

Automatisering bij de vervaardiging van montageplaten met gedrukte bedrading

Ir. A. J. LEENHOUTS

PHYSISCH LABORATORIUM RVO-TNO

Samenvatting

Montageplaten met gedrukte bedrading voor het monteren van geïntegreerde schakelingen bevatten in het algemeen een gecompliceerd geleiderpatroon. Bij de vervaardiging van dergelijke montageplaten wordt veelal gebruik gemaakt van een fotografisch negatief. Het maken van het negatief is tamelijk tijdrovend. De montageplaten moeten verder in de regel voorzien worden van een groot aantal gaatjes voor doorverbindingen tussen geleiders aan voor- en achterzijde van de plaat. Door de hoge nauwkeurigheid waarmee deze gaatjes geboord moeten worden is dit eveneens een tijdrovende en kostbare bewerking.

Ter vereenvoudiging hiervan is op het Fysisch Laboratorium RVO-TNO een apparaat ontwikkeld waarmee de vervaardiging van negatieven en het boren van de doorverbindingsgaatjes op automatische en zeer nauwkeurige wijze geschiedt. In deze publikatie wordt een beschrijving gegeven van het principe en van de werkwijze van het apparaat.

Summary

Mounting boards with printed wiring for the assembly of integrated circuits normally contain a complicated conductor pattern. This pattern is often reproduced on the mounting boards with the help of a photographic negative. The manufacture of such a negative is a time consuming part of the production process. Besides this a mounting board normally contains a considerable number of small holes for the interconnections between conductors on both sides of the board. On account of the accuracy with which these holes have to be drilled this is another time consuming and costly procedure.

In order to simplify this work special equipment has been developed by the Physics Laboratory RVO-TNO which produces photographic negatives and drills interconnection holes in an automatic and very accurate way. In this article a description is given of the design-principles and the working method of the apparatus.

1. Inleiding

Voor de montage van elektronische apparatuur wordt tegenwoordig op grote schaal gebruik gemaakt van „gedrukte bedrading”. De onderdelen, zoals weerstanden, transistors en dergelijke, worden in dat geval op vlakke montageplaten ondergebracht. In onbewerkte toestand bestaan deze montageplaten uit een drager van elektrisch goed isolerend materiaal, waarop aan één of aan beide zijden een dunne koperlaag is aangebracht. Door verwijdering (weg-etsen) van het overtollige koper wordt op de montageplaat een geleiderpatroon gevormd, waarop de genoemde onderdelen vastgesoldeerd worden.

Onder de naam „geïntegreerde schakeling” wordt thans op elektronisch gebied in steeds toenemende mate een nieuw soort element toegepast. De geïntegreerde schakeling kenmerkt zich hierdoor dat hij het equivalent vormt van een complete elektronische schakeling, die in conventionele uitvoering meerdere, soms zelfs enige tientallen, componenten zou omvatten.

De geïntegreerde schakelingen kunnen in twee hoofdsorten onderscheiden worden, namelijk het dunne-film type en het monolithische type. De laatstgenoemde soort leent zich in het bijzonder voor toepassing in digitale informatieverwerkende apparatuur. In fig. 1 is een bekend type digitale schakeling, de „flip-flop”, in verschillende uitvoeringsvormen afgebeeld. Fig. 1a en 1b laten vóór- en achterzijde van deze schakeling in conventionele

uitvoering zien, gemonteerd op een plaatje dat voorzien is van gedrukte bedrading. Fig. 1c toont de flip-flop in de uitvoering als monolithische geïntegreerde schakeling. Het ligt voor de hand dat het gebruik van deze geïntegreerde schakelingen wegens de kleine afmetingen bijzondere montageproblemen met zich brengt. Gezien de grote aantallen digitale schakelingen die in elektronische rekenmachines en andere informatieverwerkende apparatuur voorkomen, zal speciaal de toepassing van geïntegreerde schakelingen op dat terrein een doelmatige montagemethode vereisen. Uit die behoefte is het apparaat, dat in dit artikel beschreven wordt, ontstaan.

Bij gebruikmaking van monolithische digitale schakelingen worden deze in de regel samengevoegd tot grotere eenheden. Een aantal, variërend van 10 tot 30 stuks, wordt gesoldeerd of gelast op een montageplaat, voorzien van gedrukte bedrading. Zie fig. 2. Aangezien elke schakeling meestal 10 of meer aansluitingen bezit moet op de montageplaat een gecompliceerd bedradingspatroon aangebracht worden om de nodige onderlinge verbindingen tot stand te brengen. Het meest gebruikelijk is momenteel de montageplaat die aan beide zijden voorzien is van gedrukte bedrading. Het miniatuur-aspect vormt meestal niet het voornaamste argument voor toepassing van geïntegreerde schakelingen. De hoge betrouwbaarheid en de nu reeds vrij lage prijs zijn in de regel nog belangrijker. Toch zal men

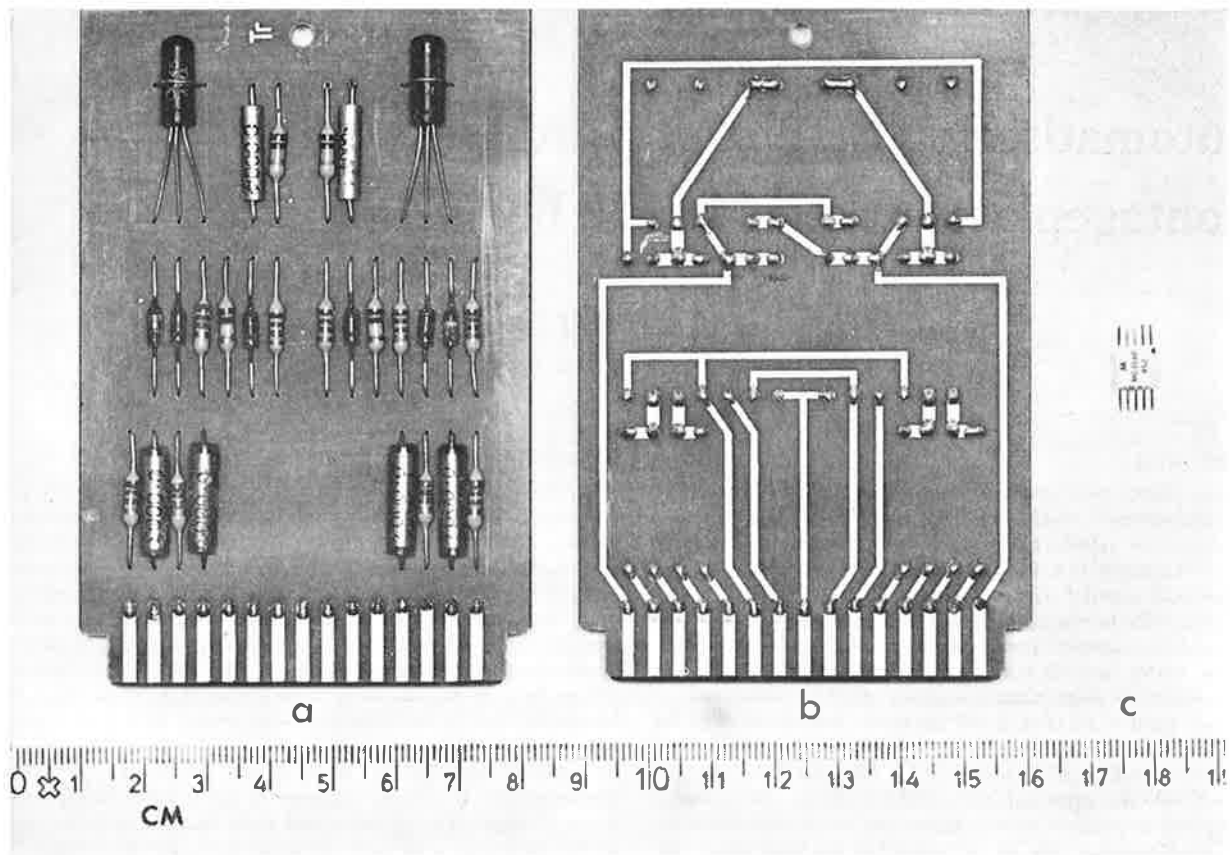


Fig. 1. „Flip-flop“-schakelingen

a en b: vóór- en achterzijde van een flip-flop, opgebouwd uit discrete componenten, op een montageplaat met gedrukte bedrading
c : flip-flop als monolithische geïntegreerde schakeling.

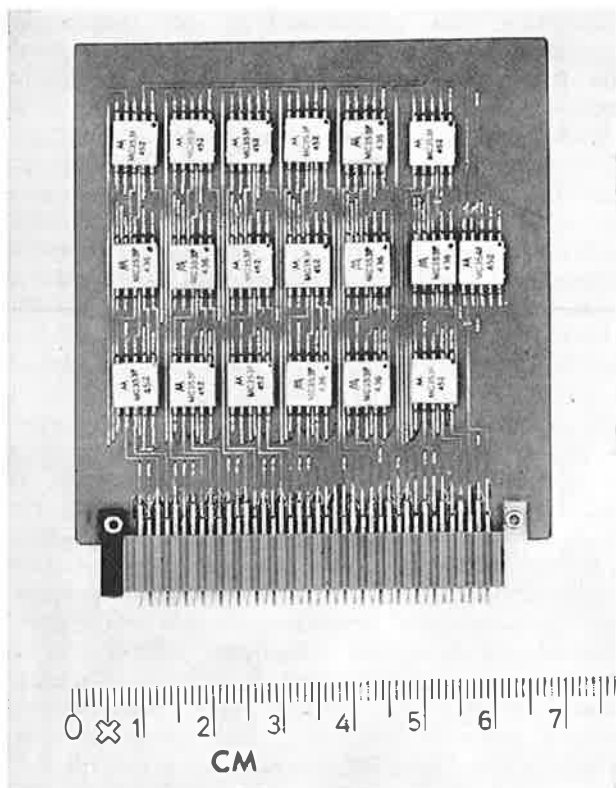


Fig. 2. Monolithische geïntegreerde schakelingen op montageplaat.

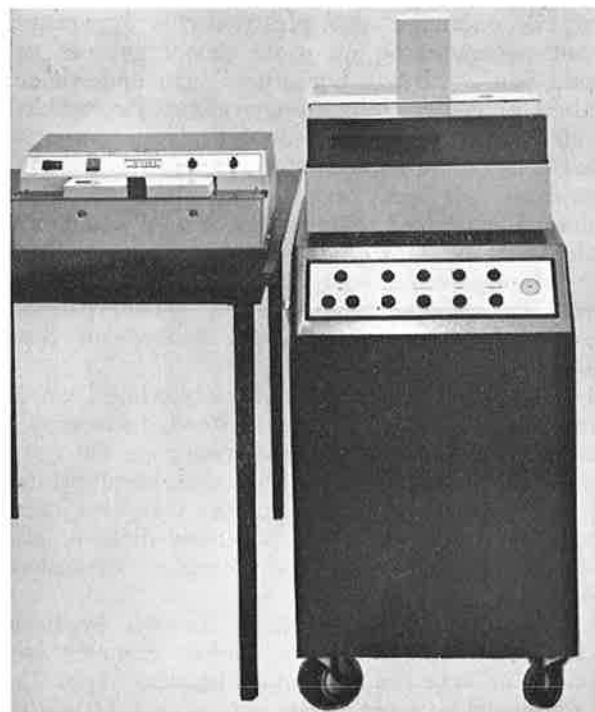


Fig. 3. Overzicht van de beschreven apparatuur
links : bandlezer
rechts onder: elektronisch besturingsgedeelte
rechts boven: tafel-transportstelsel met fotografeer-eenheid.

gaarne een montagemethode kiezen, die niet te zeer in strijd is met de kleine afmetingen van de eenheden.

Voor het aanbrengen van de gedrukte bedrading, of beter gezegd voor het weg-etsen van het overtollig kopermateriaal, wordt in veel gevallen, speciaal wanneer het fijne patronen betreft, uitgegaan van een fotografisch negatief. De gebruikelijke werkwijze om dit negatief te vervaardigen, namelijk het op vergrote schaal tekenen van het gewenste geleiderpatroon of het aanbrengen van plakstroken op een transparante ondergrond, is voor dit doel minder geschikt. In de eerste plaats is dit voor een gecompliceerd patroon een tamelijk tijdrovend en dus kostbaar werk, terwijl voor het behouden van de vereiste nauwkeurigheid bij de fotografische verkleining een vrij kostbare reproductiecamera nodig is. In een montageplaat met gedrukte bedrading voor geïntegreerde schakelingen moeten bovendien tientallen gaatjes aangebracht worden voor doorverbinding van geleiders aan voor- en achterzijde van de plaat. Het boren van de gaatjes op de gewenste posities met de vereiste nauwkeurigheid vergt speciale voorzieningen. Deze problemen wegen bijzonder zwaar wanneer van een bepaald type montageplaat slechts kleine aantallen vervaardigd moeten worden en wanneer veelvuldig nieuwe typen nodig zijn. Dit is juist bij experimenteel werk het geval. Om die reden is op het Fysisch Laboratorium RVO-TNO een apparaat ontworpen waardoor de vervaardiging van deze montageplaten belangrijk vereenvoudigd wordt.

2. Principe van het apparaat

Het apparaat heeft een tweevoudige functie:

- fotograferen van negatieven voor gedrukte bedrading
- boren van gaatjes in montageplaten, die met behulp van de onder *a* genoemde negatieven geëtsd zijn of zullen worden.

Het raster, dat aan de montageplaten ten grondslag ligt, is gebaseerd op de inch-maat. De reden hiervan is dat de onderlinge afstand van de aansluitdraden van de meest gangbare geïntegreerde schakelingen 1/10 of 1/20 inch bedraagt. Daarom is ook in dit apparaat de inch als lengtemaat gebruikt.

Door hetzelfde apparaat naast het fotograferen ook te gebruiken voor het boren van de doorverbindingsgaatjes wordt niet alleen een snelle maar bovenal een zeer nauwkeurige werkwijze verkregen. De apparatuur is afgebeeld in fig. 3. De benodigde gegevens voor het fotograferen van het negatief of voor het boren van de montageplaat zijn vooraf vastgelegd in een 8-spoors ponsband. Via een bandlezer (links in fig. 3) gaat deze informatie naar het elektronisch digitaal besturingsgedeelte. Daarop is het optisch/mechanische gedeelte geplaatst, waarin het fotograferen en boren plaatsvindt. In fig. 4 is het principe van het optisch/mechanische gedeelte schematisch aangegeven. Op de bodemplaat B is een zogenaamde stappenmotor M1 gemonteerd. Deze motor is direct gekoppeld met een draadas. De spoed van de schroefdraad is

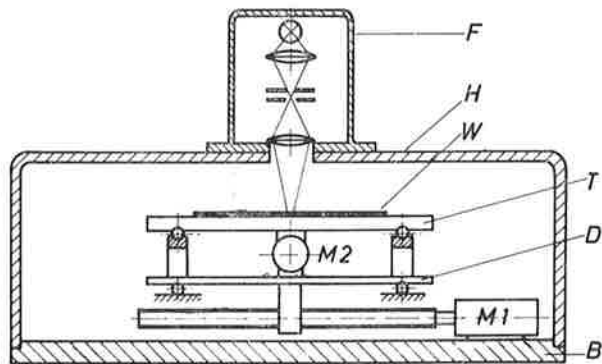


Fig. 4. Principe van het tafel-transportstelsel met fotografeer-eenheid.

1/10 inch. Deze draadas loopt door een moer, die bevestigd is aan de drager D. Wordt de motor M1 met een stapimpuls bekrachtigd, dan maakt de draadas 1/48 omwenteling. Dit correspondeert met een beweging van de drager over een afstand van 1/480 inch in een richting die we korthedshalve met X-richting zullen aanduiden. Op de drager, die uiteraard van een rechtgeleiding is voorzien, is weer een stappenmotor M2 gemonteerd, gelijk aan M1, welke via een draadas en een moer de montage-tafel T aandrijft in Y-richting. Het werkstuk W wordt op de tafel bevestigd. We onderscheiden nu twee gevallen: fotograferen en boren. Bij het fotograferen bestaat het werkstuk uit een fotografisch gevoelige plaat. Op het huis H wordt een fotografeer-eenheid F gemonteerd, bestaande uit een lichtbron (gloeilampje), condensor-lens, vierkant venster, sluiters en objectief. Bij geopende sluiters wordt een vierkant lichtvlekje op de fotografische plaat geprojecteerd. Door de tafel met behulp van de stappenmotoren intussen op de juiste wijze te verplaatsen wordt op de plaat een lijn gefotografeerd. De grootte van het vierkante venster is instelbaar, zodat lijnen van uiteenlopende breedte gefotografeerd kunnen worden. Gedurende het doorlopen van een traject waarbij niet belicht mag worden, bijvoorbeeld tussen het eindpunt van een lijn en het beginpunt van een niet-aansluitende volgende lijn, wordt de sluiters niet geopend.

Bij het boren wordt de te bewerken montageplaat op de tafel opgespannen. De fotografeer-eenheid wordt vervangen door een boor-eenheid. Deze bevat een continu lopende, door perslucht aangedreven boorspil met hoog toerental. Tevens bevindt zich in de boor-eenheid een kleine elektromotor waardoor de boorspil met de gewenste aanzet-snelheid naar beneden bewogen kan worden. Het werkstuk wordt telkens door middel van de stappenmotoren in de juiste positie gebracht voordat het boren plaatsvindt.

Zoals reeds eerder is opgemerkt wordt de informatie betreffende het boren en/of fotograferen vooraf in een ponsband vastgelegd. Deze informatie bestaat uit blokken van vier 8-bits karakters, die via de bandlezer aan het elektronisch besturingsgedeelte toegevoerd worden. Een informatie-blok omvat:

- beginpunt van een te doorlopen traject

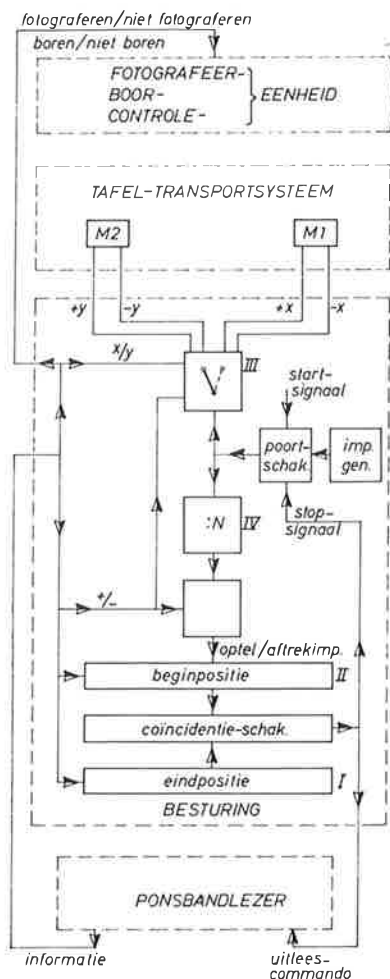


Fig. 5. Verwerkings-schema voor de ponsband-informatie.

- b. eindpunt van een te doorlopen traject
- c. bewegingsrichting: X of Y
- d. bewegingszin: positief of negatief
- e. indicatie of gedurende het doorlopen van het traject de sluiters open of gesloten moet zijn
- f. indicatie of aan het eind van het traject een gaatje geboord moet worden.

Volledigheidshalve dient opgemerkt te worden dat niet alle genoemde gegevens nodig zijn. In principe zou volstaan kunnen worden met *b*, *e* en *f*, waaruit de overige gegevens afgeleid kunnen worden. De overvloedigheid, die feitelijk in de ponsband-informatie aanwezig is, heeft echter als voordeel dat de elektronische besturing, die de gecodeerde informatie omzet in elektrische signalen, eenvoudig gehouden kon worden.

De informatie voor de sluiters volgens punt *e* heeft uiteraard alleen betekenis voor het fotograferen en die volgens *f* alleen voor het boren. De fotografeer-eenheid en de boor-eenheid zijn ieder van een afzonderlijke plug voorzien waarmee de nodige elektrische verbindingen met de rest van het apparaat gemaakt worden. Daardoor wordt bereikt dat, in geval van fotograferen, uitsluitend elektrische signalen, die voor het fotograferen van belang zijn, doorgegeven worden. Bij gebruik van de boor-eenheid worden op soortgelijke wijze alleen de ver-

bindingen aangesloten die voor het boren nodig zijn. In fig. 5 is schematisch aangegeven op welke wijze de ponsband-informatie in het besturings-gedeelte verwerkt wordt. Stel dat als onderdeel van een geleiderpatroon een lijn in negatieve X-richting gefotografeerd moet worden. Na aflezen van de betreffende informatie uit de ponsband staat dan in register I de X-coördinaat van het eindpunt van het af te leggen traject, en in register II de X-coördinaat van het beginpunt, dus van de momentele positie van de tafel. Door de indicatie „fotograferen” in de ponsband wordt de sluiters geopend. Vanuit de impulsgenerator loopt nu een reeks stap-impulsen naar de wisselschakeling III, die door de afgelezen ponsband-aanwijzing in de X-stand gezet is. Daardoor wordt de stappenmotor M1 zodanig bekrachtigd, dat de tafel in negatieve X-richting verplaatst wordt. De impulsen gaan tevens via een deelschakeling N naar het register dat aanvankelijk de beginpositie bevatte. In ons voorbeeld van een negatieve X-beweging wordt de inhoud van dit register door elke binnenkomende impuls met één verminderd totdat de inhoud gelijk wordt aan de eindpositie. Op dat moment wordt in de coïncidentie-schakeling een stopsignaal gevormd dat de impulsreeks van de generator onderbreekt en de sluiters dichtzet, waarna de bandlezer een nieuw uitleescommando voor een informatieblok ontvangt.

Uit fig. 5 blijkt dat geen terugmelding plaatsvindt vanaf het tafel-transportstelsel voor wat betreft de uitvoering van de opgedragen verplaatsing. Door uitvoerige proeven is gebleken dat elke stap-impuls op zeer betrouwbare wijze resulteert in een overeenkomstige elementaire verplaatsing van de tafel. Als controle is bovendien de volgende voorziening aangebracht. Bij het begin van een fotografeer- of boorproces wordt steeds uitgegaan van een mechanische beginpositie X_0, Y_0 voor de tafel. Als sluitstuk van de reeks instructies worden in de ponsband commando's opgenomen die de tafel weer naar de beginpositie X_0, Y_0 moeten brengen. Komt de tafel hierdoor inderdaad in de beginstand terug, wat met microschakelaars, in combinatie met de stand van de stappenmotoren, zeer nauwkeurig geconstateerd en door een controlelampje zichtbaar gemaakt wordt, dan is het vrijwel zeker dat het geprogrammeerde lijnenpatroon op correcte wijze doorlopen is.

De deelschakeling IV in het besturingsgedeelte maakt het mogelijk om de gewenste schaal voor het lijnenpatroon te kiezen. De deelwaarde N is met de hand instelbaar tussen 1 en 24. In het eerste geval is de verplaatsingseenheid van het te doorlopen patroon $1/480$ inch, in het laatste geval $1/20$ inch. De registers I en II kunnen 9 bits bevatten, zodat bij de rasterinstelling 1 het maximaal verplaatsings-bereik per informatieblok in X- en Y-richting $512/480 = 1\frac{1}{15}$ inch bedraagt. Bij rasterinstellingen van $N=8$ en hoger wordt het maximale bereik mechanisch beperkt tot 6 inch.

Na het gereedkomen van een ponsband is een controle van de inhoud wenselijk voordat tot fotograferen of boren wordt overgegaan. Voor dit doel kan in de plaats van de fotografeer- of boor-eenheid een controle-eenheid gemonteerd worden, die

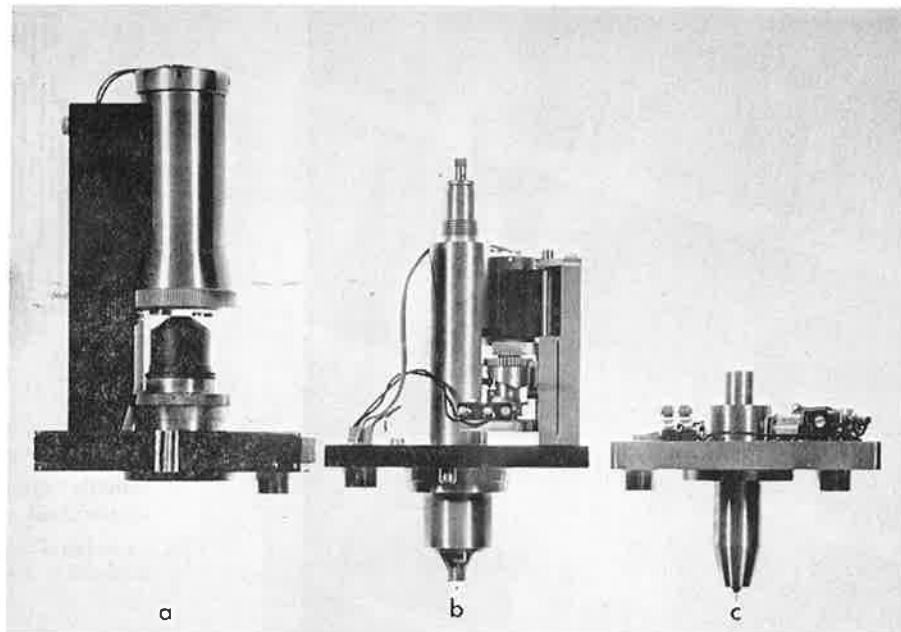


Fig. 6. a. Fotografeer-eenheid
b. Boor-eenheid
c. Controle-eenheid.

ter plaatse van de as van het optisch systeem of van de boorspil een tekenstift bevat, die verticaal beweegbaar is. Bij deze controle-procedure wordt in plaats van het werkstuk een blad tekenpapier opgespannen. De controle-eenheid bevat bovendien een schakelaar met de standen „fotograferen” en „boren”. Staat de schakelaar in de stand „fotograferen”, dan zal tijdens het verwerken van de ponsband-informatie de tekenstift naar beneden gaan op het moment dat anders de sluiters opening zou worden, en aldus het te fotograferen traject simuleren door een met de tekenstift getrokken lijn. In de stand „boren” zal de tekenpen even op het papier neergelaten worden op die momenten waarop anders de verticale boorspilbeweging plaats zou vinden. Daardoor worden de posities van de geprogrammeerde boorgaten gemarkeerd. Het is aanbevelenswaardig om bij de controleprocedures „fotograferen” en „boren” tekenstiften met verschillende inktkleur te gebruiken. Deze stiften zijn daarom eenvoudig verwisselbaar.

In fig. 6 zijn de drie besproken eenheden in geopende toestand afgebeeld.

3. Detailgegevens van het apparaat

Een aantal karakteristieke gegevens is in de onderstaande tabel samengevat.

- rasterinstelling: 1/480 - 1/240 - 1/160 - 1/120 - 1/80 - 1/40 - 1/20 inch
- lijnbreedte (bij fotograferen): continu instelbaar tussen 0,1 en 1,5 mm
- absolute positienauwkeurigheid ten opzichte van het referentiepunt X_0, Y_0 : $\pm 0,01$ mm
- maximale verplaatsing van de tafel in X- en Y-richting: 6 inch
- verplaatsingssnelheid van de tafel in X- en Y-richting: 5/16 inch/sec

- toerental boorspil: ca 30.000/min
- verticale aanzetsnelheid tijdens boren: ca 40 mm/sec
- boortijd per gat: ca 0,2 sec
- boordiameter: naar keuze 0,3 tot 0,7 mm.

De tijd benodigd voor het doorlopen van een volledig fotografeer- of boorprogramma, is uiteraard afhankelijk van de samengesteldheid daarvan. Praktische waarden zijn 5 à 10 minuten.

Het besturingsgedeelte omvat een aantal digitale schakelingen waarvan de functies in hoofdzaak in het blokschema van fig. 5 aangeduid zijn. Voor de praktische uitvoering is gebruik gemaakt van digitale standaard-eenheden die reeds een tiental jaren op het Fysisch Laboratorium in gebruik zijn. Fig. 7 is een detail-opname van het rek met deze eenheden. In dezelfde kast is ondergebracht de voeding-apparaat voor de digitale besturing. Ook de elektromagnetische afsluiter voor de perslucht-leiding heeft hierin een plaats gekregen.

Naast de reeds beschreven functies zijn ook een aantal automatische beveiligingen in de besturing ondergebracht. De voornaamste hiervan zijn:

- a. het apparaat kan niet gestart worden wanneer de besturingsregisters niet vooraf met behulp van een drukknop in de beginstand gebracht zijn
- b. het apparaat schakelt zichzelf automatisch uit wanneer het gestart wordt zonder dat zich een ponsband in de lezer bevindt
- c. de deksel van de cassette, die de fotografische plaat bevat, moet verwijderd zijn alvorens het apparaat het startbevel zal opvolgen
- d. wanneer, bijvoorbeeld door een fout in de ponsband, het tafel-transportstelsel buiten het toelaatbare bereik zou komen, wordt door mid-



Fig. 7. Detail-opname van het digitaal besturingsgedeelte.

- del van een eindstop-schakelaar de voedingspanning van de motoren onderbroken
- e. de verwerking van een boorprogramma is alleen mogelijk wanneer de vereiste druk op de persluchtleiding aanwezig is
- f. de stappenmotoren kunnen na het boren van een gat pas weer impulsen ontvangen wanneer een microschakelaar in de boor-eenheid geconstateerd heeft dat de boorspil weer omhoog gekomen is
- g. wanneer de boor, door welke oorzaak ook, vastloopt in het werkstuk, wordt na 1 à 2 seconden het apparaat automatisch uitgeschakeld. Dit uitschakelen voorkomt onder meer het verbranden van het elektromotortje, dat voor de op- en neergaande beweging van de boorspil zorgt
- h. wanneer het apparaat een ponsband verwerkt heeft en de tafel weer op het mechanisch beginpunt is aangekomen, schakelt hij de netspanning automatisch uit.

Ter illustratie is in fig. 8 een voorbeeld gegeven van twee negatieven die met het beschreven apparaat opgenomen zijn. Beide bevatten hetzelfde lijnenpatroon. In het ene geval was de rasterinstelling $N = 12$ ($1/40$ inch); in het andere geval $N = 6$ ($1/80$ inch). Fig. 9 geeft het testpatroon weer voor hetzelfde lijnenpatroon, met daarbij de punten waar gaten in de montageplaat geboord moeten worden.

4. De ponsband

Voorafgaande aan het fotograferen en boren zal een ponsband moeten worden vervaardigd die de

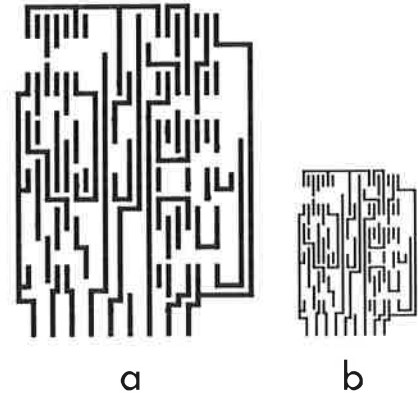


Fig. 8. Voorbeeld van een bedradingspatroon, gefotografeerd met het beschreven apparaat.

- a. rasterinstelling: $N = 12$ (elementaire verplaatsingseenheid = $1/40$ inch)
- b. rasterinstelling: $N = 6$ (elementaire verplaatsingseenheid = $1/80$ inch).

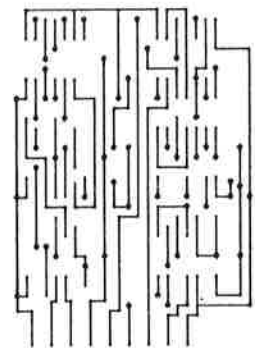


Fig. 9. Controle-tekening met boorposities, behorende bij het patroon van fig. 8.

nodige gegevens in binair gecodeerde vorm bevat. Uitgaande van een schetstekening van het gewenste bedradingspatroon, uitgevoerd op een rasterondergrond, kan door aflezing van de coördinaten van de begin- en eindpunten van de lijnen een lijst opgesteld worden die de nodige informatie bevat, welke vervolgens in een ponsband vastgelegd wordt.

Het is duidelijk dat het apparaat ook uitstekend aansluit bij automatisering van het ontwerpen van bedradingspatronen met gebruikmaking van een universele rekenmachine. In dat geval vervalt de tussenfase waarin de ontwerper, uitgaande van zijn principe-schema, zelf een bedradingspatroon schetst. Alle moeizame routine-bewerkingen, liggende tussen het ontwerpen van de gewenste schakeling en het etsen van de benodigde montageplaat, kunnen dan door een keten van geautomatiseerde en daardoor snelle en efficiënte bewerkingsprocessen vervangen worden.

5. Besluit

Gaarne vermeldt de schrijver het belangrijke aandeel dat de heren Ch. van der Niet en H. de Nooy hebben gehad in het ontwerp en in de uitvoering van respectievelijk het elektronische en het optisch/mechanische gedeelte van de beschreven apparatuur.