik demping op, terwijl door frequentieafhankelijkheid van de looptijd bovendien in de lengterichting vervloeiing van de (oorspronkelijk rechthoekig gedachte) golfenveloppe optreedt.

De tijd, welke het signaal nodig heeft om het rechtereinde te bereiken is ca 1,5 m $\div$ 1500 m/sec = 1 millisec. Na deze 1 millisec komt het verzwakte en vervormde signaal via een versterker en na detectie bij de „poort" no. 1. Deze poort ontvangt van de „klok" met tussenpozen van 1 millisec scherpe impulsen. Wanneer we nu een ogenblik aannemen, dat het door het zendende kristal uitgestraalde signaal geproduceerd was juist op een ogenblik, waarop de klok een impuls gaf, dan komt het

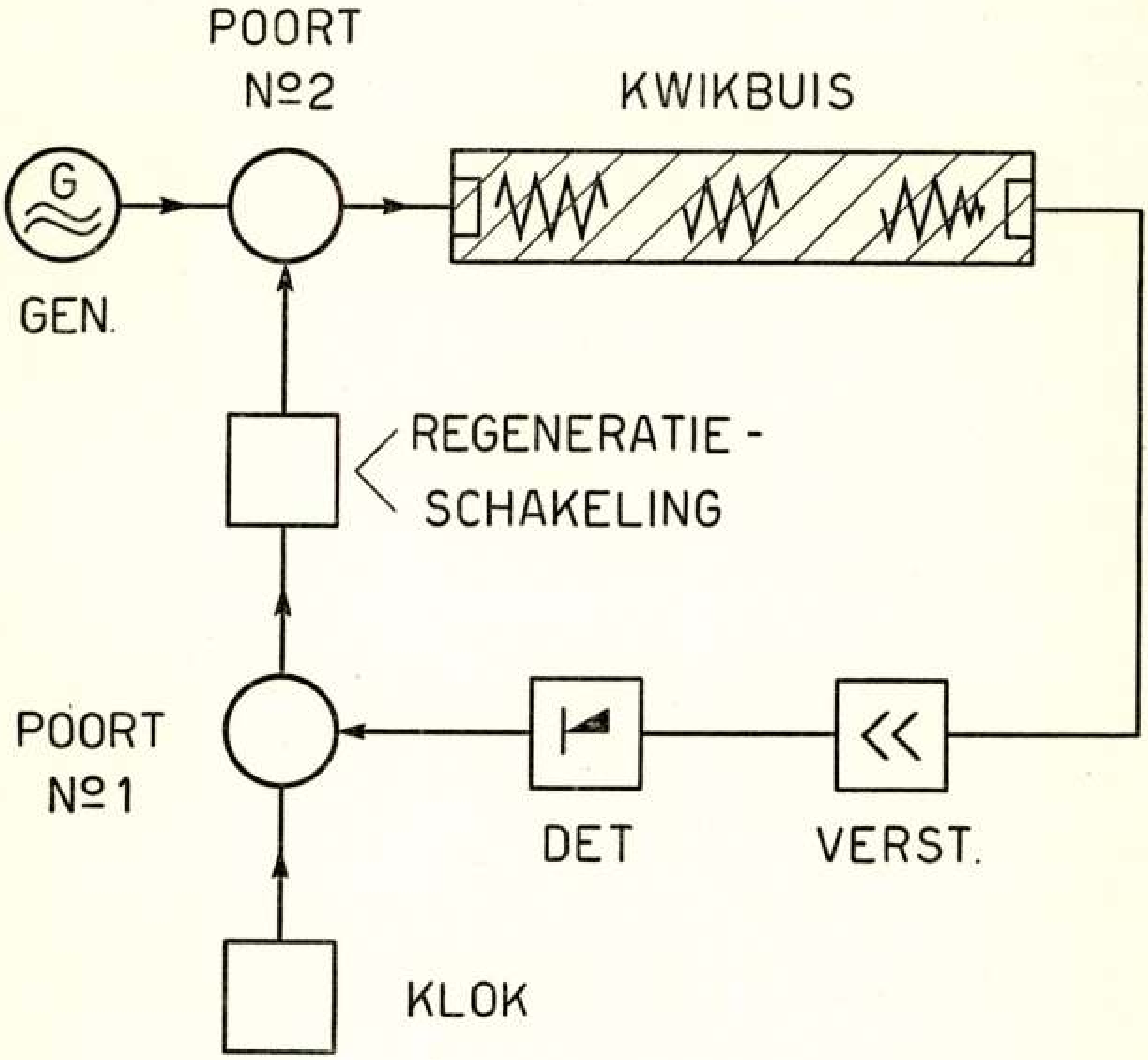

Fig. 2.
Supersoon geheugen.

signaal uit de detector (1 millisec later) precies gelijk met het volgende kloksignaal. De poort is nu een buizenschakeling, waarin de klokimpulsen worden doorgelaten, indien van de detector gelijktijdig een signaal wordt ontvangen. De klokimpuls, die door de poort passeert, is dus a.h.w. de representant van de impuls, die zojuist de kwikbuis heeft doorlopen. Alleen is er dit verschil, dat de impuls die uit de kwikbuis komt, slechts ten naaste bij 1 millisec na het begin valt (en bovendien vervaagd is), terwijl de gepasseerde klokimpuls exact 1 millisec later valt (en bovendien scherp is). De klokimpuls komt vervolgens in de regeneratieschakeling terecht. Dit is een buizenschakeling, welke bij het ontvangen van de klokimpuls, een tijd uitmeet, gelijk aan de duur van het oorspronkelijke signaal (1 μsec).

Dit 1 μsec signaal wordt aan de tweede poort toegevoerd, welke gedurende deze 1 μsec een golftrein van de generator doorlaat. Hierdoor zendt het zendkristal weer een signaal uit. Op hetzelfde ogenblik, waarop rechts het verzwakte en vervormde signaal aankomt, wordt dus links weer een signaal van goede vorm en amplitude uitgezonden. Het rechts aankomende signaal verschijnt dus a.h.w. geregenereerd aan de linkerzijde. Dit signaal doorloopt de buis weer, waarna het geregenereerd links terug komt, enz.

Wordt nu de „regeneratielus" evenwel kortstondig verbroken (bijv. tussen detector en eerste poort), dan komt de volgende klokimpuls aan deze poort aan, terwijl het signaal van de detector ontbreekt. In dat geval wordt de klokimpuls niet doorgegeven en er verschijnt derhalve links géén geregenereerd signaal. Van nu af aan hebben de klokimpulsen nooit meer effect — ook niet na herstellen van de verbinding, daar de rondlopende impuls is uitgestorven. In de buis lopen geen impulsen meer.

Wanneer men nu echter van buitenaf aan de poort no. 1 even een signaal toevoert precies gelijktijdig met de klokimpuls, dan komt de laatste weer door en doet een acoustische impuls uitzenden, die weer blijft rondlopen en steeds geregenereerd wordt.

Wanneer we het lopen van een impuls als "1" en het ontbreken van een impuls als "0" interpreteren, kunnen we aldus één binaire eenheid onthouden. Dit zou een dure oplossing zijn. Nu is het evenwel zo, dat in één kwikbuis tegelijkertijd ca. 1000 binaire eenheden kunnen worden onthouden. Hiertoe werkt de klok met 1000 maal hogere frequentie (1 MHz). Tegelijk kunnen er nu 1000 impulstreintjes rondlopen, ieder 1 μsec na de vorige. Telkens als er weer één het eind bereikt, is er een klokimpuls aanwezig om hem door de eerste poort te helpen. Wil men een impuls op een bepaalde plaats in de cyclus „schrijven", dan moet men zorg dragen, op het juiste ogenblik (waarop de klokimpuls komt, die deze plaats bedient) een signaal aan de eerste poort toe te voeren. Wil men één signaal in de reeks doen verdwijnen, dan moet men op het juiste ogenblik de lus even onderbreken.

De capaciteit is, vergeleken bij het magnetisch geheugen veel geringer, slechts 1000 binaire eenheden oftewel 30 getallen met 10 decimalen nauwkeurigheid (binair gecodeerd). De opzoeksnelheid is veel groter, n.l. minder dan 1 millisec wachttijd.

3.2.3. *Het electrostatische geheugen.*

Het electrostatische geheugen maakt gebruik van electrostatische ladingen op halfgeleiders om de informatie vast te houden. Daar deze ladingen weglekken, moet evenals bij het supersone geheugen, regeneratie toegepast worden.

Bij de normale hoogspanning op een kathodestraalbuis van

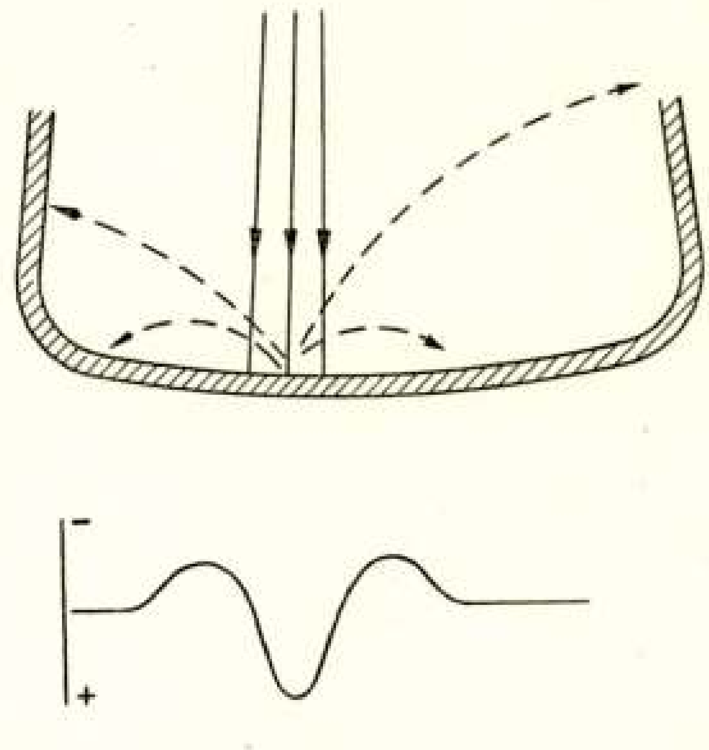

Fig. 3.
Potentiaalverdeling op het scherm van een electronenstraalbuis.

1000 à 1400 V vertoont het scherm een coëfficiënt van secundaire emissie, welke groter dan één is. Dit wil dus zeggen dat de straal, gericht op een bepaalde plaats, hier meer verlies aan secundaire electronen geeft, dan er primair op terecht komen. De vlek wordt dus positief opgeladen (fig. 3 ; in verband met de negatieve lading van electronen is positieve potentiaal naar beneden uitgezet). De secundaire electronen gaan gedeeltelijk naar de vangring en komen gedeeltelijk vlak in de buurt terecht. Daar de meeste zeer traag zijn verwekken ze geen nieuwe secundaire emissie, zodat rond de positieve vlek een negatief walletje ontstaat. De electronen van de straal worden in het „kuiltje" gezogen. Er ontstaat bij een zekere diepte van het potentiaalkuiltje een evenwicht, omdat een gedeelte van de trage secundaire electronen dan niet meer „uit het kuiltje kan komen".

We zullen afspreken dat een aldus gegraven kuiltje een "0" representeert (bijv. bij *a* in figuur 4). Moet er een "1" geschreven worden, dan wordt na het graven van de kuil bij *a* de straal naar *b* bewogen. Bij *b* wordt dan een nieuwe kuil gegraven. De vrijgemaakt langzame secundaire electronen worden gretig door het kuiltje *a* aangetrokken en zij „dempen" dit kuiltje. Na korte tijd is het kuiltje bij *a* verdwenen en is bij *b* een nieuw gegraven. Een positieve lading bij *a* stelt dus een "0" voor, één bij *b* een "1". Wordt de straal continu bewogen, uitgaande van *a*, dan wordt het kuiltje dus gelijktijdig meegenomen.

Wil dit systeem als geheugen bruikbaar zijn, dan moet het

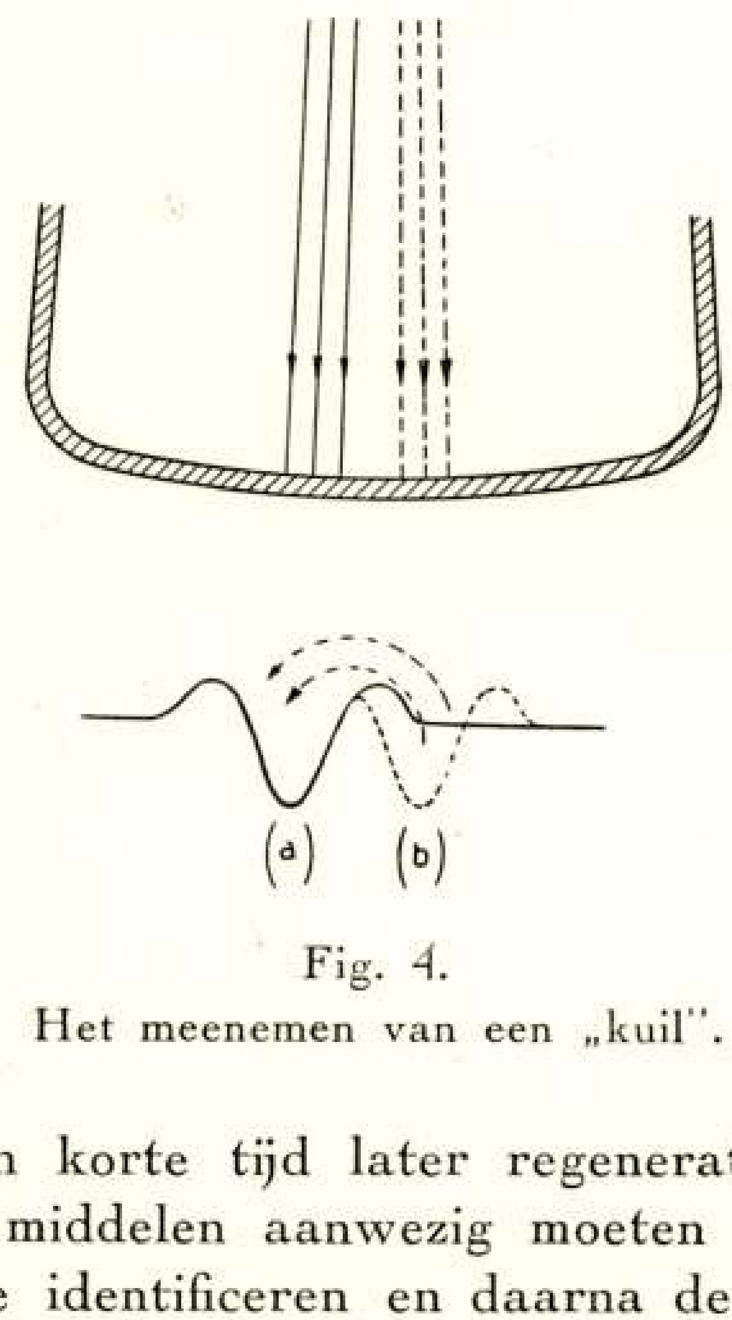

Fig. 4.
Het meenemen van een „kuil".

mogelijk zijn, een korte tijd later regeneratie toe te passen. D.w.z. dat dan middelen aanwezig moeten zijn, om eerst de oude toestand te identificeren en daarna de kuil op de goede plaats weer tot zijn oude diepte uit te graven. Hiertoe is aan de buitenzijde van de buis een metaalfolie of -gaas aangebracht, hetwelk met een versterker is verbonden (figuur 5).

Bij het regenereren wordt de straal weer op plaats *a* gericht en dan ontstoken. Wanneer er bij *a* een kuil aanwezig was ("0") dan verandert er niets aan de ladingstoestand van het scherm. Er wordt dus ook niets op het folie geïnfluenceerd. Was de oude kuil daarentegen bij *b*, dan wordt er bij het opnieuw bij *a* ontsteken aldaar óók een kuil gegraven, zodat de ladingstoestand wèl verandert. Dit manifesteert zich door een influentieverschijning op het folie, welk verschijnsel door de versterker op een behoorlijk niveau wordt gebracht.

Direct bij het opnieuw ontsteken van de straal bij *a* is dus aan de versterkeruitgang af te lezen hoe de oude toestand was. Het versterkersignaal wordt nu toegevoerd aan een poortcircuit, dat de helderheid van de vlek bestuurt. Wordt geen influentiesignaal ontvangen (oude toestand "0"), dan wordt door het poortcircuit de straal direct gedoofd. De kuil blijft nu bij *a* staan; alleen is door het weer opnieuw bestralen de diepte op de oorspronkelijke waarde geregenereerd. Wordt wel een influentiesignaal ontvangen (oude toestand "1"), dan wordt de straal eerst naar *b* bewogen en dáár pas gedoofd. De nieuw bij *a* gevormde kuil wordt hierbij naar *b* meegenomen en vormt hier, samen met de oude kuil, een nieuwe kuil van de oorspronkelijke diepte. Ook nu is dus na regeneratie de oude toestand volledig hersteld.

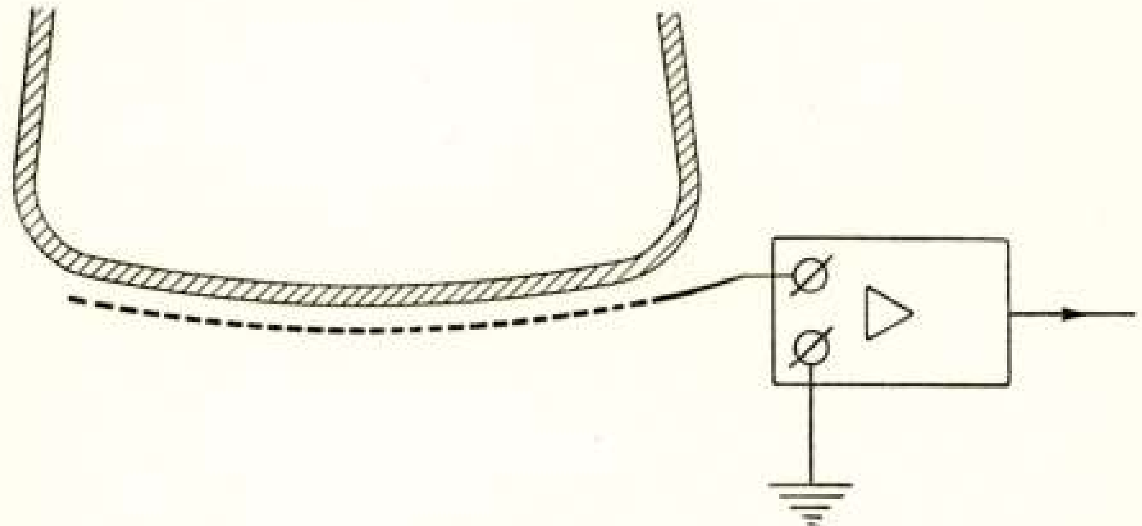

Fig. 5.
Capacitieve koppeling met het scherm van de electronenstraalbuis.

Voor het onthouden van één binaire eenheid is een ruimte nodig voor het onderbrengen van 2 vlekken *a* en *b*, tezamen enkele mm². Men kan op een buis van bijv. 15 cm diameter tot 4000 paren a/b in een rooster gerangschikt onderbrengen. Ieder paar a/b moet zover van de omringende paren afliggen, dat er geen „overspreken" optreedt. Voor het regenereren, aflezen en schrijven worden de paren gescand met een systeem dat enige gelijkenis met de aftasting in een televisiesysteem vertoont. Alleen is de aftasting hier in beide dimensies sprongsgewijs.

Opgemerkt moet nog worden, dat het opnieuw schrijven bij de regeneratie eerst geschiedt als het eventuele influentiesignaal al ontvangen is. Men kan hier gebruik van maken door eerst af te lezen en hierna (in dezelfde regeneratieperiode!) andere informatie neer te schrijven. Deze mogelijkheid is trouwens inhaerent aan alle regeneratiesystemen, dus ook aan het supersone.

In tegenstelling tot het supersone geheugen, heeft het electrostatische geheugen geen gedwongen gelijkheid van regeneratiecyclusduur en opzoektijd. Men kan bij het laatste de straal willekeurig in het geheugenpatroon laten springen en aldus de opzoektijd tot bijv. 30 μ sec. terugbrengen! Alleen moet er voor gezorgd worden, alle elementen te regenereren binnen bijv. 0,1 sec.

4. *Het rekenkundig orgaan.*

In het rekenkundig orgaan worden alle bewerkingen uitgevoerd, teruggebracht tot de eenvoudige optelbewerking. In verreweg de meeste gevallen wordt in het binaire systeem gewerkt. Dit zullen we daarom hier als basis aannemen.

Men kan onderscheid maken tussen serie- en paralleloptellers. Bij de eerste soort worden de getallen, die opgeteld moeten worden, ieder voorgesteld door een serie impulsen die achter elkaar op één draad aankomen. Een impuls in de serie stelt bij. een 1 voor, terwijl het ontbreken van een impuls op een bepaalde plaats in de serie een 0 voorstelt. De opteller verwerkt dus achter elkaar de verschillende „binalen" van de getallen. Eerst worden de eenheden opgeteld en een evt. overdracht onthouden. Vervolgens worden de tweetallen met een evt. overdrachtséén opgeteld, dan de viertallen met een evt. overdracht, enz. Eén opteleenheid kan dus twee getallen van willekeurige lengte bij elkaar optellen.

Bij paralleloptellers worden de getallen voorgesteld door impulsen op even zovele draden als de getallen binalen bevatten. De optelling geschiedt dan voor alle cijfers ongeveer gelijktijdig. Dit kost dus een opteleenheid voor iedere binaire plaats. Tegenover deze meerdere kosten staat echter een belangrijke winst in snelheid. Welk type gekozen wordt, is afhankelijk van de grootte van het project en de aard van het geheugen.

Een ander onderscheid in de typen van optellers is die in optellers welke gebruik maken van marginale effecten en dezulke welke dit niet doen. Niet-marginaal noemt men een effect wanneer men alleen maar gebruik maakt van het al of niet aanwezig zijn van een eigenschap. Speelt echter ook de mate waarin deze eigenschap aanwezig is nog een rol, dan heet het effect marginaal. Een voorbeeld van marginale instelling vindt men bij het relais met twee ankers. Bij zwakke bekrachtigingsstroom trekt slechts één anker aan, bij sterkere stroom óók het andere.

We zullen vrij willekeurig twee schakelingen voor optellers ter bespreking uitkiezen.

4. 1. *Voorbeeld van een marginale parallel-opteller.*

In figuur 6 is het blokschema van een parallelopteller gegeven. X_1 t/m X_n en Y_1 t/m Y_n geven de binalen der twee op te tellen getallen weer, te beginnen met de laagste binalen.

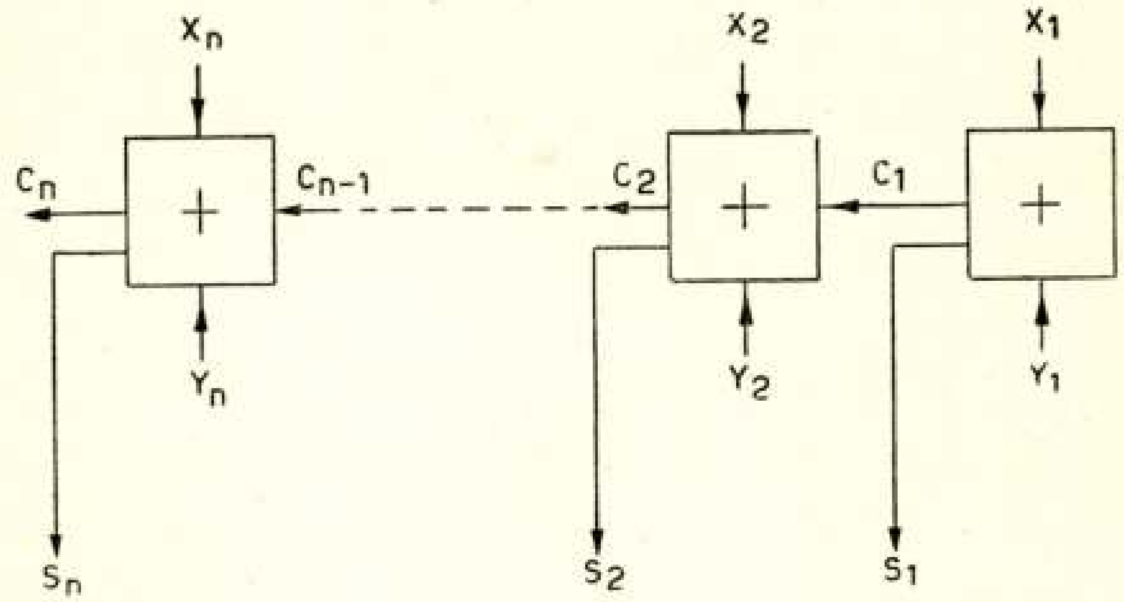

Fig. 6.
Principiële opbouw van een parallelopteller.

De meest rechtse eenheid vormt uit X_1 en Y_1 het laagste binaal S_1 van de som en een eventuele overdracht C_1. De volgende eenheid vormt uit X_2, Y_2 en C_1 de op een na laagste binaal S_2 van de som en een eventuele overdracht C_2, enz.

De conclusies, die de i-de eenheid uit de gegevens X_i, Y_i en C_{i-1} moet trekken, zijn in tabel II weergegeven. S_i verkrijgt men eenvoudig, door te kijken of de som der cijfers X_i Y_i en

TABEL II.

$X_i + Y_i + C_{i-1}$	S_i	C_i
0	0	0
1	1	0
2	0	1
3	1	1

C_{i-1} (die alle 0 of 1 kunnen zijn) even ($S_i = 0$) of oneven ($S_i = 1$) is. De nieuwe overdracht ontstaat alleen wanneer minstens twee der drie componenten 1 zijn, dus wanneer $X_i + Y_i + C_{i-1} = 2$ of 3.

In figuur 7 is het schema van de i-de eenheid van deze opteller getekend. Op de klemmen X_i, Y_i en C_{i-1} komen spanningen, welke hoog zijn (220 V), wanneer de betreffende cijfers 1 zijn. Voor een 0 is de spanning er echter laag (20 V).

De drie ingangen zijn door een weerstandsnetwerkje verbonden met het rooster van de buis B_1. De koppelweerstanden van X_i, Y_i en C_{i-1} naar dit rooster zijn gelijk. Hierdoor is de

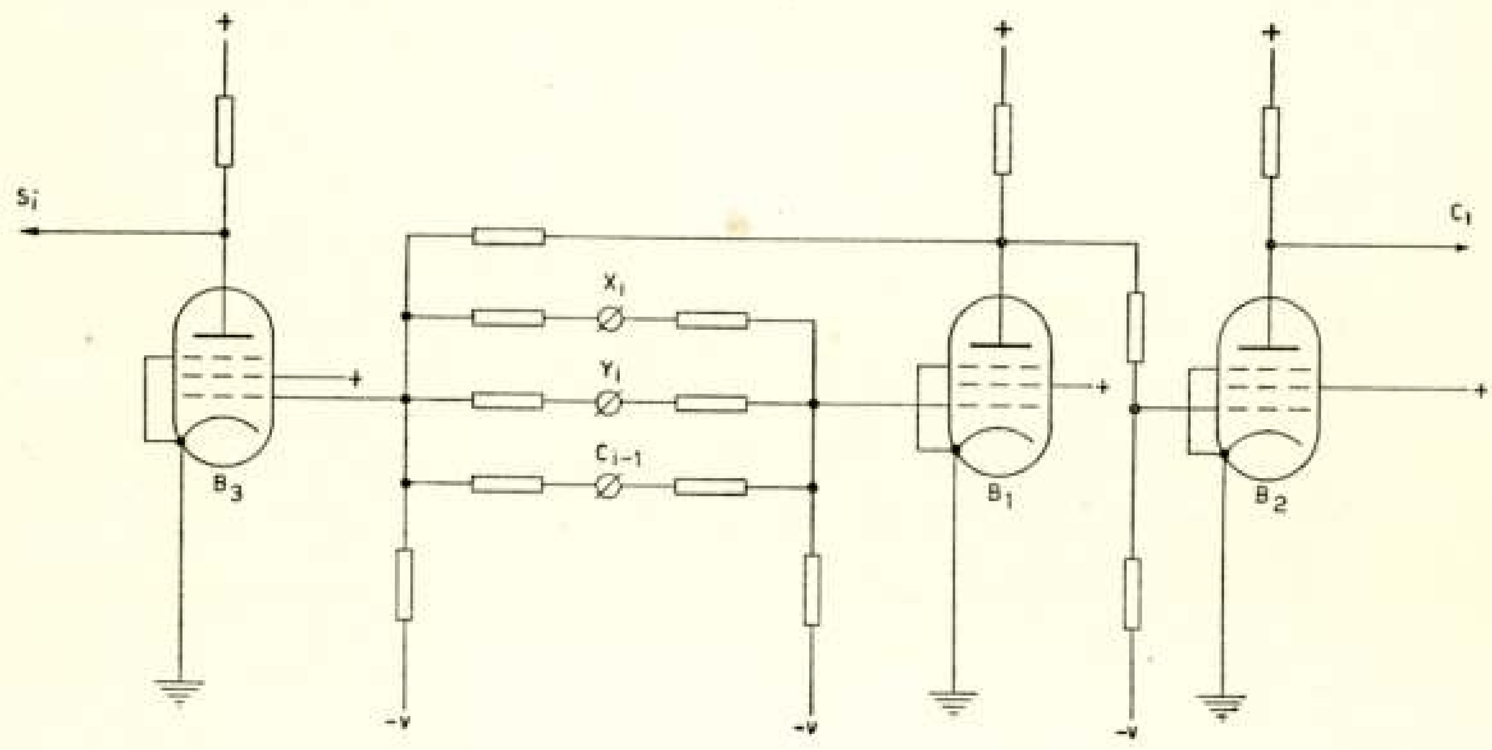

Fig. 7.
Opteleenheid van een parallelopteller.

roosterspanning lineair afhankelijk van de som der spanningen op X_i, Y_i en C_{i-1}, dus ook van de som der binalen $X_i + Y_i + C_{i-1}$. De pentode B_1 is nu zodanig ingesteld dat zij geheel dicht is als $X_i + Y_i + C_{i-1} = 0$ of 1. Is deze laatste som echter 2 of 3 dan gaat B_1 geheel open. De anodeweerstand van B_1 is zo hoog gekozen, dat de anode in het laatste geval „bottomt", d.w.z. vrijwel onafhankelijk van de waarde van de roosterspanning is de anodespanning dan 20 à 30 V. De anodespanning van B_1 geeft dus aan, of een nieuwe overdracht gevormd moet worden. En wel neemt de anode van B_1 een *lage* spanning aan, als er een overdracht is. In dit geval moet er echter aan de ingang C_i van de $(i + 1)$e opteleenheid juist een *hoge* spanning verschijnen. Hierom wordt tussen de anode van B_1 en het punt C_i nog de omkeerbuis B_2 aangebracht.

De buis B_3 dient voor het vormen van de som. De schakeling gelijkt op die van de overdrachtsbuis. Wanneer

X_i, Y_i en C_{i-1} alle 0 zijn (lage spanning) dan is ook B_3 dicht. B_3 is echter iets „liberaler" ingesteld dan B_1. Zodra slechts één der ingangen een hoge spanning aanneemt, gaat B_3 open, hetgeen aanduidt dat de som S_i één is.

Hebben twee der punten X_i, Y_i en C_i een hoge spanning ($X_i + Y_i + C_{i-1} = 2$), dan moet volgens tabel II S_i weer nul zijn, en derhalve buis B_3 weer dicht. Was de somschakeling eenvoudig gelijk aan de overdrachtsvormende schakeling, dan zou B_3, na open gegaan te zijn, bij verdere spanningsverhoging open blijven. Nu is echter het rooster van B_3 tevens via een weerstand verbonden met de anode van B_1. Wanneer $X_i + Y_i + C_{i-1}$ twee is, gaat de overdrachtsbuis B_1 open, waardoor de spanning van genoemde anode daalt. Deze spanningsdaling werkt via de weerstandskoppeling op het rooster van B_3. De koppelweerstand is nu zodanig gekozen dat de invloed van de spanningsstijgingen aan twee der ingangen juist gecompenseerd wordt. De buis B_3 is dan weer dicht, hetgeen klopt met $S_i = 0$.

Hebben tenslotte alle drie de ingangen een hoge spanning, dan is de invloed van de anodespanningsdaling van B_1 niet meer voldoende om de invloed der drie hoge ingangsspanningen op het rooster van B_3 te compenseren en gaat B_3 derhalve open. Dit stemt overeen met de juiste waarde $S_1 = 1$.

4. 2. *Niet marginale serieopteller.*

In figuur 8 is schematisch een voorbeeld van een niet-marginale serieopteller weergegeven. Op de ingangen X en Y komen de twee op te tellen getallen elk als een serie impulsen aan. De eerst aankomende binalen zijn hierbij de binalen die het *minst significant* zijn, d.w.z. die bij gewone schrijfwijze der getallen het meest rechts verschijnen. De optelling wordt ontleed in bewerkingen, welke in twee zog. „halve optellers" ($\frac{1}{2}+$) worden verricht.

De eerste halve opteller vormt uit X en Y de zog. pseudosom S' en de eerste overdracht C_1. De pseudosom is de som van de cijfers van X en Y zonder inachtneming van een evt. uit vorige cijfers gevormde overdracht. S' is dus 0 als de som van overeenkomstige binalen van X en Y 0 of 2 is, en 1 als deze som 1 is (zie tabel III). C_1 is de uit deze binalen ontstaande overdracht, welke dus slechts 1 is, als beide binalen 1 zijn.

Nu worden in de tweede halve opteller S^1 en C_1 weer samengeteld. Hierbij moet rekening gehouden worden met het feit, dat de binaal C_1 die op het zelfde ogenblik als een binaal van S' ontstaat, de dubbele waarde bezit, dus moet worden

TABEL III.

<table>
<tr><th>X</th><th>Y</th><th>S^1</th><th>C_1</th></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>1</td><td>0</td><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">0</td></tr>
<tr><td>0</td><td>1</td></tr>
<tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr>
</table>

opgeteld bij de *volgende* binaal van S'. Om die reden wordt C_1, alvorens aan de tweede halve opteller te worden toegevoerd, met één impulstijd vertraagd. Deze impulsvertraging geschiedt in een vakje, gemerkt 1.

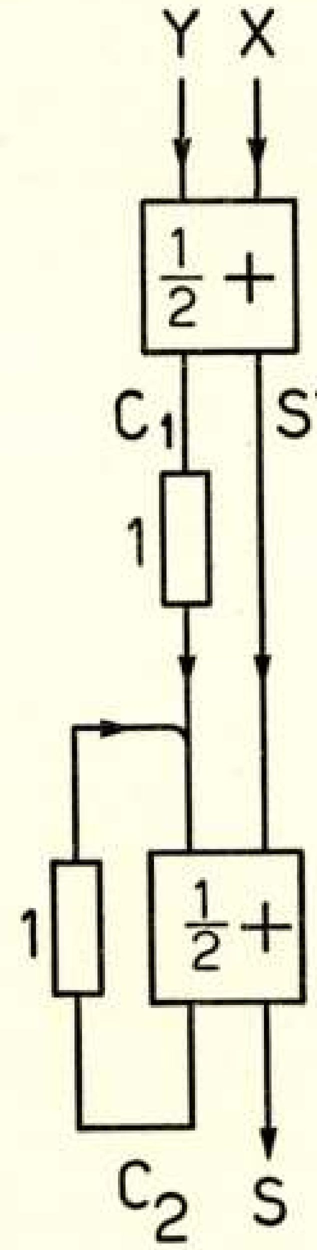

Fig. 8.
Vorming van een serieopteller uit twee halve optellers.

voerd, met één impulstijd vertraagd. Deze impulsvertraging geschiedt in een vakje, gemerkt 1.

Bij de optelling van C_1 (vertraagd) en S^1 kan weer een nieuwe overdracht C_2 ontstaan. Daar ook deze weer dubbele waarde heeft, moet deze één impulstijd vertraagd worden, alvorens haar op te tellen. Na deze vertraging wordt C_2 toegevoerd aan *dezelfde* ingang van de tweede halve opteller waar de vertraagde C_1 aan wordt toegevoerd. Daar op de betrokken ingang van de halve opteller slechts één impuls gelijktijdig mag komen, werkt de gehele schakeling slechts correct, als C_1 (vertraagd) en C_2 (vertraagd) niet gelijktijdig een impuls kunnen opleveren,

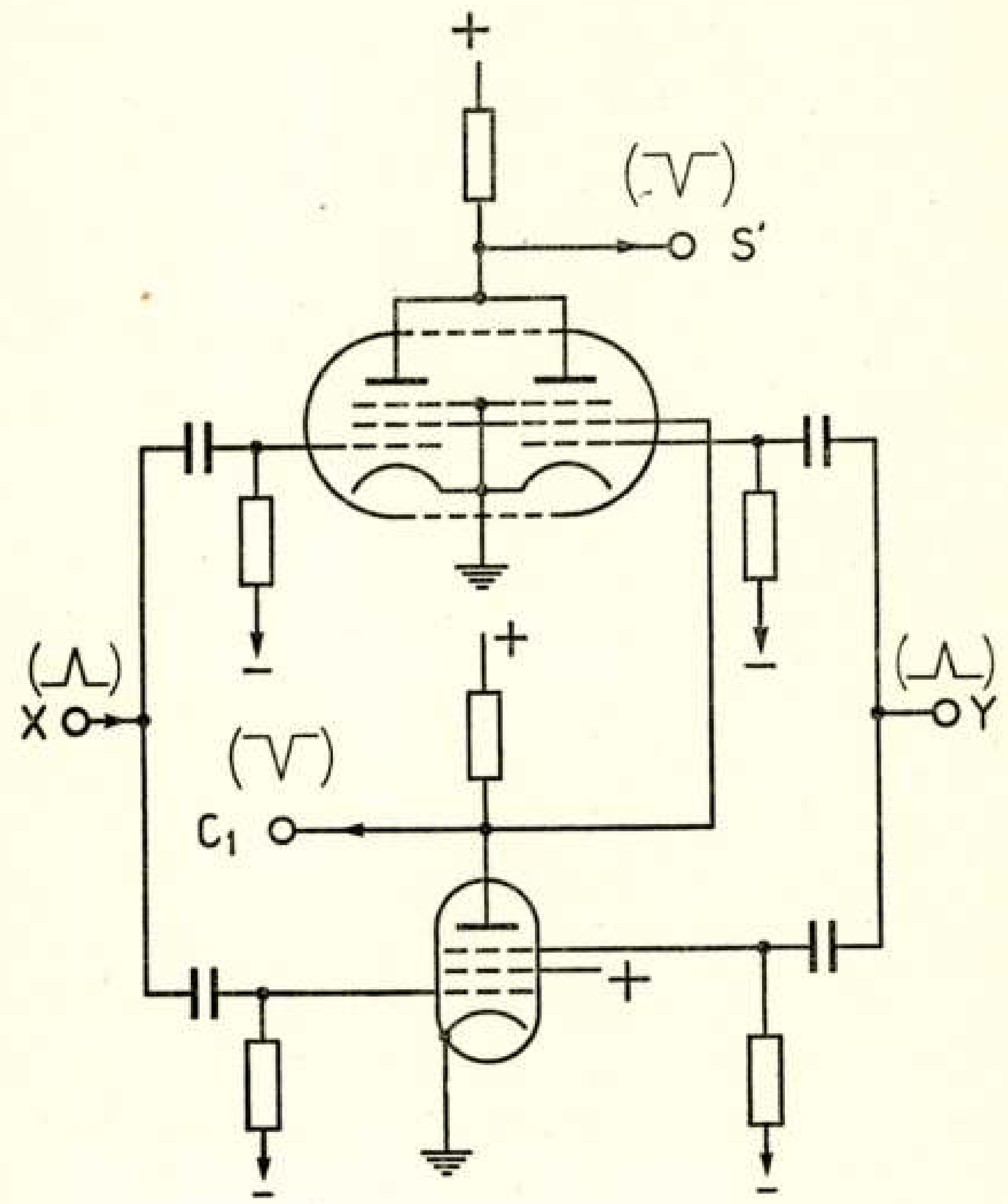

Fig. 9.
Halve opteller.

dus niet tegelijk 1 zijn. Dit is bewezen, als we aantonen dat C_1 en C_2 (beide onvertraagd) niet gelijktijdig 1 zijn. Wanneer C_1 één is, zijn X en Y op dat ogenblik *beide* 1. Derhalve is dan S' nul. De tweede halve opteller krijgt dan op te tellen nul en een onbekend cijfer (n.l. de vorige binaal van C_1 en/of C_2). Het resultaat van C_2 is dan echter per se nul. Wanneer C_1 één is, is dus C_2 nul. Ze zijn derhalve nooit gelijktijdig 1.

In figuur 9 is een uitvoeringsvoorbeeld van een halve opteller gegeven. De onderste buis is normaal stroomloos daar zowel stuurrooster als remrooster een negatieve spanning hebben. Om de buis stroomvoerend te maken moeten beide spanningen tegelijk stijgen. Dit is slechts het geval als op X en Y *gelijktijdig* een positieve impuls komt (coïncidentieschakeling). Hierop antwoordt de buis dan met een negatieve impuls aan de anode, welke impuls de overdracht C_1 voorstelt.

Van de dubbelpentode zijn de beide helften normaal stroomloos. Zodra aan één der punten X of Y een positieve impuls wordt toegevoerd, trekt één der helften stroom, waardoor het punt S' een negatieve spanningsimpuls vertoont. Komt op X of Y gelijktijdig een impuls, dan zouden beide helften stroom voeren. Doordat de schermroosters echter met de anode van de enkelpentode verbonden zijn, en de anode in dit geval stroom trekt, daalt de schermroosterspanning van de dubbelpentode zo zeer, dat beide helften stroomloos blijven. De impuls op S' verschijnt dus dan, en alléén dan, wanneer één der punten X of Y een impuls krijgt toegevoerd en de andere niet. De impulsserie op S' is dus een goede representant van de pseudosom S'.

5. *Het besturingsorgaan.*

De besturing kan worden onderscheiden in de interne en externe besturing. De elementaire bewerkingen die het rekenkundig orgaan van huis uit kent, zijn optelling en ook verschuiving van resultaten. De bewerkingen, die de machine zonder uitwendige hulp van het programma moet kunnen uitvoeren, omvatten echter ook vermenigvuldigen, delen, aftrekken, e.d. De interne besturing is nu het organisme, dat bij het ontvangen van een bepaalde rekenopdracht de opteller(s) en schuiforganen vliegensvlug ombouwt tot een vermenigvuldiger, deler, aftrekker e.d. Als zodanig kunnen we deze interne besturing tot het rekenkundig orgaan rekenen.

De externe besturing is het gedeelte, dat de orders steeds ontvangt en hieruit besluit wat de machine verder moet gaan doen. Dit kan zijn het extraheren van getallen of orders uit het geheugen, het weder opbergen ervan of het verrichten van één of andere rekenkundige bewerking.

De opbouw van de externe besturing is in sterke mate afhankelijk van de bouw der overige organen. Serie- of parallel optellers, serie- of parallel werking der geheugens, de werksnelheid e.d. spelen hierin een rol. Bovendien kan men de programmering nog op verschillende wijze inrichten, hetgeen ook weer van invloed is op de opbouw van de besturing. Dit laatste punt zullen we hier even toelichten.

Stel, men wil door de machine een vermenigvuldiging laten verrichten als onderdeel van een groter programma. Bijv. moet het getal, opgeborgen in vakje u, vermenigvuldigd worden met dat in vakje v, waarna het resultaat op plaats w moet worden opgeborgen. Men kan nu alle aanwijzingen, nodig om deze bewerkingen te kunnen uitvoeren, onderbrengen in één enkele order. Deze order bevat naast een operatief deel (dat de gecodeerde informatie „vermenigvuldigen" inhoudt) drie numerieke delen, n.l. de rangnummers van de „adressen" u, v en w in het geheugen. We noemen dit systeem een *drie-adressen code*.

Men kan evenwel de gehele bewerking ook in drie gedeelten aangeven, n.l.

a. breng het getal uit geheugenvakje u naar het vermenigvuldigtalorgaan;
b. vermenigvuldig dit met het getal in vakje v;
c. breng het product naar geheugenplaats w.

In plaats van één order hebben we nu drie orders nodig, die echter elk slechts een enkelvoudig numeriek deel bevatten (*één-adrescode*).

Het voordeel van een drie-adrescode is, dat de totale geheugenruimte, benodigd voor het onderbrengen van de orders, geringer is. Een nadeel is echter, dat de opbouw van de besturing ingewikkelder wordt.

De veelheid der mogelijke uitvoeringsvormen van het besturingsorgaan maakt een algemene beschrijving hier ondoenlijk. Als voorbeeld zullen we schematisch de opbouw van de externe besturing van de EDSAC [1]) bespreken.

5.1 *Externe besturing van de EDSAC.*

In fig. 10 is de externe besturing van de EDSAC in blokschemavorm weergegeven. Alvorens dit te kunnen bespreken, dient een en ander over de algemene opbouw van de EDSAC te worden gezegd. [2])

De EDSAC is een machine, waarin getallen en orders in serievorm voorgesteld worden. Als geheugen dienen 32 kwik-

[1]) Electronic Delay Storage Automatic Computer, Cambridge (Eng.)

[2]) In het volgende is de EDSAC iets eenvoudiger voorgesteld dan zij in werkelijkheid is. Men houde hier rekening mee bij eventueel vergelijken van originele literatuur.

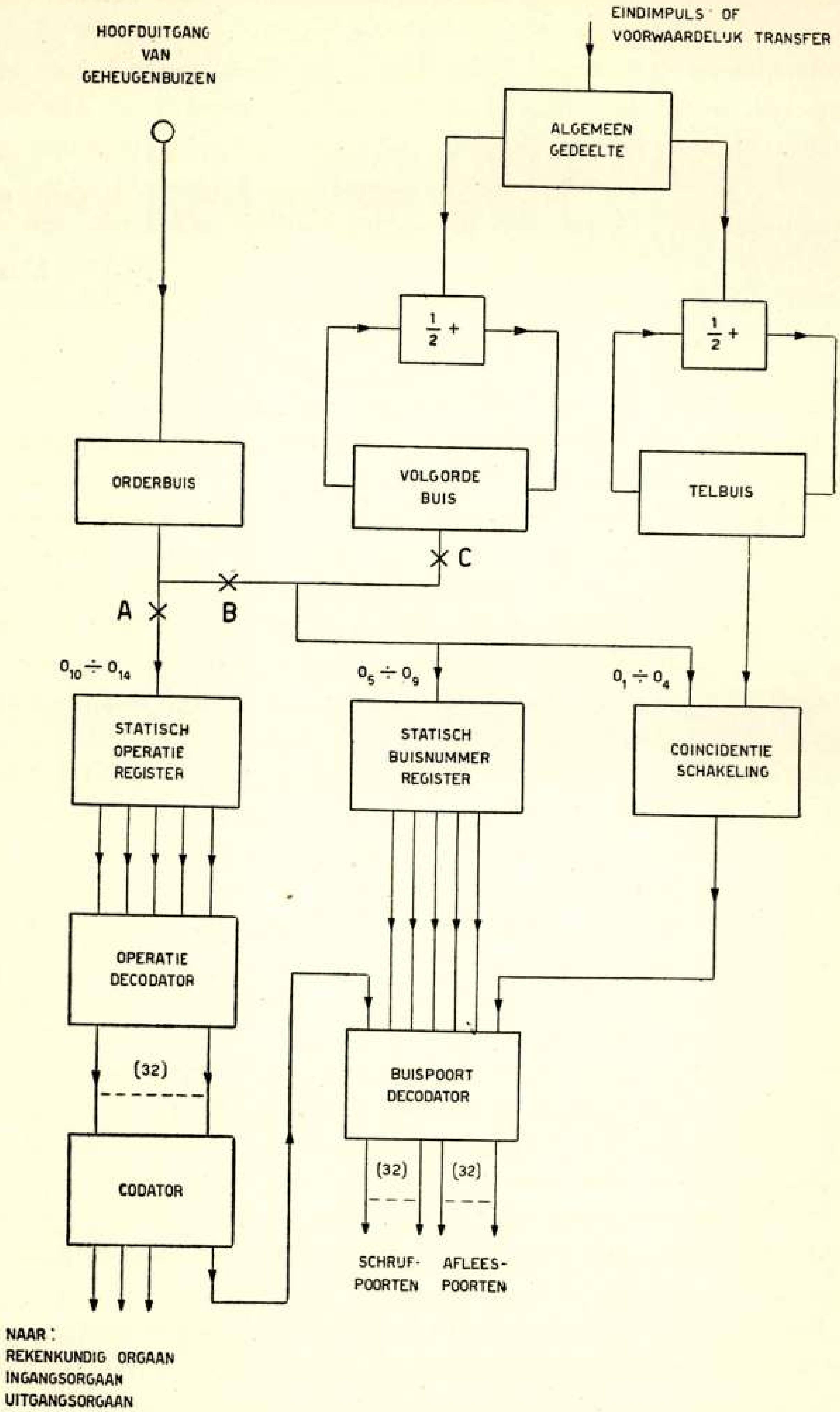

Fig. 10.
Externe besturing van de EDSAC.

buizen (verder kortweg buizen genoemd) elk met een capaciteit van 16 getallen (of orders) elk van een lengte van 34 binalen. De machine werkt met één-adres code. Een order bevat binalen aan welke de volgende betekenis toekomt:

o_1 t/m o_9 numeriek gedeelte	o_5 t/m o_9: bepalen, in welke der 32 geheugenbuizen de bedoelde geheugenplaats voorkomt; o_1 t/m o_4: bepalen, welk der 16 vakjes in deze buis bedoeld is;
o_{10} t/m o_{14} operatief gedeelte	definiëren één van 32 mogelijke bewerkingen.

De orders worden als regel in opeenvolgende plaatsen in het geheugen opgeborgen.

Behalve de geheugenbuizen bevat de EDSAC nog een aantal korte buizen ter lengte van één getal. De voornaamste zijn: de orderbuis, de volgordebuis en de telbuis. In de regeneratiestroomlopen van de laatste twee zijn halve optellers opgenomen (zie § 4.2.). Hiermee is het mogelijk, tijdens één regeneratie-periode door het algemeen besturingscircuit één op te doen tellen bij de getalinhoud van deze buizen (n.l. door op het geschikte ogenblik één impuls aan de halve opteller toe te dienen).

De telbuis telt één op in *elk* van zijn perioden, dat is dus steeds wanneer de inhoud van de *geheugen*buizen (16 x zo lang) één getal verder is geschoven. De telbuis telt aldus de 16 getallen in de geheugenbuizen af.

De volgordebuis bevat gegevens, waardoor de plaats van de uit te voeren order bepaald is. Zodra het algemeen besturingscircuit van het rekenkundig orgaan bericht ontvangt, dat de vorige opdracht uitgevoerd is (eindimpuls), wordt bij de inhoud van de volgordebuis één opgeteld, zodat de laatste nu de volgende uit te voeren order aanwijst.

De orderbuis dient om de uit te voeren order tijdelijk vast te houden. De order is hierin in serievorm aanwezig. Door het openen van de poorten A en B komt de order terecht in het statisch operatieregister, het statisch buisnummerregister en de coincidentieschakeling. In de eerste twee worden de gedeelten o_{10} t/m o_{14} resp. o_5 t/m o_9 in parallelvorm omgezet en aldus vastgehouden.

Het statisch operatieregister geeft op 5 draden 5 signaalspanningen af (overeenkomend met o_{10} t/m o_{14}) aan een decodator.

Deze decodator combineert deze vijf signalen tot één signaalspanning geplaatst op één van 32 ($= 2^5$) draden, voerend naar de codator. Aldus wordt één van 32 mogelijke operaties uitgekozen.

Voor iedere operatie moeten in het algemeen een complex van handelingen worden verricht in het rekenkundig orgaan en/of ingangs- en uitgangsorganen. De codator dient nu, om bij het ontvangen van één bepaalde operatieaanwijzing alle hiertoe behorende handelingen uit te voeren of voor te bereiden.

In het statisch buisnummerregister wordt de aanwijzing van de geheugenbuis uit het adres, welke aanwijzing door o_5 t/m o_9 geschiedt, in parallelvorm vastgelegd. Deze signalen worden weer aan een decodator toegevoerd, die weer aan de hand van deze 5 onafhankelijke signalen één der 32 geheugenbuizen aanwijst. Deze aanwijzing is echter nog niet voldoende. Immers kan de operatie medebrengen ofwel het extraheren van een getal uit het geheugen, ofwel het opbergen van een getal. Er moet dus, behalve het nummer van de geheugenbuis, ook nog gespecificeerd worden of de lees- of de schrijfpoort van deze buis bediend moet worden. De kennis hieromtrent is vervat in het operatief gedeelte van de order. Zij wordt door de codator meegedeeld aan de buispoortdecodator. De laatste is nu in staat, de juiste lees- of schrijfpoort aan te wijzen.

Deze lees- of schrijfpoort moet evenwel niet à bout portant worden geopend. Immers moet gewacht worden tot het juiste der 16 geheugenvakjes in de geheugenbuis is aangekomen. Om dit uit te zoeken, dient de coincidentieschakeling. Zoals we reeds zagen telt de telbuis cyclisch van 1 tot 16 en telt zo de 16 vakjes in de geheugenbuizen af. Bij iedere periode van de telbuis zendt deze dit getal (dat dus steeds verandert van 0, 1, 2, ... t/m 16 en weer naar 0) in serievorm naar de coincidentieschakeling. Deze schakeling ontvangt echter ook in serievorm de binalen o_1 t/m o_4 van het numerieke deel van de order. Zodra beide series gelijk zijn (dus coincidentie der impulsen optreedt) besluit de coincidentieschakeling, dat de goede plaats in het geheugen bereikt is en geeft dit door aan de buispoortdecodator. Hierop opent de laatste de reeds voorgemarkeerde lees- of schrijfpoort en wel juist gedurende de duur van één getal. Aan de juiste geheugenbuis wordt dus gelegenheid gegeven, op de juiste plaats in zijn cyclus één getal af te geven of op te nemen.

Ingeval het een afgelezen getal betreft, weet het rekenkundig orgaan door de signalen van de codator, wat het met dit ontvangen getal moet uitrichten. Betreft het een in het geheugen op te bergen getal, dan zijn de ev. rekenkundige bewerkingen al aan de hand van de codatorgegevens uitgevoerd vóór de betreffende schrijfpoort wordt geopend.

Wanneer de order nu geheel is uitgevoerd, volgt de tweede fase, n.l. het halen van een nieuwe order uit het geheugen. Hiertoe wordt door het algemeen besturingscircuit eerst één opgeteld bij de inhoud van de volgordebuis, waarna deze de plaatsaanduiding van de volgende order bevat.

Het halen van een order is in wezen echter vrijwel dezelfde bewerking als het halen van een getal. De plaats waar een *getal* gehaald moet worden, wordt aangegeven door de orderbuis. De plaats van de nieuwe *order* wordt echter aangegeven door de volgordebuis. Het halen van de order geschiedt dus op dezelfde wijze als hierboven voor het extraheren van een getal is beschreven, met dit verschil evenwel dat thans de volgordebuis de functie van de orderbuis overneemt. In overeenstemming hiermee zijn de poorten *A* en *B* thans dicht en wordt poort *C* geopend.

Daar de operatie hier van te voren bekend is, n.l. transport van geheugenvakje naar orderbuis, behoeven het statische operatieregister, de operatiedecodator en de codator niet te werken. Hierom wordt dit gedeelte door poort *A* buiten werking gezet.

6. *Systeem van orders van de EDSAC.*

Tenslotte doen we thans nog volgen het stelsel van 15 mogelijke orders, zoals dit in de EDSAC gebruikt wordt:

Lettercode	*Operatie*
$A(n)$	getal in geheugenpositie n optellen in „accumulator" (= somtelwerk)
$S(n)$	idem, aftrekken
$M(n)$	getal uit geheugenpositie n brengen naar vermenigvuldigerorgaan
$C(m)$	collationneren van getal uit geheugenpositie m met getal in accumulator (zie beneden)
$N(m)$	getal uit geheugenpositie m met getal in vermenigvuldigerorgaan vermenigvuldigen en product in accumulator bijtellen
$N'(m)$	idem, maar met aftrekken
$T(n)$	resultaat uit accumulator in geheugenpositie n opbergen met „schoonmaken" van accumulator

$T'(n)$	idem zonder schoonmaken
$I(n)$	volgende rij gaatjes van invoer-telexband naar geheugenpositie n brengen
$O(n)$	eerste 4 binalen van getal in positie n ponsen in uitvoer-telexband
$D(n)$	voorwaardelijk transfer: indien getal in accumulator < 0 : volgende order nemen; indien getal in accumulator ≥ 0 : nieuwe order halen uit geheugenpositie n
$R(n)$	getal in accumulator n binalen naar rechts verschuiven
$L(n)$	idem naar links
$Z(1)$	resultaat in accumulator afronden op 34 binalen
$Z(3)$	machine stoppen en alarm geven

De betekenis van de meeste van deze opdrachten is duidelijk We merken er nog het volgende bij op. Onder collationnering wordt verstaan het binaal voor binaal vergelijken van twee getallen. Overal waar deze overeenstemmen wordt een 0 geschreven, waar ze verschillen 1. Men kan dus collationneren door op te tellen zonder doorgeven van overdrachten, bijv. :

eerste getal	01010
tweede getal	11001
collatie resultaat	10011

Bij de elementaire rekenbewerkingen wordt de collatie evenwel nooit gebruikt.

De order „voorwaardelijk transfer" is ingevoerd om de machine een mogelijkheid te geven tot het nemen van beslissingen. Het nut ervan kan het best aan het volgende voorbeeld worden verduidelijkt.

Bij het programmeren maakt men veelvuldig gebruik van iteratieve processen. Deze betekenen voor de machine een gedurende een aantal malen achtereen uitvoeren van hetzelfde stukje van het programma. Nu kan het zijn, dat men tevoren reeds weet, hoeveel maal deze cyclus herhaald moet worden om de gewenste nauwkeurigheid te geven. Meestal echter zal dit van omstandigheden afhangen, die men van te voren niet kan voorzien, doch die door tussenresultaten worden bepaald. In zo'n geval laat men de machine na iedere cyclus zelf onderzoeken of de gewenste graad van nauwkeurigheid al bereikt is.

Stel, men heeft een iteratief proces ter bepaling van een grootheid X, waarbij X van de grote kant benaderd wordt; voor de opeenvolgende iteratieresultaten geldt dus:

$$X_0 > X_1 > X_2 > - - - X > X_{i+1} > - - - X$$

Na iedere iteratie cyclus trekt men het laatste resultaat (bijv. X_{i+1}) af van het voorlaatste: $X_i - X_{i+1}$. Men stelt vast, dat de machine de iteratie moet herhalen, net zolang tot het verschil kleiner dan een zekere tolerantiewaarde $\triangle$ is geworden.

Men vormt dus in de accumulator na iedere iteratie $(X_i - X_{i+1}) - \triangle$. Zodra deze uitdrukking negatief wordt, is de gewenste graad van nauwkeurigheid bereikt. Plaatst men nu na het vormen van dit verschil in de reeks der opdrachten de opdracht $D(n)$, waarbij n de geheugenpositie van de *eerste* opdracht van de iteratie aangeeft, dan heeft men zijn doel bereikt. Immers aan het eind van de iteratie wordt eerst $(X_i - X_{i+1}) - \triangle$ gevormd, waarna de order $D(n)$ wordt aangetroffen.

Wanneer $(X_i - X_{i+1}) - \triangle$ in de accumulator $\geqq 0$ blijkt te zijn, gaat de machine terug naar de order in plaats n, d.i. begint de iteratie opnieuw. Is daarentegen deze uitdrukking negatief dan wordt de opdracht genomen, onmiddellijk volgend op $D(n)$. De machine heeft de iteratielus dan dus verlaten en kan verder gaan.

Het voorwaardelijk transfer is één der machtigste hulpmiddelen voor de programmerende wiskundige, die hiermee in staat is, de machine gecompliceerde meervoudig itererende processen te doen uitvoeren.

Literatuur

Algemeen.

Hartree, D. R.: Calculating machines.
Recent and prospective developments, Cambridge 1947

Eniac.

Burks, A. W.: Electronic computing circuits of the ENIAC, Proc. Inst. Radio Engrs **35**, (1947), 756.

Magnetisch geheugen.

Booth, A. D.: A magnetic digital storage system, Electronic Eng. ing, **21** (1949), 234

Supersoon geheugen.

Wilkes, M. V. and Renwick, W.: An ultrasonic memory unit for the EDSAC, Electronic Eng. ing. **20**, (1948), 208

Electrostatisch geheugen.

Williams, F. C. and Kilburn, T.: A storage system for use with binary-digital computing machines, Inst. Elec. Engrs, paper 763, 1948.

Tijdschrift van het Nederlands Radiogenootschap

Kwartskristallen zonder boventonen

door J. J. Vormer

SUMMARY

A description is given of an electrode-arrangement, through which it is possible to suppress overtones of the Y'-wave in X-cuts to any amount.

Het is algemeen bekend, dat men in sommige typen van piëzo-electrische elementen boventonen kan opwekken; voor verschillende doeleinden wordt van dit feit een nuttig gebruik gemaakt. Zo kan men b.v. in een BT-snede boventonen opwekken van de schuivingstrilling die samenhangt met de dikte van het plaatje. Op deze wijze is het, bij toepassing van een daartoe geschikte generatorschakeling, mogelijk direct zeer hoge frequenties te verkrijgen.

Ook voor toepassing in filters maakt men soms gebruik van kristalplaatjes, die in een boventoon aangestoten worden. Men past in dit geval veelal om de X-as gedraaide X-sneden toe, waarin de Y'-golf opgewekt wordt. Teneinde de gewenste trillingswijze te verkrijgen is het dan nodig de electroden op een speciale manier op het plaatje aan te brengen. Het doel is daarbij niet zozeer het opwekken van een hoge frequentie, dan wel het bereiken van een lage impedantie; deze laatste grootheid is n.l. omgekeerd evenredig met het ranggetal van de gebruikte boventoon.[1])

Voor allerlei andere toepassingen zijn boventonen vaak alleen maar hinderlijk; ze zijn dan even ongewenst als nevenfrequenties in de omgeving van de hoofdresonantie. Dit geval doet zich o.a. voor bij resonatoren van ongeveer 150 kHz, die gebruikt worden voor tijd- of afstandmarkering in sommige typen radarontvangers. Hierbij zijn zowel nevenresonanties in de omgeving van de

[1]) Zie: „Filter kristallen met lage zelfinductie'' J. J. Vormer. Tijdschr. Ned. Radio Gen. XII. 1, 15 Januari 1947 pp. 1—6.

hoofdresonantie ongewenst, alsook boventonen van deze hoofdresonantie.

Nevenfrequenties kan men in dit geval ontgaan door voor het plaatje te kiezen een om de X-as gedraaide X-snede, waarin de Y'-golf opgewekt wordt en waarbij men de verhouding van breedte tot lengte voldoende klein kiest, bv. $< 0{,}2$. Een dergelijk plaatje is practisch vrij van nevenresonanties, men kan evenwel desgewenst alle even en oneven boventonen opwekken. (fig. 1a)

Gewoonlijk worden de electroden aangebracht direct op het $Y'Z'$-vlak van het plaatje. Wanneer men deze electroden symmetrisch plaatst t.o.v de knooplijn van de grondgolf worden alle even boventonen onderdrukt: dit volgt direct uit symmetrie overwegingen (fig. 1b). Door nu bovendien de electroden een speciale vorm of speciale afmetingen te geven, is het mogelijk

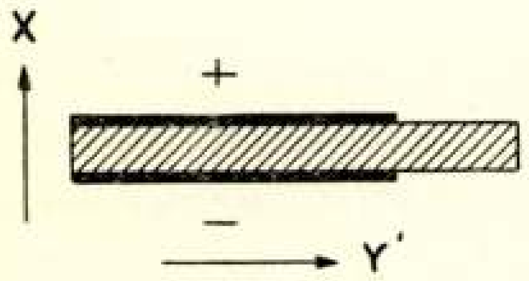

Fig. 1a.
Veel oneven en even boventonen van de Y'-golf.

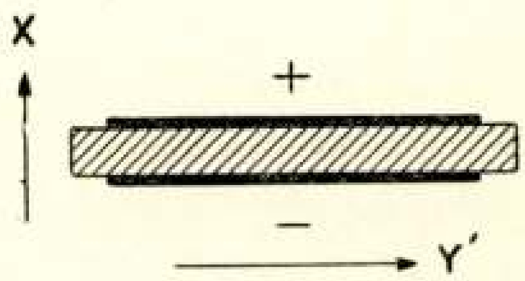

Fig. 1b.
Geen even boventonen van de Y'-golf.

één of meer oneven boventonen eveneens te onderdrukken en zelfs alle oneven boventonen.

Teneinde na te gaan hoe men een bepaalde boventoon kan onderdrukken, is het wellicht nuttig eerst eens te zien hoe men deze kan opwekken. Indien men de 3e harmonische van de Y'-golf wenst aan te stoten is plaatsing van de electroden op de wijze als in fig. 2a getekend daarvoor aangewezen. Aangezien bij deze trillingswijze de opvolgende derde delen van de kwartsplaat in tegenfaze trillen, moeten de corresponderende electrische velden, die voor de aanstoting zorgen, eveneens een fazeverschil van π hebben; door de getekende opstelling wordt dit bereikt. De richting van de electrische velden op een bepaald ogenblik is in elk van de drie delen van het plaatje, door de pijlen aangegeven.

Indien men nu het 1e en 3e paar electroden weg laat, en een spanning, waarvan de frequentie overeenkomt met de 3e boventoon van het kwartsplaatje, toevoert aan de middelste electroden alléén (fig. 2b) wordt de resonator ook weer in de 3e boventoon aangestoten; alleen is ditmaal de trilling zwakker,

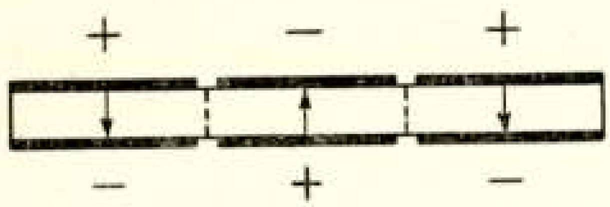

Fig. 2a.

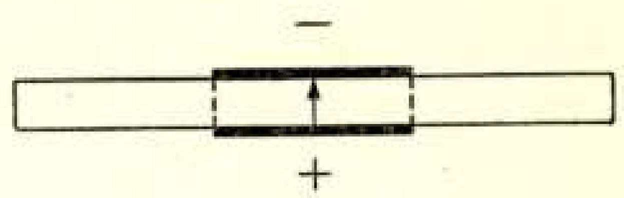

Fig. 2b.

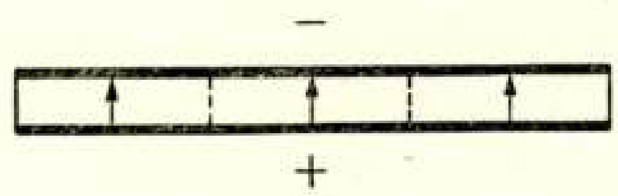

Fig. 2c.
Opwekking van de 3e boventoon van de Y'-golf.

omdat de einden zelf niet aangestoten worden. Hetzelfde resultaat verkrijgt men, wanneer een spanning van bovengenoemde frequentie aan de 3 paar electroden in faze aangelegd wordt of, wat op hetzelfde neer komt, wanneer elk $Y'Z'$-vlak in zijn geheel door één grote electrode is bedekt (fig. 2c). In dit laatste geval is de invloed van het eerste en derde deel samen groter dan die van het middelste deel en het gevolg is dat er een effect overblijft, waardoor de plaat weer in zijn 3e boventoon gaat trillen. De uitwijkingen van fig. 2b en fig. 2c zijn echter in tegenfaze.

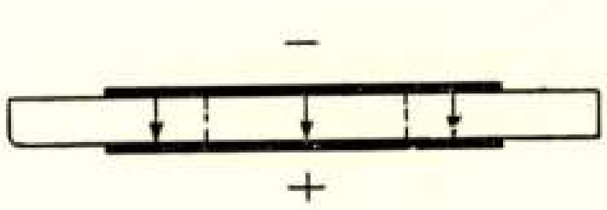

Fig. 3.
Onderdrukking van de 3e boventoon van de Y'-golf.

Wanneer men nu de electroden-opstelling maakt zoals aangegeven is in fig. 3, waarbij de electroden 2/3 deel van het kristaloppervlak bedekken, dan heffen de invloeden van het 1e en 3e deel tezamen, die van het middelste deel juist op, met als resultaat, dat géén 3e harmonische aangestoten wordt. Op soortgelijke wijze kan men de 5e boventoon onderdrukken door als lengte van de electroden te kiezen 2/5 of 4/5 van de lengte van het plaatje. De 7e boventoon wordt onderdrukt als de lengte 2/7, 4/7 of 6/7 van de totale lengte bedraagt enz.

Wanneer men de lengte van de electroden kiest tussen 2/3 en 4/5 dus b.v. ongeveer 8/11 dan worden de 3e en 5e boventoon beide min of meer onderdrukt, maar het is vanzelfsprekend niet mogelijk op deze wijze voor beide tegelijk een volledige onderdrukking te bereiken.

Men kan echter aantonen dat de gewenste compensatie wel verkregen kan worden, indien men b.v. de electroden-breedte sinus-vormig laat veranderen met de lengte van het plaatje, zodanig, dat de totale lengte van het plaatje correspondeert met een halve sinus. (zie fig. 4). In dit geval worden alle boventonen onderdrukt, alleen de grondgolf blijft over.

Dit is het eenvoudigst in te zien indien men het oppervlak, ingesloten tussen de halve sinus en de absis-as, zodanig door lijnen

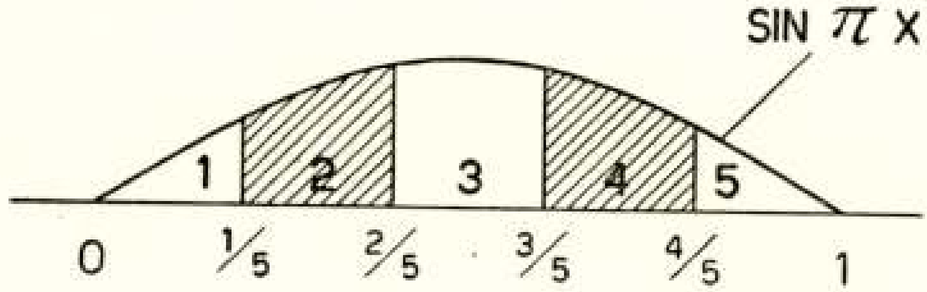

Fig. 4.
$\Sigma(1+3+5) = \Sigma(2+4)$
Dit geldt voor elk aantal delen.

parallel aan de ordinaat-as verdeelt, dat een (oneven) aantal stukken van gelijke lengte ontstaan (zie fig. 4). Wanneer men de aldus verkregen oppervlakken nummert, is steeds de totale oppervlakte van de even genummerde delen, gelijk aan die van de oneven genummerde, onafhankelijk van het aantal stukken waarin het oppervlak is verdeeld.

Men zou de hiervoor aangegeven electrode-vorm van fig. 3, waarbij de breedte van de electrode sprongsgewijze varieert, als een eerste benadering van de algemene oplossing kunnen beschouwen.

Het principe is nog voor een verdere veralgemening vatbaar; het blijkt n.l. niet nodig te zijn de electroden sinusvormig te maken, het gewenste effect kan ook verkregen worden door de sterkte van het electrische veld sinusvormig met de lengte te variëren (zie aanhangsel).

Teneinde de juistheid van de hiervoor ontwikkelde denkbeelden te verifiëren zijn proeven genomen met sinusvormige electroden en met rechthoekige electroden van het type als aangeduid in fig. 3.

De mate van onderdrukking welke men voor de diverse boventonen kan bereiken, hangt vanzelfsprekend af van de nauwkeurigheid, waarmee men de electroden kan maken; bovendien moet men feitelijk rekening houden met de invloed van de randen van de electroden. Niettemin kan men zonder speciale voorzorgmaatregelen bereiken, dat de sterkte van de boventonen slechts 10% tot 1% bedraagt van de sterkte die de boventonen hebben bij volledig bedekte $Y'Z'$-vlakken, d.w.z. dat de sterkte van alle boventonen zeker minder is dan 1% van de sterkte van de hoofdresonantie.

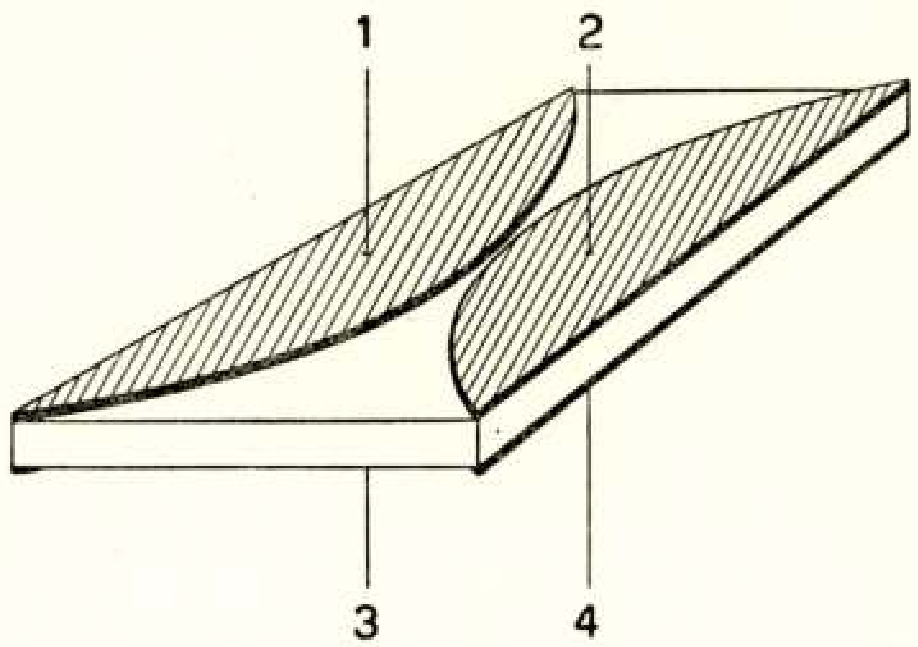

Fig. 5.
De capaciteiten C_{12}, C_{34}, C_{14} en C_{23} worden klein.

Het is nog van belang op te merken, dat door de algemene oplossing de verhouding van de capaciteiten uit het vervangingsschema (C_p/C_k) practisch geen wijziging ondergaat.

Een verder voordeel is dat, wanneer men de hiervoor beschreven sinusvormige electroden toepast bij filterkristallen met 4 electroden, de ongewenste interelectroden-capaciteiten aanzienlijk verkleind worden. (zie fig. 5).

De schrijver brengt gaarne dank aan Ir J. Oortgijzen, wiens nuttige suggesties leidden tot een veralgemening van de oplossing, en aan Ir E. J. Post voor de exacte mathematische formulering van het probleem (zie aanhangsel).

Aanhangsel

De invloed van veldsterkte-verdeling en electrodenvorm en -afmetingen op de mogelijkheden tot het piëzo-electrisch aanstoten van kristallen overziet men het geschiktst, indien men het vraagstuk in de vorm brengt van een variatie-probleem.

Voor een longitudinaal trillend staaf-kristal (X-snede kwarts) is $\frac{\partial v}{\partial y}$ de deformatiecomponent waarop het aankomt, ten opzichte hiervan kunnen de overige deformatie-componenten gevoeglijk verwaarloosd worden; v is de verplaatsing in de Y-richting, deze wordt verondersteld uitsluitend een functie van y te zijn. In dit geval wordt de functie van Lagrange gegeven door:

$$L = \int_V \left\{ \frac{1}{2} \varrho \left(\frac{\partial v}{\partial t} \right)^2 - \frac{1}{2} \frac{1}{s_{22}} \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \frac{d_{12}}{s_{22}} E \frac{\partial v}{\partial y} \right\} d\,V \quad ^{1)} \qquad (1)$$

E = electrische veld in X richting, d_{12} = piëzo-electrische coëfficiënt, ϱ = dichtheid, s_{22} = elasticiteitscoëfficiënt, V = volume van de resonator.

De beide eerste termen in (1) geven het verschil tussen kinetische en potentiële energie, de laatste term stelt de piëzo-electrische reactie van het kristal voor.

Volgens Hamilton's principe is $\delta \int_{t_1}^{t_2} L\,dt = 0$.

Uitvoering der variatie geeft de bewegingsvergelijking inclusief de randvoorwaarden.

De piëzo-electrische reactie verdwijnt indien

$$\int_V E \frac{\partial v}{\partial y} d\,V = 0 \qquad (2)$$

In woorden drukt men dit wel uit: de functies E en $\frac{\partial v}{\partial y}$

[1]) Piëzo-electrische symbolen volgens Mason, BSTJ, Jan. 1947 Vol. XXVI, No. 1, p. 80.

zijn orthogonaal. Onder deze omstandigheden wordt geen piëzo-electrische responsie waargenomen. De differentiaalvergelijking en de randvoorwaarden volgend uit het variatie-probleem zijn in dit geval homogeen en beantwoorden aan een vrij trillend staaf-kristal. Is daarentegen

$$\int_V E \frac{\partial v}{\partial y} \, d\, V \neq 0 \tag{2a}$$

dan heeft men gedwongen trillingen en de vergelijkingen zijn niet meer homogeen.

Voor het geval dat E onafhankelijk van x is (uniform veld in de dikte richting) kunnen de uitdrukkingen (2) respectievelijk (2a) vereenvoudigd worden.

$$\int_{l/2}^{l/2} \psi(y) \frac{\partial v}{\partial y} \, d\, y \begin{cases} = 0 \text{ voor vrije trillingen} & (3) \\ \neq 0 \text{ voor gedwongen trillingen} & (3\text{a}) \end{cases}$$

l = lengte van de resonator

$$\text{waarbij } \psi(y) = \int_{b/2}^{b/2} E(y, z) \, d\, z \tag{4}$$

b = breedte van de resonator

Nu is het een bekend feit dat de deformaties $\frac{\partial v}{\partial y}$ corresponderende met de grondtrilling en respectievelijke boventonen van een longitudinaal trillend staaf-kristal beschreven worden door cosinus-functies respectievelijk: $\cos \frac{\pi y}{l}$, $\cos 2 \frac{\pi y}{l}$, $\cos 3 \frac{\pi y}{l}$ enz.

Op grond van de relatie (3a) kan dus alleen die eigen frequentie opgewekt worden welks F o u r i e r component aanwezig is in de functie $\psi(y)$.

De definitie van $\psi(y)$ door formule (4) impliceert dat de gewenste F o u r i e r component in $\psi(y)$ verkregen kan worden, hetzij door E als functie van y, of door de electrodenafmetingen in de Z-richting, op de juiste wijze te kiezen.

Voor het algemene geval van een willekeurige resonator wordt de uitdrukking (2) in tensor vorm:

$$\int_V e^{ljk} E_l \partial_{(j} u_{k)} dV$$ [1]

$l, j, k = 1, 2, 3$

$e^{ljk} = e^{lkj}$ = piëzo-electrische tensor

u_k = verplaatsingsvector.

$$\partial_{(j} u_{k)} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_k}{\partial x^j} + \frac{\partial u_j}{\partial x^k}\right) = \text{deformatie tensor}$$

Het probleem is hier weer een veldverdeling E_l van het aanstotende veld te vinden, die deze integraal doet verdwijnen, behalve voor de gewenste eigen trilling.

De vraag of een veld E_l dat aan deze voorwaarden voldoet, bestaat, blijve verder onbesproken. Er zij echter op gewezen dat de alternatieve mogelijkheden gegeven door de uitdrukking (3a) min of meer karakteristiek zijn voor het één-dimensionale geval van de trillende staaf.

's-Gravenhage, Radiolaboratorium P.T.T.

---

[1] Zie noot blz. 344.

Octrooien

Openbaar gemaakt 15 September 1950.

O.A. 133152. kl. 95d2c2. Western Electric Co. Versterker voor gelijkspanningen of wisselspanningen van zeer lage frequentie, met kathodedrift-compensatie.

O.A. 133011. kl. 96g6d3. E. H. Armstrong. Schakeling voor het heruitzenden van frequentiegemoduleerde signalen, waarbij de centrale frequentie met een klein bedrag verschilt van die van het ontvangen signaal.

O.A. 104125. kl. 95b3. Western Electric Co. Inrichting voor het opwekken van in faze of frequentie gemoduleerde trillingen met behulp van een magnetische harmonische generator.

O.A. 121900. kl. 95g3. Patelhold. Transformatorsysteem voor hoogfrequente stroom, bestaande uit een aantal door opwikkeling verkorte Lecherleidingen, die aan één uiteinde parallel en aan het andere uiteinde in serie zijn geschakeld.

O.A. 99830. kl. 95a3b2. N.V. Philips. Gesynchroniseerde inrichting voor het opwekken van een zaagtandvormige stroom, waarbij de spanningsbron, die de synchroniseerimpulsen levert, niet ontoelaatbaar wordt belast.

O.A. 100754. kl. 95g3. N.V. Philips. Inrichting voor het aanpassen van een breed frequentiegebied van een verbruiker aan de inwendige weerstand van een generator met behulp van kwartgolflengteleidingen.

Openbaar gemaakt 16 October 1950.

O.A. 89665. kl. 21a^{5}10. Bell Telephone. Inrichting voor het versterken of overdragen van televisiesignalen, waarbij de gelijkstroomcomponenten mede overgedragen worden doordat het gehele spectrum van het televisiesignaal getransponeerd wordt door commutering aan het eind van elke beeldregel.

O.A. 118117. kl. 96g2c5. Bell Telephone. Netwerk voor het corrigeren van de frequentie-afhankelijke impedantie van een transformator die secundair door een Ohmse weerstand is belast.

O.A. 135871. kl. 21a^{4}73a. Electrical & Musical Industries Ltd Electrische golfpijp met spleetvormige onderbreking en middelen om uitstraling in deze spleet te verhinderen.

O.A. 127713. kl. 21a^{4}9c. Electrical & Musical Industries Ltd. Hoogfrequent toestel met binnen een vacuumruimte geplaatste holle golfgeleider, die zich tot de isoleren wand van die ruimte uitstrekt en aansluit op een zich buiten deze wand bevindende holle golfgeleider en middelen om uitstraling in de spleet, door de isolerende wand ingenomen, te verhinderen.

He.

Nieuwe leden

C. Rodenburg, Schoenmakerstraat 53, Delft.
Ir H. C. Bennebroek Evertz', Lindenheuvel 1, Hilversum.
Ir E. J. Post, Schiebroekse singel 13, Rotterdam.
M. van Sliedregt, de Savornin Lohmanlaan 131, Rotterdam.

Voorgestelde leden

Ir A. T. de Hoop, Nic. Tulpstraat 41, 's Gravenhage, Assistent afd. Electrotech. T. H. Delft.

J. Schuitemaker, van Leeuwenhoeksingel 23, Delft. Student.

Ltz. H. M. Koch, van Esveldstraat 18B, Schiedam. Marinestaf (Verbindingen).

Ir H. H. van Abbe, Generaal Cronjéstraat 20, Eindhoven. Werkzaam b.d. N.V. Philips' Gl. Fabr. te Eindhoven.

Ir J. M. Tol, Meiland 23, Rotterdam. Reserve Officier bij de Technische Staf K. L.

Ir J. H. Wessels, Geestbrugweg 33, Rijswijk (Z.H.). Reserve Officier bij de Technische Staf K. L.

Ir K. Vredenbregt, Bergsingel 58A, Rotterdam. Reserve Officier bij de Technische Staf K. L.

Dr F. L. Stumpers, Nachtegaallaan 7, Eindhoven. Werkzaam Nat. Lab. N.V. Philips'.

Ir J. J. Schreuders, Kon. Wilhelminalaan 192C., Voorburg. Werkzaam Lab. van der Heem te ''s Gravenhage.

Boekbespreking

T. W. Pennington: *Short-Wave Radio and the Ionosphere,* 2nd edition. — Iliffe & Sons, London 1950; 138 blz. en 61 figuren. Prijs 10 sh 6 d.

Dit boekje geeft vrijwel zonder gebruik van wiskunde een populair overzicht van het mechanisme van de voortplanting van korte golven. Zoals de titel aangeeft wordt in het bijzonder de ionosfeer als voortgeleider van deze golven besproken; de rol van de troposfeer voor microgolven wordt slechts even aangeduid. Ook voor meer ingewijden is dit werk ongetwijfeld van betekenis omdat het een zeer duidelijk overzicht geeft van onze voornaamste kennis van de ionosfeer. Naast de behandeling van de bekende eigenschappen van de lagen en van de methoden om deze eigenschappen te bepalen, wordt uitvoerig ingegaan op de techniek van het voorspellen van de ionosfeerconstanten. Dit laatste zal verheugend zijn voor hen die moeilijk hun weg vinden in de niet zeer duidelijke gebruiksaanwijzingen die aan de Engelse en Amerikaanse „predictions" toegevoegd worden.

De inhoud wordt verduidelijkt door een groot aantal figuren die vooral betrekking hebben op de afhankelijkheid van plaats en tijd van critische frequenties, virtueele hoogten, „maximum usable frequencies" etc. Ongetwijfeld is het de schrijver aan de hand van deze vele figuren gelukt de lezer langzaam aan vertrouwd te maken met de talrijke factoren die door hun samenwerking de condities voor de golfvoortplanting bepalen. De toelichtingen hadden hier en daar nog wat uitvoeriger kunnen zijn. Bij de behandeling van de invloed van het aardmagneetveld mist men bijv. een verwijzing naar de analogie met dubbelbrekende kristallen. Verder had daar duidelijker aangegeven kunnen worden dat de brekingsindex behalve van hoogte en frequentie, ook van de *richting* afhangt. Bij de korte bespreking van de troposferische „unorthodox propagation" was toch zeker het noemen van het waveguide-effect bij het aangeven van de golflengte-afhankelijkheid op zijn plaats geweest.

Op enkele plaatsen wordt ter vereenvoudiging een te onvolledige voorstelling gegeven. Aldus wordt het geleidingsvermogen van de ionosfeer evenredig aan λ^2 gesteld zonder er op te wijzen dat dit slechts geldt voor de korte golven (terwijl overigens de lange golven ook beschouwd worden). Voorts wordt in fig. 35 gesuggereerd dat de limietstraal die juist niet door de ionosfeer verdwijnt, de straal is die het aardoppervlak aan de rand van de dode zone bereikt (deze foutieve voorstelling wordt vaker gegeven!). Van verschijnselen waaraan zelfs bij de als doel gestelde populaire behandeling aandacht besteed had kunnen worden, noemen we de invloed van de aardreflecties bij „multi-hop transmission" en het naast elkaar bestaan van „short-path" en „long-path communication" bij de overbrugging van zeer grote afstanden. Enkele interessante verschijnselen, zoals het bestaan van de Z-reflectie en van de getijde effecten in de ionosfeer, worden in het geheel niet genoemd.

Afgezien van de genoemde onnauwkeurigheden en onvolledigheden is dit werkje zeer aanbevelenswaardig voor allen die zich willen verdiepen in de zo gecompliceerde rol die de ionosfeer in het radioverkeer speelt.

H. B.

Electronic Engineering Master Index 1947-1948. — Uitgave Electronic Research Publishing Company Inc. New York 1950; 339 + XIII bladz.; gebonden; 17 x 25 cm; $ 19,50.

In dit boek vindt men, alphabetisch gerangschikt naar het onderwerp, de titels van publicaties, die in 1947 en 1948 verschenen zijn op het gebied der electronica en aanverwante wetenschappen. Het thans verschenen deel is het derde uit een serie; tezamen met de twee reeds vroeger verschenen delen wordt practisch de gehele wereldliteratuur bestreken van 1925 af.

Bij de samenstelling van dit derde deel is gebruik gemaakt van ruim 230 periodieken, die in de aanvang vermeld worden. Verder zijn gegevens geput uit de patenten van de Verenigde Staten en uit de z.g. „declassified documents" van de Verenigde Staten, Engeland en Canada. Onder deze laatste zijn belangrijke publicaties van werk, dat tijdens en na de laatste wereldoorlog heeft plaats gevonden, o.a. van de zijde van het M.I.T. Radiation Laboratory en van de Naval Research Laboratories.

Voor een ieder, die literatuur gegevens zoekt uit de periode 1947—1948 op het door de Master Index bestreken terrein, lijkt dit werk een bijzonder waardevol hulpmiddel. De opzet is logisch. De stof is verdeeld in een aantal onderwerpen, die, zo nodig, ieder voor zich weer in kleinere groepen onderverdeeld zijn. Zo is b.v. het uitgebreide onderwerp „Antennas" onderverdeeld in: Adcock-, Beam-, Broadcast-, Calculation, enz. tot: Ultra high frequency-, Vertically Oriented-, Wideband-. Bij onderwerpen, waaromtrent in 1947 en '48 minder is gepubliceerd, is vanzelfsprekend een dergelijke uitvoerige onderverdeling niet gemaakt.

Teneinde het zoeken van gegevens op een bepaald gebied nog te vergemakkelijken, is een zakenregister opgenomen, dat niet alleen naar dit derde deel verwijst, maar tevens naar de reeds eerder verschenen delen.

Tenslotte bevat het werk nog een bibliographie van boeken, in 1947 en 1948 verschenen, welke betrekking hebben op dezelfde takken van wetenschap als de Master Index.

De uitvoering is uitstekend. Teneinde mogelijk misverstand te voorkomen zij er hier nadrukkelijk op gewezen, dat het werk slechts titels vermeldt, het bevat geen uittreksels.

J. J. V.

Leerboek der radiotechniek door B. J. Oosterwijk.
deel I, 4de druk 1948. XVI en 439 blz. met 337 fig. prijs geb. *f* 14.-.
deel II, 3de druk 1950. VIII en 358 blz. met 311 fig. prijs geb. *f* 12.-.
Uitgegeven door J. Noorduyn en Zoon N.V. Gorinchem.

De ondertitel van deel I luidt: „Gelijk en Wisselstroomtechniek, in het bijzonder behandeld als grondslag voor de Radiotechniek".

De ondertitel van deel II luidt: „Hulptoestellen en inleiding tot de Radiotechniek".

De eerste druk van deel I is verschenen in 1936 en drie jaar later de eerste druk deel II.

Dat beide delen in de oorlog en ook daarna herdrukt moesten worden, om aan de aanvraag te kunnen voldoen bewijst wel dat deze werken in een behoefte voorzien.

Bij het doorbladeren viel mij op dat in geen van beide delen het woord *triode* in de index noch in de tekst voorkomt, waaruit ik de conclusie heb moeten trekken, dat het dan in deze vorm de titel „Leerboek der Radiotechniek" nauwelijks verdient.

Een derde deel zal eventueel in deze leemte kunnen voorzien, doch in geen enkel voorwoord maakt de schrijver melding van een voornemen om het werk te completeren met een derde deel over de theorie der radiobuizen.

De uitgever deelde echter mede, dat een dergelijk voornemen wel bestaat. Het is te hopen dat de schrijver het bij dit voornemen niet zal laten. De titel van deel I is m.i. niet geheel juist, er wordt n.l. geen techniek, doch uitsluitend theorie in behandeld. De behandeling van de theorie is vermoedelijk bedoeld voor hen, die geen middelbaar onderwijs hebben genoten en juist daardoor heeft de schrijver een moeilijke taak op zich genomen. Hij is er echter in het algemeen goed in geslaagd om in duidelijke bewoordingen de grondbeginselen in logische volgorde in zijn boek weer te geven.

Vooral de samenvattingen aan het slot van elke paragraaf zullen ongetwijfeld door de studerende lezers zeer worden gewaardeerd.

Ik heb mij bij het beoordelen uiteraard moeten beperken tot enkele steekproeven, waarbij is opgevallen, dat, waar de meeste onderwerpen op voortreffelijke wijze zijn behandeld, enkele echter de toets der critiek niet kunnen doorstaan.

Bij een eventueel volgende druk zou de schrijver b.v. nog eens extra aandacht kunnen schenken aan de volgende punten in dl I:

1. De juiste definities van de grootheden B en H in het magnetische veld. Hier en daar worden deze n.l. door elkaar gehaald waardoor het de leerling onmogelijk wordt zich een juist inzicht te vormen in deze toch al lastige materie. De opmerking over de transformatorkern als „unipolaire magneet" op pag. 219 is wel heel vreemd en kan m.i. derhalve beter worden weggelaten. Evenals de figuur 148 van de magneet van een draaispoel-instrument, door welke figuur zonder nadere toelichting slechts verwarring kan ontstaan.
2. Het is onjuist electrische krachten voor te stellen door krachtlijnen (pag. 135).
3. Er wordt herhaaldelijk gesproken van energie als vermogen bedoeld wordt, zelfs bij de definitie van decibel.
4. Op blz. 268 is de grafiek fout getekend, hetgeen storend kan werken.

Dit zijn slechts enkele voorbeelden van onjuistheden die mij, zowel in dl I als in dl II, zijn opgevallen. De lezer en ook de leraar die deze boeken gebruikt, dient dus wel met een en ander rekening te houden.

In Deel II worden in de eerste helft de hulptoestellen als „Transformatoren, Meetinstrumenten, Dynamo's en Motoren", en in de laatste 175 pagina's de resonantie-verschijnselen, het samenvoegen en ontbinden van stromen en het koppelen van kringen behandeld.

Het laatste hoofdstuk over het koppelen van kringen kwam in de tweede druk nog niet voor, evenmin als 2 paragrafen over lineaire en niet-lineaire karakteristieken.

Deel II ziet er zeer verzorgd uit en is op beter papier gedrukt, dan het eerste deel.

P. H. B.

Radio Laboratory Handbook by M. G. Scroggie B.Sc. M.I.E.E. 5th Edition. Published for „Wireless World" by Iliffe and Sons. 430 pag. 160 fig. en 46 foto's. Prijs 15/—.

Dit boek, zowel voor vakman als amateur bedoeld, is thans voor de tiende maal herdrukt, hetgeen wel een bewijs is, dat dit boek in een grote behoefte voorziet.

De schrijver, wiens naam voor lezers van „Wireless World" niet onbekend zal zijn, geeft een grote hoeveelheid practische gegevens, welke voor ieder, die zich met de uitvoering van radiotechnische metingen bezig houdt, van nut kunnen zijn.

Aangezien het uiteraard in verband met het veelal zeer specialistische karakter van het laboratoriumwerk niet mogelijk is een boek samen te stellen, dat elke willekeurige meting beschrijft, heeft de schrijver zich beperkt tot het behandelen van de meest principiële metingen en het beschrijven van de daarvoor benodigde apparatuur.

Degene, die een bepaald onderwerp nader wil bestuderen, wordt steeds naar een uitgebreide literatuur verwezen.

Ondanks genoemde beperking is het aantal behandelde onderwerpen zeer groot en is het niet doenlijk hiervan een opsomming te geven.

De auteur is er m.i. in geslaagd om voor een zeer brede kring van lezers een boek samen te stellen, dat op een prettige, heldere wijze, de verschillende problemen behandelt, welke zich bij het laboratoriumwerk kunnen voordoen.

Waar het practisch onderwijs in de radiotechniek dikwijls nog op grote moeilijkheden stuit, lijkt mij dit boek zeer geschikt om hierbij als leidraad te dienen.

H. d. B.

Ontvangen Tijdschriften enz.

Journal of the Franklin Institute, Sept., Oct. 1950.

Wireless Engineer, Aug. Sept. 1950.

Nat. Bureau of Standards, Technical News Bulletin Vol. 34, Nrs 7, 8, 9.

Nat. Bureau of Standards, Basic Radio Predictions for December 1950, Januari, Februari 1951.

Smithsonian Institution from Report. 203—212.

Annales des Télécommunication, Tome 5, Nrs 8, 9, 1950.

Electrical Communication, Vol. 27, Nrs 1, 2, 1950.

P.T.T. Bedrijf, Aug. 1950.

Radio Revue, Oct. Nov. 1950.

De Ingenieur, Jrg. 61, Nrs 38-48, 1950.

Tijdschrift voor Radio Techniek, Jrg. 4, Nrs 8, 9, 10.