

Digitale rekentechniek

voor vuurleidingsproblemen

door ir. IJ. BOXMA, directeur van het Fysisch Laboratorium
van de Rijksverdedigingsorganisatie T.N.O.

Een vuurleidingstoestel heeft tot taak te bepalen in welke richting, en eventueel met welke tempering, een projectiel moet worden afgevuurd om de meeste kans te hebben een bewegend doel te treffen. Daarvoor moeten niet alleen de banen van het doel en het projectiel elkaar snijden, maar tevens moeten de looptijden van de beide voorwerpen tot dit snijpunt aan elkaar gelijk zijn. Om dit probleem te kunnen oplossen bestaat een vuurleidingstoestel in hoofdzaak uit twee delen: een waarnemingsmiddel en een rekentoestel.

Denkend aan vuurleiding voor luchtdoelgeschut mogen wij voor waarnemingsmiddel wel radartoestel lezen. Dit radartoestel bepaalt gedurende enige tijd gegevens over de positie van het doel. Het rekentoestel voorspelt uit deze gegevens de baan van het doel, waarbij uiteraard van bepaalde veronderstellingen omtrent de door de vijand te volgen tactiek moet worden uitgegaan.

Het rekentoestel beschikt verder over de nodige gegevens om de baan van het projectiel als functie van de lanceerrichting te kunnen bepalen, waarbij ook de invloed van verschillende uitwendige oorzaken, zoals wind, in rekening wordt gebracht.

Tenslotte is het rekentoestel in staat met deze kennis over de doel- en projectielbanen te berekenen in welke richting het projectiel moet worden afgevuurd om het doel te treffen. Tevens moet dikwijls de tempering van het projectiel worden bepaald.

Zonder hier nader op al deze berekeningen in te gaan is het duidelijk dat het rekentoestel een grote hoeveelheid rekenwerk moet uitvoeren alvorens een projectiel kan worden afgevuurd. Bovendien moeten deze berekeningen voortdurend worden uitgevoerd, omdat de berekende afvuurrichting en tempering slechts voor één bepaald moment gelden en omdat bij de voorspelling van de doelbaan natuurlijk de meest recente radargegevens moeten worden verwerkt.

Analoog werkende rekentoestellen voor vuurleiding

De tot nu toe gebouwde, en hier bekende, rekentoestellen voor vuurleiding maken gebruik van verschillende technieken, die echter alle onder het begrip *analoog werkende rekenmachine* kunnen worden gevat. In een dergelijke rekenmachine worden de grootheden uit het te berekenen probleem vervangen door hanteerbare fysische grootheden, zoals elektrische stromen of spanningen, asdraaiingen, lijnlengten en dergelijke. Buiten de vuurleidingstechniek kan als een eenvoudig voorbeeld van dergelijke analoog werkende rekenhulpmiddelen de rekenliniaal worden genoemd, waarbij de analogie bestaat in de lengte van een lijnstuk tegenover de logaritme van een getal.

De rekentoestellen voor vuurleiding, die vóór de tweede wereldoorlog werden geconstrueerd, werkten volgens een mechanisch analoog principe. Een afstand werd voorgesteld door de draaiing van een as, de sinus van een hoek door de verplaatsing van een pen over een zekere afstand door middel van een zogenaamde camoïde, enz.

Tijdens de tweede wereldoorlog kwamen hiernaast rekentoestellen tot stand, die werkten volgens een elektrisch analoog principe. Hierbij wordt een afstand voorgesteld door de grootte van een gelijkspanning of de amplitude van een wisselspanning, de sinus van een hoek door de grootte van een elektrische weerstand of capaciteit enz.

Digitaal werkende rekenapparatuur

Bij het oplossen van mathematische problemen maakt men, behalve van hulpmiddelen volgens het analoge principe, ook gebruik van hulpmiddelen werkend volgens het zogenaamde digitale of numerieke principe. Alvorens na te gaan of dergelijke digitaal werkende rekentoestellen bruikbaar kunnen worden gemaakt voor vuurleiding, zal het principe nader worden toegelicht.

Een digitaal werkende rekenmachine werkt met getallen in plaats van met fysische grootheden. Eenvoudige voorbeelden van digitaal werkende hulpmiddelen zijn het telraam en de kilometerteller van een auto (de snelheidsmeter daarentegen werkt analoog). Ook de algemeen bekende tafelrekenmachine met toetsenbord werkt volgens het digitale principe. Men stelt de beide te verwerken getallen op het toetsenbord in. Bij de oudere typen moet men, om deze twee getallen op te tellen, aan een zwengel draaien en bij het vermenigvuldigen moet het vermenigvuldigtal telkens een decimaal worden verschoven. Later werd dit draaien door een elektrische motor gedaan, waarbij mogelijkheden van automatisch stoppen, verschuiven en dergelijke, naast een aanzienlijk sneller rekenen tot de voordelen behoorden.

Het is voor een ervaren rekenaar nog mogelijk om aan een dergelijke tafelrekenmachine instructies en getallen toe te voeren, zonder dat de machine in verhouding lang moet wachten. Zou deze echter veel sneller werken, dan zou dit praktisch geen verbetering meer geven in de tijd, waarin de hele berekening wordt uitgevoerd. De meeste mathematische problemen bevatten echter een groot aantal herhalingen, zodat kan worden voorkomen dat de mens de snelheid van de rekenmachine beperkt door een snelle rekenmachine in staat te stellen om een in detail meegedeeld proces te herhalen gedurende een vast aantal malen of tot één of ander criterium is bereikt.

Toen het eenmaal was gelukt rekenmachines te construeren, die automatisch verder rekenen volgens een bepaald programma, moest de rekensnelheid worden opgevoerd om te voorkomen dat de rekenaar lang moest wachten op het rekenresultaat. Met mechanische hulpmiddelen was dit niet meer mogelijk, zodat men van elektrische middelen gebruik ging maken. Zo zijn rekenmachines gebouwd met een groot aantal relais; doch een grotere snelheid wordt bereikt wanneer elektronen de enige bewegende delen zijn. De hierbij gebruikte elektronische relais worden triggers of flip-flops genoemd. Het zijn schakelingen van meestal twee buizen, gewoonlijk trioden, of twee transistoren, waarbij altijd één van beide buizen of transistoren de stroom geleidt. De schakeling bezit dus twee evenwichtstoestanden. Het is mogelijk de overgang van de ene in de andere evenwichtstoestand te doen plaats vinden door aan de schakeling een korte elektrische spanningstoot toe te voeren.

De eerste dergelijke universele rekenmachine was de ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer), die in de Verenigde Staten gedurende de tweede wereldoorlog is gebouwd, o.a. voor het berekenen van projectielbanen. Het toestel werkte in het tientallige stelsel en bevatte 18.000 buizen, waarvoor een vermogen van 150 kW nodig was; het had een oppervlak nodig van 10 bij 16 meter.

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. Het blijkt dat in

het bijzonder bij toepassing van het tweetallige stelsel een aanzienlijke materiaalbesparing (ca. 70%) kan worden verkregen, vergeleken met machines, die in het tientallige stelsel werken. Bovendien is dit tweetallige stelsel technisch eenvoudiger uit te voeren, omdat flip-flop-schakelingen zoals gezegd twee evenwichtstoestanden bezitten, zodat aan deze beide toestanden de cijfers 0 en 1 kunnen worden toegekend. Ditzelfde geldt voor andere elementen, die bijvoorbeeld als geheugen worden gebruikt. Ook de optel- en vermenigvuldigregels zijn in het tweetallige stelsel aanzienlijk eenvoudiger dan in het tientallige, zoals uit het volgende moge blijken.

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:

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

Weer uitgedrukt in het tientallige stelsel, dus in begrijpelijke taal, is dit:

$$16 + 4 + 2 = 22$$

Om te kunnen optellen dienen wij de regels van het optellen te kennen. Deze zijn hier zeer eenvoudig, namelijk:

$$\begin{aligned} 0 + 0 &= 0 \\ 0 + 1 &= 1 \\ 1 + 1 &= 10 \end{aligned}$$

Een optelling van twee getallen ziet er dus bijvoorbeeld zo uit:

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

Bij het vermenigvuldigen worden, evenals in het tientallige stelsel, de gedeeltelijke produkten uitgerekend en op de juiste wijze verschoven onder elkaar geplaatst en opgeteld. De gedeeltelijke produkten zijn hier altijd 0 of gelijk aan het vermenigvuldigtal, omdat de cijfers van de vermenigvuldiger altijd 0 of 1 zijn.

Voorbeeld:

$$\begin{array}{r} 22 \quad \times \quad 13 \\ \hline 66 \\ 22 \\ \hline 286 \end{array} \quad = \quad \begin{array}{r} 10110 \\ 1101 \times \\ \hline 10110 \\ 10110 \\ \hline 10110 \\ \hline 10001110 \end{array}$$

Het delen gaat in principe weer als in het tientallige stelsel.

Voorbeeld:

$$\begin{array}{r} 13 \overline{) 143} \quad 11 \\ \underline{13} \\ 13 \\ \underline{13} \\ 0 \end{array} \quad = \quad \begin{array}{r} 1101 \overline{) 10001111} \quad 1011 \\ \underline{1101} \\ 10011 \\ \underline{1101} \\ 1101 \\ \underline{1101} \\ 0 \end{array}$$

Voor een elektronische rekenmachine zal deze wijze van rekenen echter niet altijd de eenvoudigste zijn. Als voorbeeld zal hieronder worden aangegeven hoe een deling kan worden vereenvoudigd, dat wil zeggen zodanig gewijzigd dat de keuze of een 0 dan wel een 1 in het quotiënt moet worden geschreven eenvoudiger kan worden gemaakt.

Om de deling op de gewone wijze uit te voeren zou de rekenmachine moeten constateren of een aftrekking wel of niet kan worden uitgevoerd, wat bijvoorbeeld zou kunnen worden verwezenlijkt door de aftrekking altijd te laten uitvoeren. Is de uitkomst positief, dan wordt een 1 geregistreerd in het quotiënt. Is de uitkomst negatief, dan ligt het voor de hand de aftrekking ongedaan te maken door de deler weer erbij op te tellen en een 0 in het quotiënt te schrijven. Daarna zou de deler een plaats naar rechts moeten worden geschoven en opnieuw afgetrokken. Nu komt het verschuiven naar rechts van de deler overeen met het delen door twee. Achtereenvolgens is dus de deler afgetrokken, weer opgeteld, en dan gehalveerd weer afgetrokken. Dit kan ook worden bereikt door de deler af te trekken en, bij negatief resultaat, gehalveerd weer op te tellen. Is dus de uitkomst negatief, dan wordt een 0 geregistreerd in het quotiënt, de deler een plaats naar rechts geschoven en de volgende aftrekking vervangen door een optelling. Hiermee is bereikt dat de deler na iedere verschuiving óf afgetrokken óf opgeteld wordt, afhankelijk van het teken van het voorgaande resultaat. Dit teken wordt aangegeven door een extra cijfer, waarbij een 0 overeenkomt met + en een 1 met —. De betreffende „tekentrigger” bepaalt dus het optellen of aftrekken.

Hetzelfde voorbeeld als hierboven gegeven, wordt uitgewerkt volgens het beschreven systeem, waarbij het voorste cijfer het teken weergeeft van de tussenresultaten.

1101 / 010001111 / 01011

1101

aftr.

110111111

1101

opt.

000100111

1101

aftr.

111110011

1101

opt.

000001101

1101

aftr.

000000000

Toepassing van de digitale rekentechniek bij vuurleiding

In 1947 was het bovenstaande in Nederland bekend. Op het Fysisch Laboratorium van het Ministerie van Oorlog, dat in 1948 overging naar de Rijksverdedigingsorganisatie TNO, was reeds vóór de tweede wereldoorlog aandacht besteed aan de elektrificatie van vuurleiding. In 1947 rees op dit laboratorium de vraag of de elektronische digitale rekentechniek voordelen zou kunnen bieden bij toepassing in vuurleiding. Om deze vraag te kunnen beantwoorden is toen een diepgaande studie begonnen van de elektronische digitale rekentechniek enerzijds en van de eisen, die vuurleiding aan deze rekentechniek zou stellen, anderzijds. De studie heeft zich uitgestrekt tot verschillende vuurleidings- en aanverwante gebieden, waarbij allerlei rekentoestellen zijn verwezenlijkt, die gedeeltelijk reeds een praktijkbeproeving hebben ondergaan. Zonder in dit artikel in te gaan op constructiedetails, volgt hier een overzicht van de voornaamste problemen, die moesten worden opgelost, alvorens de digitale rekentechniek kon worden toegepast op vuurleiding.

In elke digitale rekenmachine — dus zowel de universeel bruikbare als de machine voor speciale doeleinden — kan men vijf hoofdorganen onderscheiden. Deze zijn:

- het rekenkundig orgaan;
- het geheugenorgaan;
- het besturingsorgaan;
- het ingangsgorgaan;
- het uitgangsgorgaan.

Het *rekenkundig orgaan* heeft tot taak alle elementaire bewerkingen, dat wil zeggen optellen, aftrekken, vermenigvuldigen en delen, uit te voeren. Dit betekent dat alle bewerkingen, waaruit een bepaald wiskundig probleem bestaat, na elkaar moeten worden uitgevoerd. Hierbij zullen tussenresultaten ontstaan, die later weer moeten worden gebruikt. Het *geheugenorgaan* onthoudt deze getallen zolang dit nodig is. Alvorens het rekenkundig orgaan een bewerking kan uitvoeren dient het een opdracht te ontvangen, die inhoudt welke getallen uit het geheugen moeten worden gehaald, welke bewerking moet worden uitgevoerd en naar welk „vakje” in het geheugen het resultaat moet worden gebracht. Deze opdrachten worden gegeven door het *besturingsorgaan*. Het *ingangs-* en het *uitgangsga* tenslotte brengen de machine met de buitenwereld in contact. Hierdoor worden namelijk de gegevens aan de machine toegevoerd en de eindresultaten afgeleverd.

Een universele rekenmachine zal in staat moeten zijn allerlei mathematische problemen op te lossen. Wenst men echter een rekenmachine voor speciale doeleinden te construeren, dan kan men ieder orgaan van de rekenmachine zodanig dimensioneren dat het juist geschikt is voor het speciale probleem. Men zal dan bijvoorbeeld het rekenkundig orgaan zoveel cijfers geven dat een voldoende nauwkeurigheid wordt behaald, maar ook niet meer dan nodig is. Men zal het aantal „vakjes” in het geheugen (in ieder vakje kan een getal worden opgeborgen) juist groot genoeg maken. En vooral: men zal het besturingsorgaan niet universeel bruikbaar maken, maar vast instellen voor dit ene probleem. Ook de in- en uitgangsorganen zal men natuurlijk aanpassen aan het speciale probleem.

Denken wij aan vuurleiding voor luchtdoelgeschut, dan zal het besturingsorgaan zo moeten worden ontworpen dat achtereenvolgens de radargegevens worden verwerkt tot de voorspelde doelbaan, dat de projectielgegevens worden verwerkt tot een stelsel projectielbanen en dat uit een combinatie van deze berekeningen de gewenste stand van het kanon wordt bepaald.

Ook het ingangsga zal bij een rekentoestel voor vuurleiding aan zeer bijzondere eisen moeten voldoen, omdat de radargegevens in getalvorm aan de rekenmachine moeten worden toegevoerd. Daartoe zullen de kaarthoek, de elevatie en de afstand van analoge in digitale vorm moeten worden gebracht. Daar van de hoeken in het bijzonder de sinus en de cosinus van belang zijn, zal tevens een sinustafel in een gecodeerde vorm aanwezig moeten zijn. Bij de op het Fysisch Laboratorium ontworpen uitvoeringsvorm wordt deze sinustafel in tweetalige vorm op fotografische wijze langs de rand van een ronde glazen schijf aangebracht, waarbij de getallen radiaal zijn opgesteld. Daarbij wordt een 1 voorgesteld door een doorschijnend hokje en een 0 door een zwart hokje. Een voldoende ingangs- of hoeknauwkeurigheid wordt verkrijgen door het aantal getallen groot genoeg te kiezen, dat wil zeggen de hoekdraaiing tussen twee getallen klein genoeg te maken. Een hoeknauwkeurigheid van een minuut is zeer wel uitvoerbaar. Een voldoende „digitale” nauwkeurigheid wordt verkregen door het aantal cijfers per getal groot genoeg te kiezen. Door middel van zeer kleine fotocellen, die speciaal voor dit doel op het Fysisch Laboratorium zijn gemaakt, kunnen de getallen zeer snel worden „afgelezen” en naar het rekentoestel gevoerd, wanneer ze daar nodig zijn. Aan de uitgang van de rekenmachine komen de eindresultaten, dat zijn de kaarthoek, de elevatie en de tempering van het kanon, in digitale vorm beschikbaar, zo-

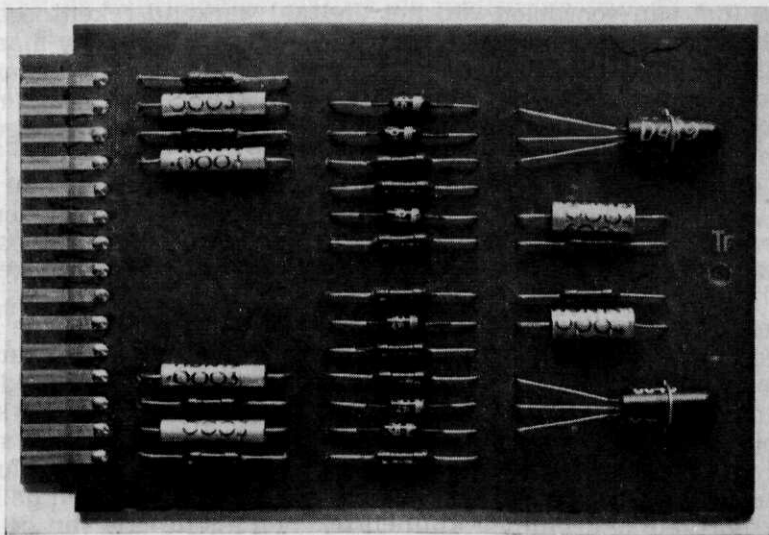
dat hier een conversie van digitale in analoge vorm moet plaats hebben.

De aandacht wordt verder erop gevestigd dat bij het oplossen van het vuurleidingsprobleem het rekenkundig orgaan achtereenvolgens alle rekenkundige bewerkingen uitvoert, zodat het enige tijd kost voor het antwoord beschikbaar komt. Door de zeer grote rekensnelheid (momenteel op het Fysisch Laboratorium 30.000 optellingen per seconde bij gebruik van transistoren) is deze tijd weliswaar kort, bijvoorbeeld $1/30$ seconde, maar dit heeft tot gevolg dat slechts op regelmatige tijdstippen, dus bijvoorbeeld 30 maal per seconde, de juiste schietgegevens beschikbaar komen. Dit stelt eisen aan het gesloten systeem, waarvan het rekentoestel deel uitmaakt. Ook deze problemen blijken echter heel goed oplosbaar te zijn.

Waarom en wanneer digitale vuurleiding?

Uit de research van de afgelopen tien jaren op het gebied van elektronisch rekenen op het Fysisch Laboratorium is gebleken dat het mogelijk is digitaal werkende vuurleidingstoestellen te construeren. Wanneer men de vraag moet beantwoorden of en wanneer het zin heeft een digitaal werkend vuurleidingstoestel toe te passen in plaats van een analoog rekentoestel, moet men de voor- en nadelen in het bepaalde geval tegen elkaar afwegen. Wij zullen daarom hier trachten de redenen te vermelden, die voor toepassing van digitale rekentoestellen pleiten.

1. De nauwkeurigheid wordt bij digitale rekentoestellen niet bepaald door de precisie waarmee de verschillende onderdelen zijn afgewerkt, maar door het aantal cijfers, waarmee de verschillende getallen worden „geschreven”. Hiermee hangt het aantal te gebruiken componenten nauw samen. Daardoor is de nauwkeurigheid waarmee het rekentoestel werkt, precies bekend en onveranderlijk.
2. Een gevolg van het onder 1 gesignaleerde is dat massafabrikage van deze apparatuur eenvoudig is. Als toelichting kan nog worden opge-



Afb. 1 Onderdeel van een getransistoriseerd, digitaal werkend vuurleidingstoestel.

merkt dat de 1000 à 2000 componenten, zoals flip-flop-schakelingen, die in het digitale rekentoestel van een vuurleidinginstallatie zullen voorkomen, slechts ongeveer 10 verschillende typen omvatten. Afb. 1 toont zo'n onderdeel van een digitaal werkend vuurleidingstoestel.

3. Het is tamelijk eenvoudig om het rekentoestel om te schakelen naar een ander probleem. Het besturingsorgaan bepaalt namelijk het karakter van het rekentoestel. Door dit uitwisselbaar te maken kan men het toestel geschikt maken voor een ander probleem, voor zover het rekenkundig orgaan en het geheugen daarvoor, wat hun capaciteit betreft, geschikt zijn.

4. Het is mogelijk een rekentoestel geschikt te maken voor het oplossen van meer dan één probleem tegelijk. Het besturingsorgaan wordt dan zodanig geconstrueerd dat de verschillende problemen na elkaar worden opgelost, maar met een zo grote snelheid dat de vuurmonden, de geleide projectielen, of de andere ermee bestuurd wapens niets bemerken van het voortdurend overschakelen.

5. Het is mogelijk het rekentoestel een grote mate van zelfstandigheid te geven, dus automatisch te laten werken. Tussentijdse rekenresultaten kunnen, afhankelijk van hun grootte, het besturingsorgaan beïnvloeden en daarmee de gehele gang van de berekening wijzigen. Een eenvoudig voorbeeld hiervan is het wijzigen van de tijdconstante van zeer klein tot normaal bij het volgen van een doel. Hierdoor kan een snel inlopen en toch glad volgen worden verkregen.

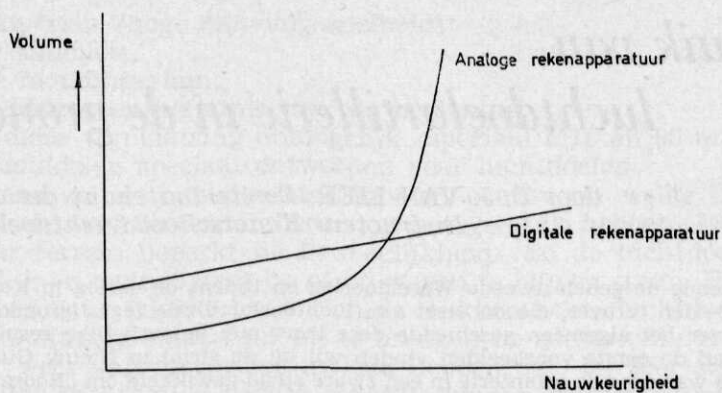
6. Het vermogen, dat nodig is om het rekentoestel in bedrijf te houden, is zeer gering. Een transistor-rekentoestel voor vuurleiding zal ongeveer 50 watt nodig hebben. Hierin is natuurlijk het vermogen van het radar-toestel en van de servobesturingen niet begrepen.

7. Het is mogelijk het besturingsorgaan zo te ontwerpen dat het rekentoestel zichzelf voortdurend controleert, door telkens een testberekening uit te voeren. Dit vereenvoudigt tevens het opsporen van fouten aanzienlijk.

8. De ervaring, verkregen met laboratoriummodellen van rekentoestellen, doet een goede bedrijfszekerheid verwachten. Dit geldt in het bijzonder bij het gebruik van transistoren.

Deze lijst van voordelen van het digitaal werkend rekentoestel was bij het begin van de research natuurlijk aanzienlijk korter, maar kon geleidelijk worden uitgebreid, doordat verschillende mogelijkheden later werden ontdekt, of ontstonden door het beschikbaar komen van nieuwe componenten. Zo kon het onder 6 genoemde voordeel worden toegevoegd na de invoering van de transistoren.

In de praktijk zal moeten blijken welke nadelen aan deze digitale apparatuur kleven. Wel kan worden gezegd dat men eenvoudige apparatuur, waaraan geen zware eisen, zoals bijvoorbeeld ten aanzien van de nauwkeurigheid worden gesteld, zeer zeker niet digitaal moet uitvoeren. Analoge rekenapparatuur van lage nauwkeurigheid is namelijk zeer klein. Het volume, het gewicht en de kosten zullen echter zeer snel toenemen wanneer een grote nauwkeurigheid wordt geëist. Digitale rekenapparatuur van lage nauwkeurigheid bevat reeds tamelijk veel componenten, maar verhoging van de nauwkeurigheid doet het volume, gewicht en kosten betrekkelijk langzaam stijgen. In afb. 2 wordt verduidelijkt welk karakter het verband tussen volume en nauwkeurigheid bijvoorbeeld kan hebben. Voor het gewicht en de kosten zal men soortgelijke krommen kunnen tekenen als functie van de nauwkeurigheid. Opgemerkt wordt echter dat de ligging van deze krommen



Afb. 2 Aanduiding van het verband tussen volume en nauwkeurigheid bij analoge en digitale rekenapparatuur.

zeer sterk afhangt van de aard van het probleem dat het betreffende rekentoestel moet oplossen. Zo zal de digitale rekentechniek eerder in het voordeel zijn wanneer meer geheugencapaciteit van de rekenmachine wordt geëist.

Als een nadeel van de digitale rekentechniek voor vuurleiding wordt wel aangevoerd dat deze apparatuur het onderhoudspersoneel minder aanspreekt dan analoge apparatuur, omdat men in de laatste ruimtelijk de stroom van informatie door het toestel kan volgen; bij digitale apparatuur daarentegen moet dit in de tijd gebeuren.

Slotopmerking

Met toepassing van de digitale rekentechniek zijn door het Fysisch Laboratorium RVO-TNO verschillende vuurleidingstoestellen in laboratoriumuitvoering geconstrueerd. Bij het laatste project, een digitaal werkend vuurleidingstoestel voor luchtdoelartillerie, is nauw samengewerkt met de N.V. Hollandse Signaalapparaten, die met de daar aanwezige kennis van de vuurleidingstechniek de realisering van dit project aanzienlijk heeft versneld.

Naschrift van de redactie

De kennis en de ervaring, die het Fysisch Laboratorium van de Rijksverdedigingsorganisatie TNO op het gebied van digitaal rekenen bezit, hebben ook in ruimere kring de aandacht getrokken. Toen dan ook de behoefte ontstond om een praktische toepassing te realiseren, namelijk een digitaal werkend vuurleidingstoestel voor luchtdoelartillerie, kostte het weinig moeite om voor dit vrij omvangrijke project de belangstelling en de financiële steun van de Amerikanen te verkrijgen. Deze steun, die via het te Parijs gevestigde Amerikaanse Mutual Weapons Development Team wordt verleend, stelt het leger in staat om ook in deze snel voortschrijdende techniek een eerste plaats te veroveren.