

G I E R

SÆRTRYK ☆ „INGENIØREN” NR. 24 ☆ 15. DECEMBER 1961

P. HANSENS BOGTRYKKERI — KØBENHAVN

G I E R

Den logiske struktur

Af afdelingsgeodæt, mag. scient T. Karup, Geodætiske Institut
og afdelingsleder, lektor Bj. Svejgård, Københavns Universitet

Indledning

Representation af tal

Ordreopbygning

Operationsliste

Systemplanlægning og kredsløb

Af civilingeniør Henning Isakson og
civilingeniør Bent Scharøe Petersen, Regnecentralen, ATV

Indledning

Registerstruktur

Ord- og ordrelængde

Mikroprogrammering

Administration af tromle

Kredsløbsteknikken i GIER

Dimensioneringsprincipper

Komponenttyper

Transportsystem

Adder

Styreenhed

Gm-forstærker

Mekanisk opbygning

GIER

Artiklen giver en fremstilling af de logiske principper, der ligger til grund for den elektroniske regnemaskine GIER. Ordrestruktur og de forskellige automatiske adressemodifikationer gennemgås, idet der fortrinsvis er lagt vægt på de punkter, hvor GIER adskiller sig fra ældre maskiner. Der bringes en fuldstændig oversigt over maskinens operationsliste.



Centralenheden af GIER indeholdes i skabet i baggrunden. På bordet står til venstre en læser for papirbånd, i midten selve manøvrepanelet og til højre en skrivemaskine for ind- og udlæsning og bag skrivemaskinen en hurtig perforator til udlæsning.

Den logiske struktur

518.5:621.38:681.14

Af afdelingsgeodæt, mag. scient. T. Krarup, Geodætisk Institut, og afdelingsleder, lektor Bj. Sveigård, Københavns Universitet

Den logiske opbygning af GIER (Geodætisk Instituts Elektron Regnemaskine) adskiller sig på adskillige punkter fra mere konventionelle maskiner. Naturligvis er de grundlæggende principper velkendte, idet de stort set må være de samme i alle cenadresse maskiner. Forsyner man imidlertid en maskine med de nødvendige funktioner og kun med disse, vil programmering af maskinen i almindelighed blive en meget besværlig affære. I GIER har man søgt at nå frem til en bekvemmere programmering ved at automatisere en række af de kodningsprincipper, der, udviklet i tiåret fra den første elektronmaskine stod færdig, til den første planlægning af GIER begyndte, havde udviklet sig til rene ritualer.

Maskinen er en middelstor maskine med 1024 celler i en ferrithukommelse og 12800 celler på en magnetromle. Hver celle rummer 40 bits, hvortil kommer to specielle bits, der tjener særlige formål. Maskinen arbejder parallelt, og dens arbejdhastighed er groft karakteriseret derved, at additionstiden er ca. 40 μ s, multiplikationstiden gennemsnitligt ca. 150 μ s. Disse tal gælder for regning med fast komma. Den indbyg-

gede flydende regning har ca. den dobbelte additions-tid, men samme multiplikationstid.

I den grundlæggende form har maskinen indgang fra en strimmellæser, der læser 500 tegn/sec og udgang på en perforator, der huller 150 tegn/sec. En skrivemaskine i fast forbindelse med centralenheden kan benyttes både som indgang og som udgang. Der er imidlertid i den tekniske opbygning forudset mulighed for tilkobling af andre ydre enheder såsom magnetbånd og hulkortaggregater og linieskrivere. En Flexowriter (off line) tjener til fremstilling og udskrivning af papirhulbånd.

Da maskinen er en rent binær maskine, vil ethvert celleindhold være en konfiguration af eettaller og nul-ler. En sådan konfiguration tillægges ikke a priori nogen betydning, denne fremgår først af den behandling, den i cellen værende information gøres til genstand for af programmet. En celle kan altså bruges til opbevaring af information af en vilkårlig type, men der findes dog visse informationstyper, som er af speciel interesse, og disse vil derfor blive gennemgået i det følgende.

0	9	10							39	40	41
EkspONENT			Numerus								

Placering af flydende tal i celle.

0	9	10	19	20	25	26	32	33	39	40	41
Adressedel		Tælledele		Operation		S () r s X V D		Indikatordele		0 F	

Repræsentation af helordsordrer.

0	9	10	19	20	25	26	29	30	35	36	39	40	41
Adressedel 1		Adressedel 2		Operation 1		S () r s		Operation 2		S () r s		1 F	

Repræsentation af halvordsordrer.

1) Maskintal.

Disse er tal i intervallet $-1 \leq x < +1$. Et positivt maskintal har 39 binaler, hvilket vil sige, at den mindst betydende position får en værdi på ca. 2×10^{-12} . De negative maskintal er repræsenteret ved deres 2-komplement. Dette medfører, at positive tal og nul får et nul i deres højeste position, mens de negative tal har et et-tal i den højeste position. I det ydre sprog skrives et sådant tal som et sædvanligt decimaltal evt. efterfulgt af en tipotens ($-356.43_{10} - 4$).

2) Flydende tal.

Et vilkårligt tal forskelligt fra nul kan skrives $p \times 2^q$, hvor $1 \leq p < 2$ eller $-2 \leq p < -1$, p benævnes numerus og q eksponenten. Vi kalder den mest betydende position af en celle position 0 og den mindst betydende position 39. p placeres nu således i cellen, at kommaet kommer til at stå mellem position 11 og position 12. Positive p er repræsenteret ved deres binære ækvivalent og negative p ved det binære ækvivalents 2-komplement. Numerus optager således 30 positioner af cellen. Eksponenten anbringes på tilsvarende måde i de 10 første positioner af cellen. q kommer altså til at ligge i intervallet $-512 \leq q \leq +511$, hvilket vil sige, at den numeriske værdi af et flydende tal skal tilhøre intervallet fra ca. $0.74_{10} - 154$ til $1.34_{10} + 154$. I det ydre sprog skrives et sådant tal som et sædvanligt decimal tal med eller uden fortegn evt. efterfulgt af en tipotens (eller evt. af en tipotens alene med eller uden fortegn).

3) Ordre.

En celle kan indeholde en eller to ordre. I første tilfælde taler man om en helordsordre, i det andet om halvordsordrer. Hvordan en ordre skal skrives i det ydre sprog er ikke noget, der er fastlagt ved maskinens logiske struktur, men bestemmes af det læseprogram, der oversætter det ydre sprog til intern repræsentation. Den ydre repræsentation af ordrene, der benyttes i praksis, har dog en simpel relation til den interne repræsentation. En helordsordre består af forskellige elementer, hvoraf de fundamentale er en operationsdel og en adressedel. Grundoperationen betegnes med to store bogstaver, der er et stenografisk udtryk for grundoperationens virkning. Således betyder fx. AR »adder til resultatregistret«. (Resultatregistret er den del af maskinen, hvor resultatet af en aritme-

tisk operation normalt vil stå, når operationen er udført). Adressedelen er i sin simpleste form et tal, der angiver nummeret på den celle i ferritlageret, hvorfra en operand skal hentes, eller hvortil den skal bringes. Ved enkelte ordre har adressedelen dog en noget afvigende betydning.

I sin simpleste form kan en ordre fx. se således ud
AR 136.

Dette betyder, at indholdet af celle nummer 136 (opfattet som maskintal) skal adderes til det øjeblikkelige indhold af resultatregisteret, og at det udkomne resultat skal anbringes sammesteds.

Grundoperationsbetegnelsen oversættes af læseprogrammet til en konfiguration af eettaller og nuller ialt omfattende 6 bits, som anbringes i cellens positioner 20—25. Tilstedeværelsen af et ettal i position 26 noteres i det ydre sprog som et S og medfører, at resultatregistret nulstilles, inden operationen udføres. Dette gælder en hvilken som helst operation. Adressedelen oversættes af læseprogrammet til sin binære repræsentation og anbringes i pos. 0—9.

Inden en ordre udføres, kan dens adressedel gøres til genstand for forskellige modifikationer. En sådan modifikation har man, hvis man fx. skriver AR r+136. Betydningen af dette r, der i den interne repræsentation er markeret ved et ettal i position 28 og et nul i position 29, er, at nummeret på den celle, hvori ordren står, adderes til adressedelen, inden ordren udføres. Hvis den nævnte ordre står i celle 17, vil den altså fungere, som om den havde heddet AR 153. Ordren forandres imidlertid ikke ved denne modifikation, således at dens adressedel fortsat er 136. Meningen med denne modifikation er, at man ikke ønsker at angive operandens absolute placering i lageret, men kun den relative placering i forhold til den ordre, der refererer til den. Dette har den store betydning, at et program kan skrives på en sådan måde, at det er uafhængigt af sin placering i lageret.

På samme måde kan man naturligvis skrive fx. AR r-56, der, hvis den er placeret i celle 100, er ensbetydende med AR 44.

En tilsvarende modifikation af adressen opnås, hvis man sætter pos. 28 = nul og pos. 29 = een. Denne modifikation noteres udadtil som s. Man kan altså skrive fx. AR s+2 eller AR s-78. Virkningen af dette s er, at adressen modificeres med indholdet af et særligt register kaldet sekvensregistret. Dette regi-

sters indhold ændres automatisk under programmets afløb, når visse bestemte hopordrer udføres, men er konstant indenfor hver programdel. Som ved r-modifikation gælder det, at adressedelen efter ordrens udførelse er uændret.

Sættes både pos. 28 og pos. 29 lig een, har man den såkaldte p-modifikation. Således betyder AR p-45 det samme som AR 5, hvis p-registret indeholder 50. p-registret er et register, hvis indhold bestemmes af koderen ved hjælp af specielle ordre. Det er altså et helt normalt indeksregister (maskinens eneste), men derudover kan enhver celle i ferritlageret fungere som indeksregister.

p-modifikationen er af samme art som r- og s-modifikationerne derved, at den ikke medfører nogen blivende ændring af adressedelen.

De her anførte fire former for adressering kan i det ydre sprog omgives med en parentes, hvilket medfører, at bit 27 sættes lig 1. Betydningen af dette er, at den anførte adresse ikke bliver operandens adresse, men derimod adressen på en adresse. Denne kan igen være parentesmærket og så fremdeles, indtil en adresse findes, der ikke er parentesmærket. Denne såkaldte indirekte mærkning har den fordel, at det er muligt at ændre en adresse i mange ordre ved blot at ændre adressen i een celle og derefter henvise til denne celle ved den indirekte mærkning. Hvis en ordre ikke indeholder andre elementer end de allerede omtalte, kan den finde plads i en halv celle. To sådanne ordre anbragt i samme celle vil placeres således, at den første optager positionerne 0—9 og 20—29, den anden positionerne 10—19 og 30—39. At cellen indeholder to halvordsordre vises ved, at pos. 40 sættes lig 1. Sættes pos. 41 tillige lig 1, vil den eller de i cellen værende ordre, der har mening i forbindelse med flydende regning, blive udført i overensstemmelse hermed. Dette vises i det ydre sprog ved til operationsangivelsen at føje et F. Fx. kan et celleindhold se således ud:

ARF p-3, HV (r+4)

Dette betyder, at maskinen efter at have udført den flydende addition til det flydende resultatregister skal tage næste ordre i den celle, hvis adresse står i celle r+4.

Hvis man anvender en hel celle til en ordre, bliver der mulighed endnu en form for adressemodifikation, der i modsætning til de allerede nævnte er en blivende forandring, således at ordren efter at være udført virkelig har fået sin adressedel ændret i lageret.

Skriver man fx. ordren

AR 17 + 2

vil ordren, første gang den udføres, have samme virkning som AR 19, hvorefter den vil være ændret til AR 19 + 2. Næste gang den udføres, vil den have virkningen AR 21 og være ændret til AR 21 + 2 o. s. v. Den konstant, pos. eller neg., hvormed der tælles, anbringes i pos. 10—19. Fastlægges adressen gennem en parenteskaede, som ovenfor beskrevet, foregår tællingen i det yderste, ikke parentesmærkede led.

I en helordsordre falder de resterende positioner i to grupper. Positionerne 30—32, der i rækkefølge betegnes X, V, D udvirker visse modifikationer af grundoperationen. X medfører, at resultatregistrets indhold og multiplikatorregistrets indhold bytter plads, når operationen er udført. Multiplikatorregistret er det

register, hvor en multiplikator normalt er anbragt under multiplikationen. V-modifikationen betyder, at indholdet af den næste celle skal overspringes. Denne modifikation medfører den behagelighed, at en lagring af et mellemresultat kan finde sted lige efter lagringsordren, der i så tilfælde V-mærkes. Tillige finder den anvendelse i forbindelse med betingede ordre, hvorved der opstår mulighed for at betinge ordre af forskellige logiske funktioner. D-modifikationens betydning er ikke helt den samme ved alle grundoperationer, men dens grundlæggende betydning er, at den gør den resulterende adresse i den pågældende ordre til operand.

En stor del af logiken i et program kan bestyres ved hjælp af en anordning, der kaldes indikatoren. Denne, der er noget specielt for GIER, er et register, der tjener til at opbevare information om overløb, nulsituationer, fortegn og mærkning (de to sidste pos. i en celle). Enhver ordre kan gøres betinget af det øjeblikkelige indhold af denne indikator, foruden at enhver ordre kan gøres betinget af det øjeblikkelige indhold af resultatregistret. Det må altså understreges, at det ikke som i de fleste elektronmaskiner kun er hopordrerne, der kan være betingede.

Indikatoren indeholder 10 positioner, der falder i 5 par. Heraf tjener et par til opbevaring af information om overløb og nulsituation, et par til opbevaring af fortegn og tre par til mærkning. Disse positioner betegnes i den anførte rækkefølge

Oa, Ob, Ta, Tb, Pa, Pb, Qa, Qb, Ra, Rb.

En ordres udførelse kan nu gøres afhængig af indikatorens indhold ved til ordren at føje fx. LPA. Ordren vil da og kun da blive udført, når Pa indeholder et ettal, LPB lader ordren udføre, når Pb = 1, og LPC (= LPAB) gør ordren betinget af, at Pa, Pb = 1,1. Tilsvarende betyder NPA, at ordren skal udføres for Pa = 0, NPC for Pa, Pb = 0,0. På tilsvarende måde kan et andet indikatorpar anvendes.

Information kan føres til indikatoren i forbindelse med en vilkårlig ordre ved hjælp af indikatoroperationer, der indledes med et I. ITA betyder, at Ta sættes lig 1, hvis resultatet af den lige udførte operation er negativt og lig 0, hvis det er positivt.

ITB fører informationen til Tb og ITC til både Ta og Tb. Overløb gemmes ved analoge indikatorordre i Oa og Ob og mærkning i et af de tre sidste par indikatorceller. Mærkningen af en celle vil nemlig, samtidig med at et celleindhold føres til den aritmetiske enhed, føres til to specielle celler i resultatregistret uden dog på nogen måde at tage del i de aritmetiske processer. Cellens mærkning kan da i samme ordre føres til indikatoren ved ordre som IPA, IPB, IPC o. s. v. En ordres udførelse kan også betinges af indholdet af disse to positioner i resultatregistret ved ordre som NA, NB, LC, der er ganske analoge med de ordre, hvormed en operation betinges af fortegn og overløb, idet disse hedder fx. LT, NO o. s. v. Når indholdet af et register gemmes i lageret, er det samtidig muligt at bestemme cellens mærkning, enten ubetinget som ved ordrene M, MA, MB, MC, der alle giver cellen den antydede mærkning, eller ved ordre som MTB, der gør cellens mærkning afhængig af indholdet i en eller et par indikatorceller.

De sidste 7 positioner i en helordsordre er nu benyttet til angivelse af alle disse operationer, idet pos.

33—34 rummer en af angivelserne I, L, M eller N, pos. 34—36 en af adresserne K, Z, O, T, P, Q eller R. De to sidste pos. 39—40 angiver A eller B (og deres kombination C).

De tre hidtil anførte informationstyper: maskintal, flydende tal og ordrer, er dem, hvis lagringsform er knyttet til maskinens struktur. To andre informationstyper, de såkaldte heltalsgrupper, der tillader lagring af indtil fire parametre i en celle, og tekst, hvis lagring normalt strækker sig over flere celler, har en lagringsform, der udelukkende er bestemt af læseprogrammet.

Den i det foregående omtalte mærkning af celler har som tidligere nævnt sin specielle opgave i forbindelse med ordrer. I celler, der ikke indeholder ordrer, kan mærkningen anvendes frit af koderen til de mest forskelligartede formål. En hyppig anvendelse vil være til angivelse af forskellige inddelinger af et talmateriale, hvorved kodningen undertiden kan lettes betragteligt. Som et simpelt eksempel kan man tænke sig følgende opgave:

Der er givet et antal observationer, der falder i visse grupper med et varierende antal observationer i de forskellige grupper. Under behandlingen af disse observationer ønsker man bl.a. at danne summen af observationerne i hver gruppe for sig.

Dette kan realiseres på følgende måde: Under indlæsningen af observationerne kan man lade den sidste observation i hver gruppe være mærket med et a, og den sidste observation i hele observationsmaterialet med både et a og et b. Vi kan tænke os, at observationerne er lagret i på hinanden følgende celler startende i celle 100. Summerne ønskes lagret i på hinanden følgende celler begyndende i celle 1, og det forlanges, at den sidste sum skal være b-mærket. Nedenstående programstump vil da løse den stillede opgave

AR	99	IPC	+1
HV	r-1	NA	
GR	0	MPB	+1
HVS	r-3	NPB	
næste ordre			

idet man går ud fra, at resultatregistret indeholder nul, når man går ind i programmet.

Når første ordre udføres første gang, adderes indholdet af celle 100 ind i resultatregistret, og ordren ændres til AR 100 IPC +1. Samtidig vil celle 100's mærkning føres til de to mærkepositioner i resultatregistret, og der sker en indicering af denne mærkning. Næste ordre udføres, hvis den lige hentede celle ikke var mærket med et a, d.v.s. der hoppes tilbage til første ordre, der udføres påny og får sin adresse øget med 1. Således fortsættes, indtil maskinen når en a-mærket celle. Når det er sket, overspringes ordren HV r-1 NA, og næste ordre lagrer den fundne sum i celle med en evt. b-mærkning. Den fjerde ordre udføres kun, hvis det sidst adderede celleindhold ikke var b-mærket. Ordren sletter resultatregistret, hopper tilbage til første ordre, og spillet begynder forfra, indtil en ny a-mærket celle nås, og summen vil lagres i celle 2. På denne måde fortsættes, indtil den sidste observation, der jo var både a- og b-mærket, er nået, hvorefter maskinen går videre i programmet. Man ser altså, at det er ganske unødvendigt at tilføre maskinen information om, hvor mange observationsgrupper,

der er tale om, eller hvor mange informationer, der findes i de enkelte grupper. Det samme program kan altså anvendes overfor en ny observationsrække af en anden længde og med anden opdeling i grupper. Denne observationsrække kan være anbragt et andet sted, og summerne ønskes måske også lagret andetsteds. Til at angive startadressen med benyttes ordren PA (se oversigten over operationerne).

Gennemgår man operationslisten, vil den, der er bekendt med andre maskiner, bemærke fraværelsen af særlige ordrer for højreforskydning og venstreforskydning. Forklaringen herpå er, at forskydningsordrerne (TK, TL, CK, CL) ved fortegnet for deres adressedel angiver retningen af forskydningen. Således betyder fx. TK -6, at indholdet af resultatregistret skal forskydes 6 pladser til højre, d.v.s. skal multipliceres med 2^{-6} .

Blandt de mange hopordrer findes to særligt interessante, nemlig ordrene HS og HR. Disse anvendes ved hop til subrutiner (HS) og ved returhop (HR) fra disse. Herunder kommer det tidligere nævnte sekvensregister til anvendelse, idet der under udførelsen af en HS-ordre bl. a. sker det, at sekvensregisterindholdet overføres til HS-ordres tælledele, mens adressen på hopordren overføres til sekvensregistret. Under udførelsen af en HR-ordre vil tælledele af den celle, hvis adresse står i sekvensregistret, overføres til sekvensregistret. Herved er der realiseret en fuldautomatisk administration af subrutiner i vilkårlig mange niveauer.

Også i sin aritmetik viser GIER træk, der tjener til at lette kodningen. Opstår der således ved en aritmetisk operation et overløb, vil fortegnet for resultatet være korrekt, og det halve resultat kan fås ved en normalisering eller en højreforskydning på én plads. GIER's normaliseringsordrer er særegne derved, at en normalisering ikke alene kan foregå til venstre, men også til højre, hvilket sidste netop bliver aktuelt ved et overløb. (At normalisere et tal vil i en binærmaskine sige at multiplicere det med en sådan positiv potens af to, at tallet kommer til at ligge i et af de to intervaller $-1 \leq x < \frac{1}{2}$ og $+\frac{1}{2} \leq x < +1$).

For divisionen gælder, at det altid er muligt at dividere med et normaliseret tal. Det er altså ikke som i de fleste maskiner nødvendigt ved division af og med maskintal at forlange, at dividenden skal være mindre end divisor i numerisk henseende.

De to multiplikationsordrer ML og MK kan udføre akkumulerende multiplikationer, og ML er i lighed med DL udformet på en sådan måde, at regning med hele tal er en umiddelbart tilgængelig proces.

Generelt kan det om ordrestrukturen siges, at selv om den ved første blik kan synes noget kompliceret, så muliggør den ofte programmer, der er langt simple end det tilsvarende program i en maskine med et mindre avanceret programmeringssystem, idet det i vid udstrækning er muligt at afvikle programmets logiske administration sideløbende med de egentlige regninger.

I denne artikel har naturligvis kun kunnet fremføres de mere karakteristiske træk ved GIER. En detaljeret gennemgang af ordresystemet ville føre ud over artiklens rammer, og interesserede må henvises til »Lærebog i kodning af GIER«, udgivet af Regnecentralen.

OPERATIONSLISTE FOR GIER

GRUND-OPERATIONER

Addition

AR (F) Adder til R.
AN (F) Adder num. til R.
AC Adder R til celle.
AB Adder logisk.

Multiplikation

MK (F) Multipliker kort.
ML Multipliker langt.
MT Multipliker med celletegn.
MB Multipliker logisk.

Placering i registre

PM Placer i M.
*PI Placer result. adr. i in. med ordrens tællede
som maske.
*PP Placer result. adr. i p-reg.
*PS Placer result. adr. i s-reg.

Indsætning

PA Indsæt ordretællede i celleadr. del
PT Indsæt ordretællede i celletællede

Hop

*HV Hop til venstre halvord.
*HH Hop til højre halvord.
*HS Hop til sekvens.
*HR Hop retur fra sekvens.
*HK Hop på kanal.

Modifikationer:

S : R nulstilles, før grundoperationen udføres (hec og hac).
X : R og M ombyttes, efter grundoperationen er udført (hec).
V : Næste helcelle overspringes (hec).
D : Regning med adressedele, forkortelser af parentes-kæder (hec). De med * mærkede grundoperationer er automatisk-D-modif.
F : De således mærkede 9 ordrer kan regne med flydende tal (F mærker hec).

Indikatoren:

(Ka Kb)
Oa Ob Ta Tb Pa Pb Qa Qb Ra Rb

Indikatoroperationer:

I : Indicering af mærkning (PQR), overløb og nulsituation (O) og fortegn (T).
N : Ordren udføres kun, hvis den angivne indikatorbit er 0.
L : Ordren udføres kun, hvis den angivne indikatorbit er 1.
M : Den angivne celle mærkes, enten bestemt eller afhængig af indikatoren.

Nyttige ordrer:

TK 10 F : Flydende tal i R_p til maskintal i R.
NK 0 F : Maskintal i R til flydende tal i R_p .

Subtraktion

SR (F) Subtraher fra R.
SN (F) Subtraher num. fra R.
SC Subtraher R fra celle.

Division

DK (F) Divider kort.
DL Divider langt.

Forskydning

NK (F) Normaliser kort.
NL Normaliser langt.
*TK (F) Talskift kort.
*TL Talskift langt.
*CK Cyklisk forskydning kort.
*CL Cyklisk forskydning lang.

Gem registre

GR (F) Gem R.
GM Gem M.
GA Gem R's adr. del i cellens adr. del.
GT Gem R's tællede i cellens tællede.
GI Gem in. i cellens adr. del.
GK Gem in. i cellens adr. del og kanalreg. i celletællede.

Hjælpeordrer

QQ Ingen grundop. Modif. udføres.
ZQ Stop. Modif. udføres.
XR M og R ombyttes.

Satellitordrer

*IS Benyt som s-værdi. X, V mod. virker ikke.
*IT Benyt som tællede. X, V mod. virker ikke.

Betingende ordrer

*BS Betingende statisk hvis result. adr. $\leq$ tællede,
ordre
*BT Betingende ordre da hop over følg. hhac. med tælling

Coincidens

CM M betinget da hop over følg. hhac.
coincidens: da hop over følg. hhac.
*CA Ikke coincidens i adr.:

Udfør

UH Udfør nu med herværende s og r.
UD Udfør nu med derværende s og r.

Kontakt med ydre enheder

*VY Vælg ydre enhed.
*SY Skriv med ydre enhed (Res.adr. Pos. 3—9).
LY Læs fra ydre enhed til lager og R.

Tromleordrer

*VK Vælg tromlekanal.
SK Skriv på tromlekanal fra lager.
LK Læs fra tromlekanal til lager.

Systemplanlægning og kredsløb

Af civilingeniør Henning Isaksson og

civilingeniør Bent Scharøe Petersen,

Regnecentralen, ATV.

Artiklen giver en oversigt over GIER-planens fremkomst og de betragtninger, der førte til udformningen af registersystemet. Endvidere gives en gennemgang af den anvendte kredsløbsteknik, dimensioneringsprincipper og praktisk opbygning. Endelig omtales fremstillingen af et mindre antal kopier af GIER.

518.5:621.38:681.14

GIER står som forkortelse for Geodætisk Instituts Elektroniske Regnemaskine. I slutningen af 1958 rettede Geodætisk Instituts direktør, professor dr. phil. Einar Andersen en forespørgsel til Regnecentralen angående bygning af en mindre elektronisk cifferregnemaskine. Der blev oplyst, at instituttet ville kunne afholde et begrænset beløb over en kortere årrække til dette formål. Vi sagde fra Regnecentralen ret omgående ja til at påtage os opgaven, idet den betød, at vi hurtigere end ellers kunne komme i gang med at udvikle transistoriserede regnemaskinekredsløb i større stil, end vi på daværende tidspunkt havde nået. Ud over betaling til Regnecentralen skulle Geodætisk Institut også bidrage med arbejdskraft i samarbejdet, som skulle resultere i, at de to institutioners erfaring inden for den automatiske regnings teknik blev samarbejdet. For Geodætisk Institut udformede afdelingsgeodæt mag. sc. Torben Krarup og lektor mag. sc. Bjarner Svejgaard kravene til maskinens funktion. Dette samarbejde startede reelt i eftersommeren 1959.

Som nævnt ovenfor var konstruktionen af GIER en bunden opgave i økonomisk henseende. Inden for de angivne beløbsrammer skønnede vi med de da gældende priser, at der højst kunne være tale om at benytte et ferritlager på 1024 ord à ca. 40 bits, og at hovedmængden af lageret måtte blive en magnetisk tromle på 12000 ord. Problemet med tilgangstid til tromlen skulle så løses bedst muligt elektronisk. Endvidere var det klart, at ind- og udlæsningsapparat for papirbånd skulle købes færdigt, for så vidt angik de mekaniske enheder. Herved var opgaven reduceret til kun at omfatte udvikling og fremstilling af de fornødne transistoriserede kredsløb, ganske vist en stor opgave, men dog inden for et område, hvor vi mente os kapable.

Ud fra de nævnte forudsætninger skulle så træffes valg i følgende hovedspørgsmål:

1. Parallel- eller seriemaskine?
2. Registerstruktur.
3. Ord- og ordrelængde.
4. Mikroprogrammeringssystem.

Det første spørgsmål afgjordes ret hurtigt til fordel for parallelmaskinen. Det var klart, at seriemaskinen, med iøvrigt samme komponenter, var billigere, men også væsentlig langsommere end parallelmaskinen, og da vi yderligere fra DASK havde erfaring med en parallelmaskines opbygning og funktion faldt valget naturligt nok på parallelmaskinen.

Registerstruktur.

Vi havde allerede med DASK erfaret, at en maskines instruktionsliste er noget, man altid ønsker at ændre på. Her stod vi overfor at skulle starte helt fra bunden med nye ideer, som endnu ikke var gennemprøvede. Det var da naturligt at søge efter en registerstruktur, som gav den størst mulige flexibilitet samtidig med god økonomi, d. v. s. udførelse af så mange funktioner som muligt med de samme registre.

Betragter man en regnemaskine funktionelt vil man se, at den stort set kan siges at bestå af et antal registre hver med eet ords kapacitet. Indholdet i ethvert register kan transporteres til et hvilket som helst andet, idet der dog i regelen sker en bearbejdning i en procesenhed. De grundlæggende processer er her addition og skift. Disse krav kan opfyldes med den i fig. 1 viste generelle struktur for GIER.

Kommunikationen mellem registrene sker over den fælles transportlinie. Lagrene, som principielt består af et stort antal registre med udelukkende transportmulighed og ingen procesmulighed, tilsluttes via et adresseregister og et informationsregister. Før en transport overføres adressen på den ønskede lagercelle til adresseregisteret, og informationstransporten sker mellem den valgte celle og transportlinien via informationsregisteret.

Ønskes en proces udført, f.eks. addition, overføres de to addender til hhv. operand- og hjælpe-register, hvorefter summen via transportlinien kan overføres til et vilkårligt register. Den anden grundlæggende proces, skift, kan udføres i hjælpe-register og i multiplikatorregister hver for sig, eller sammenkoblede til et dobbeltlængderegister, som man benytter under bl. a. uafundet multiplikation.

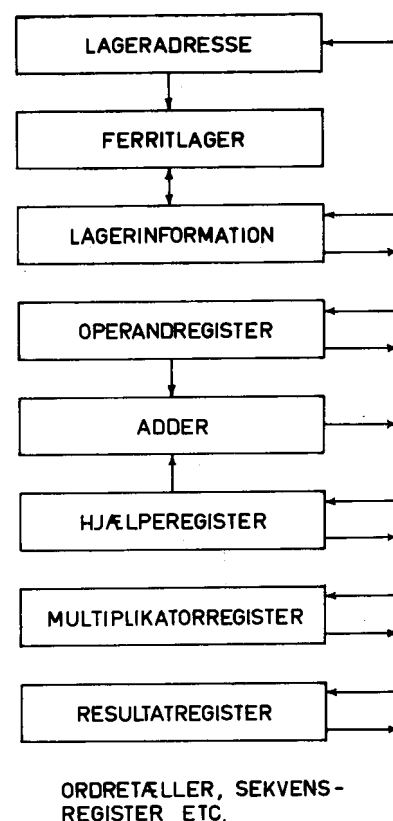


Fig. 1. GIER's registerstruktur.

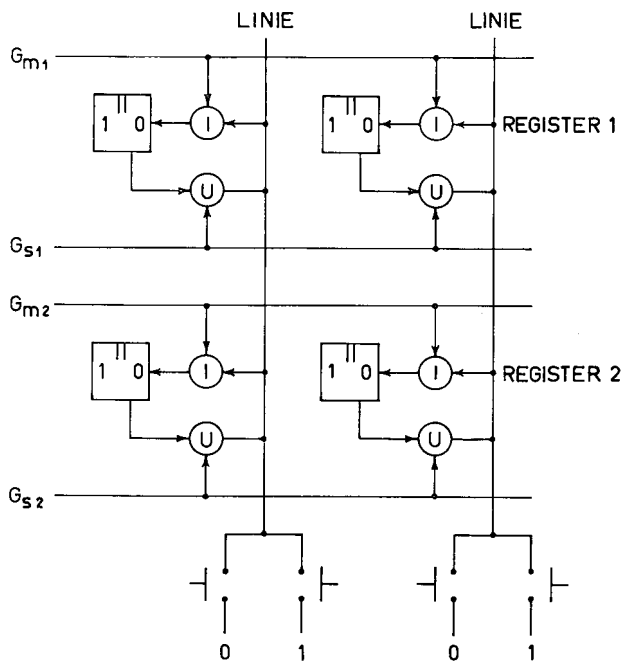


Fig. 2. Registerelementernes tilkobling til transportlinien.

Ovenævnte registerstruktur lader sig anvende på såvel serie- som parallelmaskiner. I en parallelmaskine består transportlinien af lige så mange ledere, som der er bit i operanderne, her 42. Fig. 2 viser i logisk blokdiagram, hvorledes to positioner af to registre principielt er kobledes.

Hvert registerelement består af en bistabil multivibrator, som via en indlæsekreds kan modtage den information, som står på linien. Ligeledes kan informationen fra den bistabile multivibrator påtrykkes linien via en udlæsekreds. En transport fra register 1 til register 2 kræver altså, at register 1 påtrykkes udlæseimpuls G_{s1} , og register 2 påtrykkes modtageimpuls G_{m2} . Normalt vil der kun være et sendende og et modtagende register. I princippet kan der være så mange, det skal være, men rent praktiske kredsløb begrænser antallet. Det er umiddelbart indlysende, hvad flere samtidige indlæsninger medfører. Effekten af samtidig sending vil afhænge af kredsløbets udformning og kan enten påtrykke linien den logiske sum eller det logiske produkt af registrenes indhold. I GIER er kredsløbene valgt, så der dannes det logiske produkt.

En speciel lettelse opnås med den omtalte registerstruktur ved tilkoblingen af manøvrepanelet, det vil stort set sige kredse, der kan benyttes til at vise og sætte de enkelte registers indhold. For at vise eller sætte indholdet af et register, når transportlinien ellers ikke benyttes, påtrykkes det pågældende register sendeimpulser konstant. En til linien koblet indikatorlampe viser da indholdet i den pågældende position. Samtidig påtrykkes modtageimpulser, så det pågældende register modtager fra sig selv. Udefra kan indholdet nu ændres ved nedtrykning af 0-stillings- eller 1-stillingsknappen, som påtrykker linien en spænding svarende til den pågældende ciferværdi.

Ord- og ordrelængde.

Ordlængden i en regnemaskine er bestemt af den nøjagtighed, hvormed der ønskes regnet. Standardordlængden til formål som de, hvortil GIER skal, og

kan, bruges er i størrelsesorden 36—40 bits. Der vælges for GIER 40 bits ordlængde for numeriske operander. Dersom en maskine har et større arbejdslager og større hastighed, som muliggør bearbejdning af endnu større numeriske problemer, bør der vælges større ordlængde, for at resultaterne ikke skal drukne i afrundingsfejl. Sådanne maskiner har nu almindeligvis ordlængde på 48 bits.

Ud over de 40 bits ønskedes 2 bits til mærkning af operander således, at ordlængden i lageret totalt er 42 bits. Med denne ordlængde er der mulighed for at have to eenadresse ordrer i et ord. Imidlertid ønskedes der foruden adressen en lige så stor tælledele i ordet foruden en del specielle mærkninger, så man måtte vælge een ordre pr. ord. Først på et senere tidspunkt besluttedes det at indføre en halvordsordre med kun een adresse og færre mærkninger, så at GIER nu har både hel- og halvordsordrer.

Mikroprogrammering.

Betegner vi med $x_i(t)$ indholdet af det i 'te registerelement i et system til tiden t , kan et system af n registerelementer formelt beskrives ved ligningssystemet (i Boole'sk algebra):

$$\begin{aligned} x_1(t + \tau) &= f_1(x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)) \\ x_2(t + \tau) &= f_2(x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)) \\ x_n(t + \tau) &= f_n(x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)) \end{aligned}$$

Disse ligninger udtrykker, at ethvert registerelements tilstand til tiden $t + \tau$ er en funktion af samtlige registerelementers tilstand til tiden t , d. v. s. at hver af funktionerne f skal defineres for 2^n mulige kombinationer af de variable $x_1, \dots, x_n$. En sådan tilstandsbeskrivelse kan kun gennemføres i praksis for små værdier af n , helst $n \leq 5$ svarende til $2^n = 32$. For et system som GIER med $n = 500$ er en sådan beskrivelse umulig, men heldigvis heller ikke nødvendig. Man benytter det prøvede princip »Del og hersk« og nøjes med at tage hensyn til nogle få registerelementer ad gangen, hvorved udførelsen af en operation tidsfordelles på mikrooperationer.

Det vil her være rimeligt at indføre nogle definitioner:

Mikrooperation: Den del af en operation, som udføres i et tidsskridt.

Mikrofunktion: De enkelte funktioner som »send fra register« eller »modtag i register«, hvoraf mikrooperationen består.

Mikroprogram: Det program af mikrooperationer, som tilsammen udgør operationen.

Styreenhed: Den enhed, som styrer afviklingen af mikroprogrammerne.

Afvikles mikrooperationerne asynkront, d. v. s. at en mikrooperations udførelse udløses af den foregåendes færdiggørelse, får man den hurtigste maskine. I modsætning til dette asynkrone system kan man benytte et synkront system, hvor alle mikrooperationerne udføres med samme interval styret af en oscillator kaldet klokkepulsgenerator. Dens frekvens kaldes klokkefrekvensen. Systemet er ikke helt optimalt, idet man jo altid må tillade den længst forekommende udførelsestid for en mikrooperation. Imidlertid er det langt lettere at arbejde med. I GIER anvendes synkront system med klokkefrekvens 454 kHz.

I GIER var det som nævnt meget væsentligt at opnå den størst mulige flexibilitet, og det gjaldt derfor om at udforme styreenheden, så at den tillod ændring af mikroprogrammer uden større vanskeligheder. De enkelte mikroprogrammer afvikles i diskrete tidsskridt på en måde, som er fuldstændig analog til den måde, hvorpå et normalt program for maskinen afvikles. En analyse viste, at de ønskede operationer kunne afvikles på maksimalt 24 tidsskridt. I hvert tidsskridt udføres et antal mikrofunktioner; dog kan udførelsen gøres betinget. En af mikrofunktionerne vil altid være valg af hvilket tidsskridt, der skal udføres næste gang. Det betyder, at styreenheden skal være et lager, hvori mikroprogrammerne er lagrede på samme måde som det egentlige program lagres i maskinens arbejdslager. Man kan benytte f. eks. et normalt ferritlager til styreenheden, men i det foreliggende tilfælde blev denne tanke hurtigt forladt, fordi et fast lager* er både billigere og hurtigere. I fig. 3 er vist princippet for styreenheden i GIER.

For anskuelighedens skyld er der kun vist 3 tidsgivere og 3 mikroprogrammer samt 6 mikrofunktioner. For hver mikrofunktion findes en lineær transformatorerne med sekundær vikling koblet til en forstærker, som leverer en impuls til det pågældende kredsløb, når der går strøm i een af de primære viklinger (vist med spejlsymboler), der blot består af een vinding. Hver af disse svarer til et bestemt tidsskridt i et betemt mikroprogram. Valget af en primær tråd sker ved spændingskoincidens mellem tidgivere og mikroprogramvalg. Betingelser indføres som vist ved at styre strømmen mellem to tråde ved hjælp af kredsløbene G afhængigt af betingelsen. Har vi betingelsen $B = 1$, vil der på tid 1 blive afgivet impulserne G_sADD , G_sMD og G_mAC , og som næste tid vælges 2. Er derimod $B = 0$, vil der kun blive afgivet G_sADD og G_mAC , og som næste tid vælges 3.

Administration af tromle.

Informationen er lagret på tromlen i serieform. Hver af de 320 kanaler rummer 40 helord (à 42 bits), som er at betragte som en enhed, en informationsblok. Tilgang til tromlen sker via ferritlageret, idet man med ordren »skriv på valgt kanal« får udført en transport af indholdet af 40 celler i FL (ferritlageret) til en kanal. Tilsvarende udvirker ordren »læs fra valgt kanal« en overførsel af de 40 ord på kanalen til 40 celler i FL. Da tromlen er en mekanisk enhed, er den temmelig langsom. Een tromleomdrejning varer 20 millisekunder, og da en kanal fylder hele tromlens omkreds, vil en kanaltransport derfor i princippet vare 20 msek. I forhold til de øvrige operationstider er dette en meget langsom proces. Det er derfor rimeligt at automatisere denne transport således, at den centrale enhed ikke beslaglægges i større udstrækning end højst nødvendigt.

Transport til og fra ferritlageret foregår med 42 bits parallelt. Der må derfor indskydes et opsamlingsregister TI mellem tromlen og ferritlageret. TI er et 42-bits flip-flop register, som er forbundet til transportliniesystemet med sende- og modtagegates. Det er des-

uden udformet som skifteregister med skifteretning fra pos. 41 mod pos. 0.

Ved udførelse af ordren LK 100, læs indholdet af den valgte kanal og placér det i celle 100 til celle 139 i FL, sker der følgende:

- Hvis tromlen ikke er ledig (igang med en tidligere beordret kanaltransport) venter den centrale enhed i en mikroprogramløkke, indtil transporten er slut.
- Hvis tromlen er ledig, overføres adressedelen af læseordren, her tallet 100, til registeret TBA (tromlebegyndelsesadresse) og tromlens styrekreds startes.

Den centrale enhed går derefter videre med udførelse af den næste ordre, medens resten af tromleordren udføres synkront med tromlens omløb, d. v. s. usynkront med den centrale enhed. Umiddelbart efter afgivelsen af LK-ordren startes læsningen af kanalen. Nummeret på den valgte kanal er i forvejen anbragt i registeret TK (se fig. 4), som styrer kanalafkodningen. Signalet går altså fra læsehovedet via kanalafkodningen ind i læseforstærkeren (der findes kun een læseforstærker) og videre ind i TI registerets pos. 41 betinget af, at man har beordret læsning på kanal, og af en aftastningsimpuls. Der er fast indspillet klokimpulser på 3 specielle kanaler.

På klokspor I findes een markering pr. omdrejning, på spor II er der 40 markeringer (1 for hvert ord), og på spor III 40 x 42 markeringer (1 for hver bit).

Samtidig med at aftastningsimpulsen åbner for indlæsning til TI_{41} , foretages et venstreskift i TI. Klokspor II styrer et tællende register TOT (tromleordtæller), som altså altid indeholder nummeret på det ord på kanalen, som på et givet tidspunkt befinder sig ud for læsehovedet, idet TOT nulstilles ud for ord nummer 0 ved hjælp af markeringen på spor I.

Når TI er fyldt op med et læst ord, standses den centrale enhed ved hjælp af markeringen på spor II, og indholdet af TI overføres til celle i FL. Cellenummeret får man fra tromleaddressen, som summen af indholdet i registrene TBA og TOT (tællingen i TOT er forsinket i forhold til det tidspunkt, hvor summen udlæses fra addressen), og dette nummer overføres til registeret TAD, som kan styre ferritlagerafkodningen. Trans-

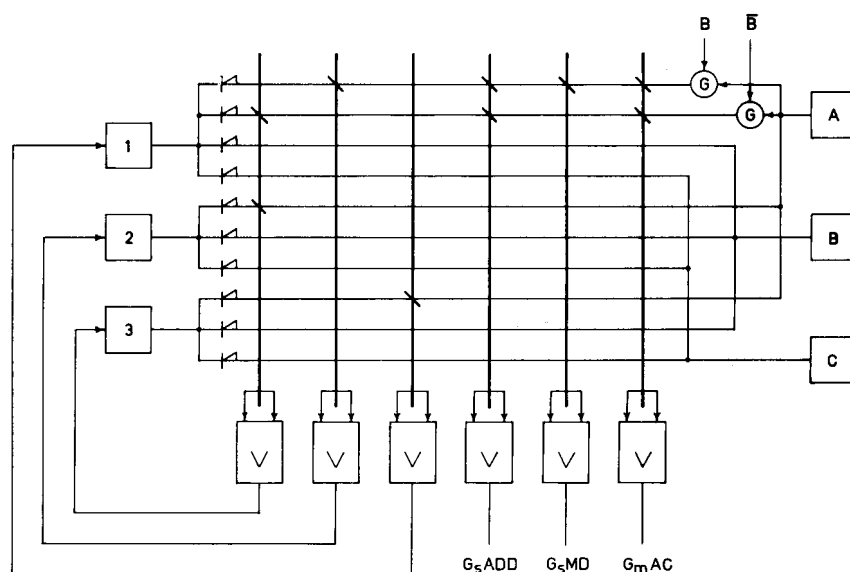


Fig. 3. Princip for styreenhed.

* Wier: »A high-speed permanent storage device«. IRE Transactions on Electronic Computers vol. EC 4, pp. 16-20, 1955.

porten fra TI og tromleadderens og styringen af ferritlageret administreres af et specielt mikroprogram. Når ordet er placeret i FL, startes den centrale enhed igen, og maskinen går videre i programmet, medens næste ord opsamles i TI. Når der er overført 40 ord, er kanalen læst, og tromleordren færdigudført. Den tid, den centrale enhed standses ved transport af et ord mellem TI og FL, er $24,2 \mu\text{S}$. En kanaltransport beslaglægger følgelig den centrale enhed i $40 \times 24,2 \mu\text{S} = 968 \mu\text{S}$.

Skrivning på en kanal foregår på tilsvarende måde, idet der dog må tages hensyn til, at TOT under skrivningen er et ordnummer bagefter. Udtrykt på en anden måde: når man læser fra en kanal, skal man bruge ordnummeret, når ordet er læst, medens man ved skrivning skal have ordnummeret klar inden skrivningen, nemlig når ordet skal hentes i FL. Dette problem er klaret ved at tilføre adderens lavest betydende position en mente, som er 0 ved læsning og 1 ved skriv-

ning. Man opnår på denne måde, at TOT altid tælles op synkront med tromlen, uanset om der læses eller skrives, og uanset om der skiftes mellem læsning og skrivning midt i en kanal. Det må bemærkes, at skrivning eller læsning på en kanal startes straks efter det første ordmelletrum, som dukker op ved læsehovedet efter ordrens afgivelse.

Med denne automatik er det muligt for koderen i langt de fleste tilfælde at administrere sine programmer således, at den effektive maskintid, der hengår med tromletransporter, reduceres til de nævnte $968 \mu\text{sek}$. pr. kanaltransport, idet kanaloverførsler bestilles i god tid.

Det skal lige nævnes, at afkodningen af de 320 kanaler sker ved koordinatvalg i en diodelogik, som er monteret direkte i stikkene, som sidder på tromlen. Skrivning på tromlen sker efter »non return to zero« princippet, hvor strømmen vendes i skrivhovedet, hver gang der skrives en »1«.

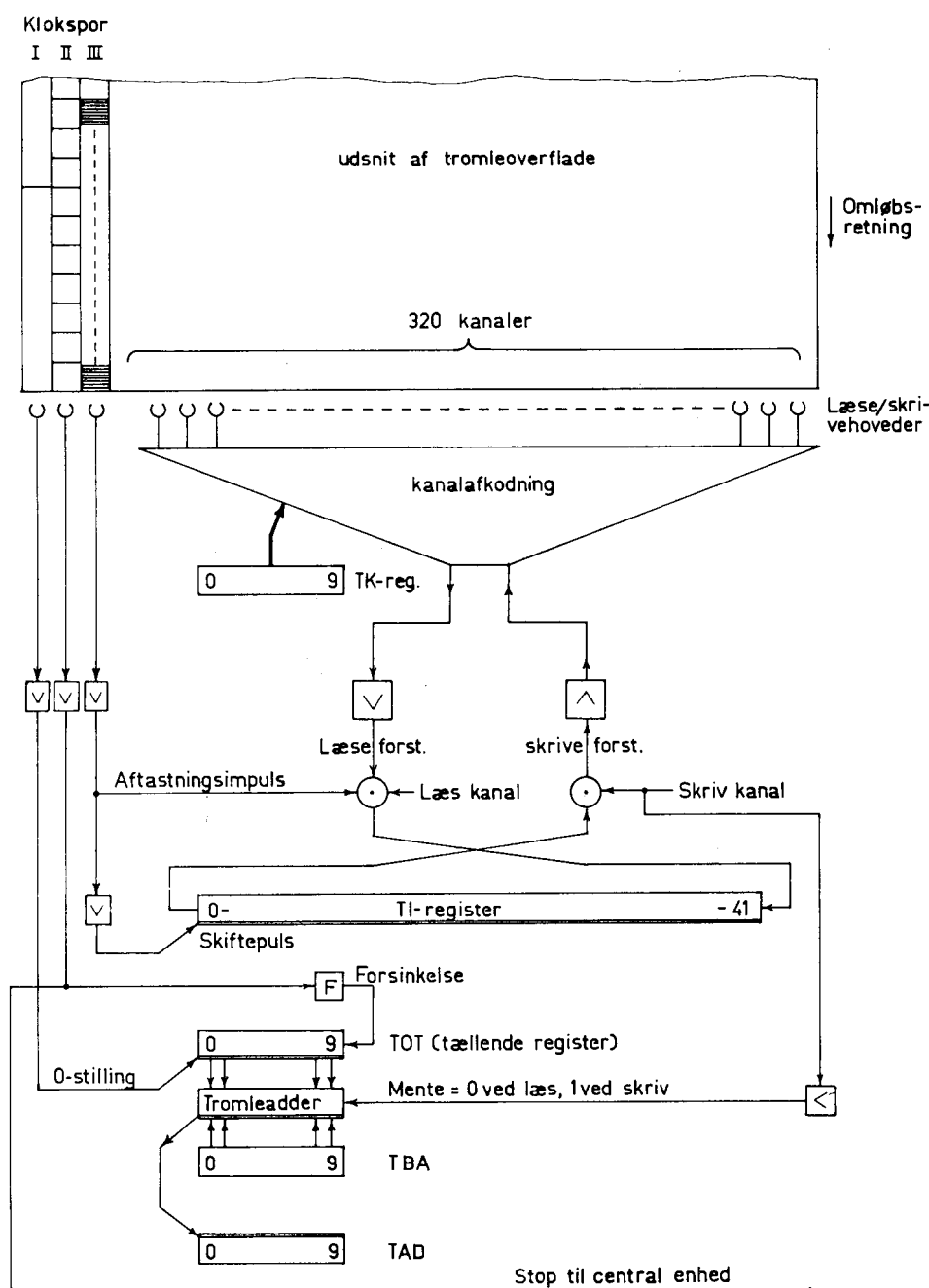


Fig. 4. Blokskema over tromlekredse.

Kredsløbsteknikken i GIER.

Det generelt benyttede registrelement er en konventionel flip-flop, hvor transistorerne drives i mætning. Dette i forbindelse med de benyttede transistorer sætter en øvre grænse for den hastighed, hvorved man kan indlæse information i et register og dermed en øvre grænse for klokfrekvensen. Der er dog i en del tilfælde brugt kredsløb med antimætning. De logiske kredsløb er opbygget som transistor-diodelogik uden nogen form for standardelementer. Det gælder iøvrigt for maskinen som helhed, at der ikke findes nogen standardbyggeblok såsom inverter, diodelogik eller flip-flop med faste komponentværdier. I hvert enkelt tilfælde er der dimensioneret efter de foreliggende belastninger. For de store registre, som indeholder 40 positioner, findes der naturligvis 40 ens trykte kredse, men registre er indbyrdes forskelligt dimensionerede. Dette medfører ganske vist, at man må arbejde med relativt flere forskellige typer af trykte kredsløb, og at der skal lægges mere arbejde i dimensioneringen. På den anden side mindskes antallet af komponenter mærkbart samtidigt med, at kredsløbene som helhed kan bringes til at arbejde hurtigere. En del af kredsløbene er baseret på effekter i halvlederelementerne, som ofte betragtes som uønskede. Således udnyttes efterledningseffekten i dioder og transistorer, ligesom transistorens principielt symmetriske virkemåde anvendes i visse koblinger. I det hele taget er der lagt vægt på at betragte transistoren ikke bare som noget, hvis emitter altid er på jord, men som et element med 3 ben, der kan benyttes på mange måder.

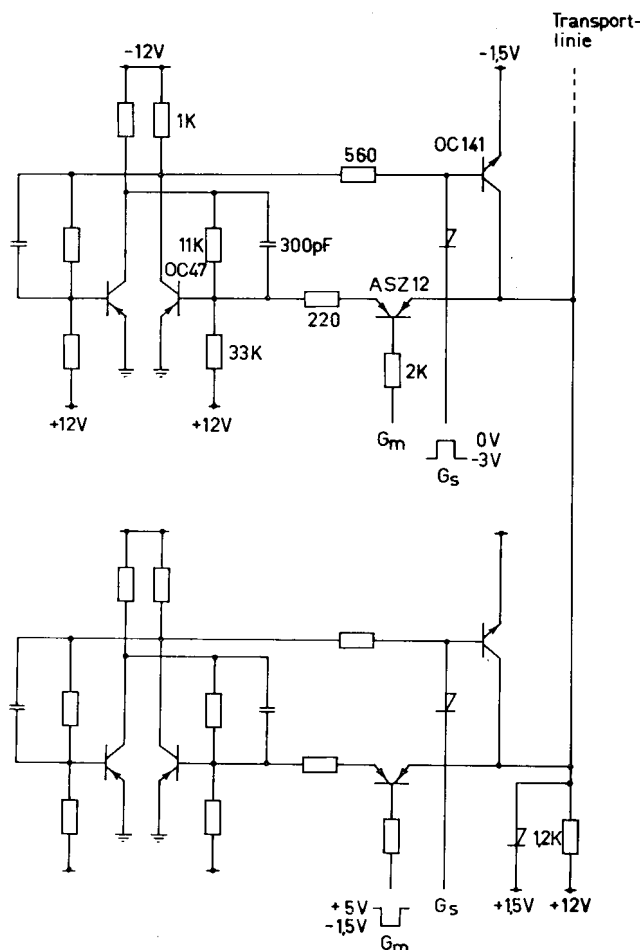


Fig. 5. Registerelementer med sende- og modtagegates.

Dimensioneringsprincipper.

Alle kredsløb er dimensioneret efter værste tilfælde, d. v. s. kredsløbene fungerer korrekt ved samtidig maksimal afvigelse fra nominelle værdier i uheldigste retning for alle komponenter og spændinger. Ved dimensioneringen er der for transistorernes vedkommende regnet med en maksimal strømforstærkning på halvdelen af den af fabrikanten opgivne $\beta_{\min}$, og med en lækstrøm på det dobbelte af den af fabrikanten opgivne I_{cbo} max ved en junctiontemperatur på 45°C . Der er dog i ingen tilfælde regnet med en strømforstærkning på mere end 20 gange. For diodernes vedkommende er der taget hensyn til spredningen i karakteristikkerne i gennemgangsretningen, ligesom der er regnet med en fordobling af lækstrømmen ved 45°C i forhold til fabrikantens data. Den maksimalt tilladelige afvigelse fra nominelle værdier for modstande sættes til $\pm 10\%$. Endelig regnes der med en tilladelig afvigelse på $\pm 5\%$ på alle regulerede spændinger.

Komponenttyper.

GIER er til dels opbygget ved anvendelse af komplementære kredsløb, idet der er anvendt p-n-p og n-p-n transistorer i forholdet 2:1. De almindeligst benyttede transistortyper er OC 47 og OC 141 (Philips), legerede fladetransistorer med grænsefrekvenserne $f_{\min} = 4,5\text{ MHz}$ hhv. 9 MHz og med strømforstærkninger $\beta_{\min}$ på hhv. 50 og 80 gange. Desuden benyttes typen 2N1754 (Philco), en MADT germaniumtransistor med $f_{\min} = 75\text{ MHz}$ og $\beta_{\min} =$

20 i styreenheden. (MADT-typen udmærker sig ved at have en forsvindende lille efterledningstid). De foretrukne diodetyper er OA 85 (Philips) og OA 160 (Telefunken), germaniumspidsdioder med spærrespændinger på hhv. 75 V og 15 V. De forskellige karakteristiske egenskaber ved statiske og dynamiske karakteristikker af typerne silicium-, germaniumflade- og goldbondeddioder er desuden udnyttet i vid udstrækning. De fleste modstande er $\frac{1}{2}$ watt kulstofmodstande med toleranceområde $\pm 5\%$ (Vitrohm). Endelig anvendes keramiske kondensatorer med toleranceområde $\pm 5\%$ (Ferroperm).

Alle halvlederkomponenter afprøves før montagen. Transistorer kontrolleres for strømforstærkning og I_{cbo} og dioder for spærre- og gennemgangsmodstand, selv om der anvendes professionelle komponenter, som fra fabrikantens side er særlig grundigt prøvede.

Transportsystem.

Alle interne transporten i GIER sker parallelt via 40 transportlinier. De ca. 500 registrelementer er alle forsynede med en sende- og en modtagegate, som kan overføre registerets information til den tilhørende transportlinie, henholdsvis tilføre registeret den information, som findes på linien. I hvilestillingen påtrykkes alle sendegates -3V og alle modtagegates $+5\text{V}$ (se fig. 5). Transportlinierne ligger da på $+1,5\text{V}$, og både sende og modtagegates er blokerede. Når man vil transportere indholdet af et register til et andet, påtrykkes det sendende registers sendegates en G_s -impuls og det modtagende registers modtagegates en G_m -impuls. Hvis et registrelement i det sendende register indeholder et 0, vil udlæsetransistoren få tilført basestrøm via de $560\ \Omega$ og transportlinien trækkes ned til $-1,5\text{V}$. I det modtagende registrelement vil indlæsetransistoren, der er en symmetrisk transistor, fungere som emitterfølger med kollektoren koblet til linien og emittermodstanden koblet til den ene base i registrelementet. Herved indlæses et 0 i registrelementet. Det bemærkes, at indlæsegaten ikke drives i mætning ved indlæsning af et 0. På denne måde opstår ingen vanskeligheder med efterledningstid ved G_m -impulsens bagkant. Indeholder det sendende register informationen 1, vil der under G_s -impulsen ikke løbe

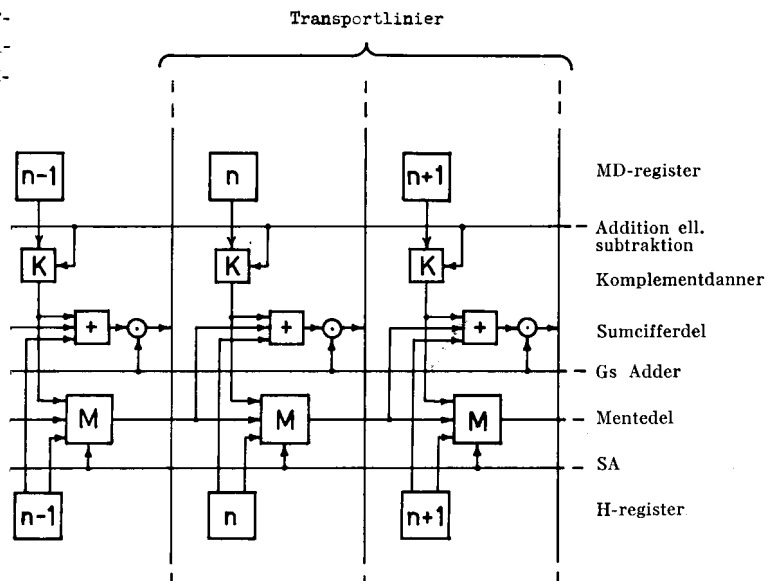


Fig. 6. Blokskema over adderen.

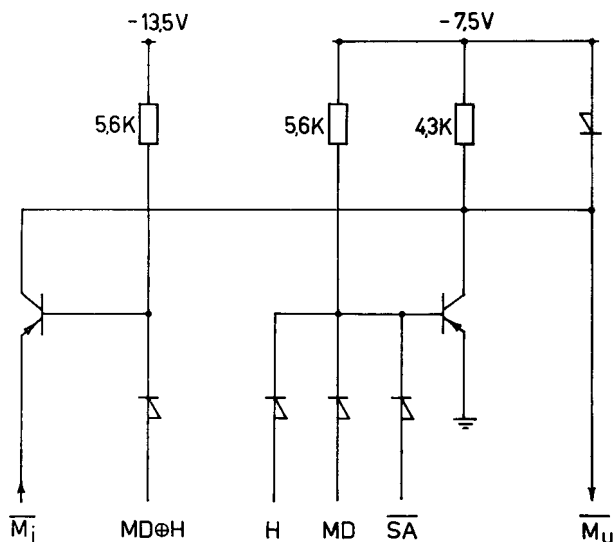


Fig. 7. Mentedelen af adderen.

strøm i sendetransistoren. Linien forbliver da på spændingen +1,5V. Indlæsegaten i det modtagende registrelement vil nu virke som en jordet-emitterkobling med emitteren forbundet til transportlinien og kollektormodstanden koblet til den ene base i flip-flop'en. Der vil således blive indlæst informationen 1 i registrelementet. Ved denne transport drives indlæsegaten i mætning, men efterledningen vil ikke gøre skade, idet linien efter G_s - og G_m -impulsens ophør stadig indeholder informationen 1. Når blot efterledningen er forbi ved næste klokperiodes begyndelse, vil det modtagende registrelement forblive 1-stillet. En transport varer 2,2 μ S.

Adder.

Adderen består som vist på fig. 6 af 3 dele: En komplementdanner, en sumcifferdel og en mentedel. De to førstnævnte er opbygget konventionelt, medens mentedelen udnytter hullagring til fremskyndelse af

mentetransporten*). Adderen danner til enhver tid summen eller differencen af indholdet i registre MD og H, og ved påtrykning af en sendeimpuls til adderens udlæsegates udlæses resultatet til transportlinierne. Princippet i mentedelen fremgår af fig. 7. En mente dannes altid i et jordetemittertrin, når både H og MD, i den betragtede position, indeholder en 1'er (H og MD er i lav repræsentation). En mente skal overføres fra det foregående addertrin til det efterfølgende, når H og MD er forskellige. Hvis de begge er 0, skal menten ikke passere, er de begge 1, behøver menten ikke at passere, idet den dannes i trinnet. Som det ses af fig. 7, vil en høj spænding på indgangen $\bar{M}_i$, svarende til, at det foregående trin sender en mente, give en høj spænding på udgangen $\bar{M}_u$, når signalet (halvadderfunktionen) $MD \oplus H = \bar{MD} \cdot H + MD \cdot \bar{H}$ er en lav spænding. Menten transporteres altså videre, når MD og H er forskellige. Det er væsentligt, at serietransistoren er spærret, når MD og H er ens i tilfældet $MD = H = 1$, da man i modsat fald ville få sendt menten 1, ikke bare til det følgende trin, med også til det foregående trin, idet serietransistoren leder i inverskobling. Når der læses ny information til et af registre H og MD, skal der dannes en ny sum i adderen. Idet indlæsningen påbegyndes og under hele G_m -impulsen, påtrykkes indgangene SA i mentetrinene i adderen en positiv impuls, således at mentekæden, bestående af de seriekoblede menteoverføringstransistorer, falder mod -13,5V, indtil dioden fra -7,5V fanger. Der vil nu løbe strøm fra kollektor og emitter til basen og videre gennem de 5,6 k Ω til -13,5V i alle trin undtagen i de trin, hvor MD og H er forskellige. D. v. s. at serietransistoren i alle trin, hvor en eventuel mente skal passere, er drevet i mætning. Når SA-impulsen er forbi, vil den jordet-emitterkoblede transistor, i de trin, hvor både MD og H indeholder en 1'er, løfte mentekæden til 0V. Hvis en mente skal passere til det følgende trin, er serietransistoren i forvejen mættet, og transporten sker uden forsinkelse, idet en mættet transistor fungerer som en galvanisk kontakt, når strømændringen ikke er for stor. En addition af 40 bits varer 2,2 μ S.

Styreenhed.

Styreenheden er opbygget som et fast trådet lager med en tråd for hvert mikrotrin og en kerne af lineær ferrit for hver mikrofunktion. Til hver makrooperation svarer en operationstransistor med emitteren på -4,5V som vist på fig. 10. Fra dennes kollektor udgår en gruppe tråde, en for hvert mikrotrin i den pågældende operation. Trådene passerer de kerner, som ønskes aktiveret (1 vdg) og ender på en række drivtrin (n-p-n emitterfølgere), som styres dels af klokimpulsen G-primær, dels af en mikroadresse flip-flop MA. Af disse er altid een og kun een valgt. En tråd bliver pulseret med ca. 30 mA, når den tilhørende MA-flip-flop er valgt i den ene ende, og den tilhørende operation er valgt i den anden ende af tråden. Alle tråde kan gøres betingede. På fig. 10 er tråden til MA2 i OP1 betinget, idet der parallelt med tråden til operationstransistoren ligger en tråd gennem andre kerner

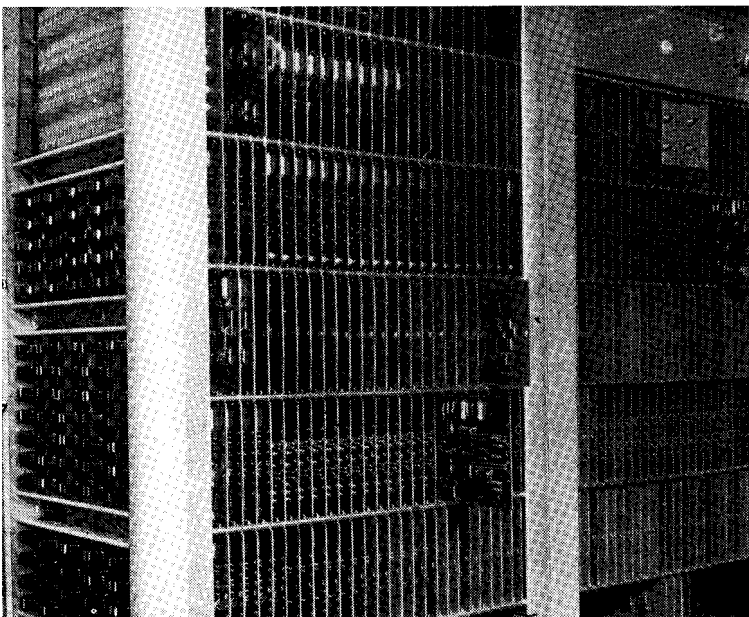


Fig. 8. GIER-centralenhedens praktiske opbygning. Pladerne med trykte kredsløb er anbragt i skuffer og forsynede med 30-polede stik. Yderst til venstre ses styreenheden med toroidkernerne og mikroprogramtrådene. Foroven i styreenheden, der er ophængt i et hængsel og kan svinges ud af skabet, ses en plade med dioder til afkodning af de valgte tråde.

* Lignende kredsløb er udviklet andetsteds, se for eksempel: Edwards: "Parallel addition in digital computers — a new fast carry circuit", Proc. IEE, vol. 106B, pp. 464–466, september 1959. Salter: "High-speed transistorized adder for a digital computer", IRE Transactions on Electronic Computers, vol. EC 9, pp. 461–464, December 1960.

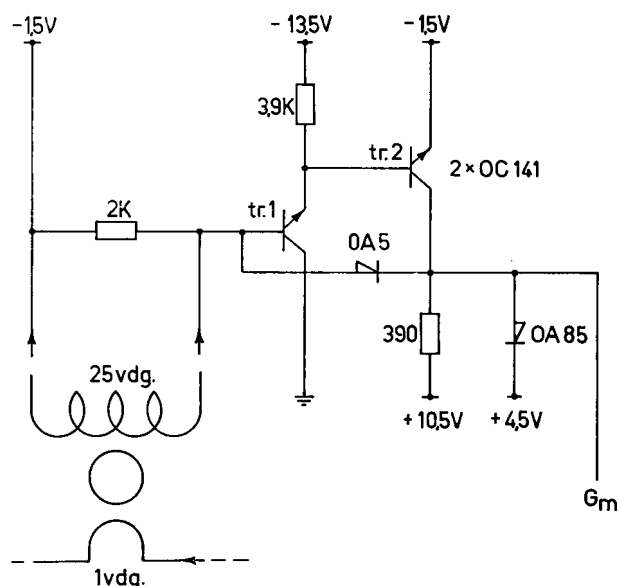


Fig. 9. Gateimpulsforstærker for styreenheden.

til en betingelsestransistor, hvis emitter ligger på $-1,5V$. Hvis OP1 er valgt og indgangen Bet. er lav, vil man, når MA2 er valgt, få strøm gennem kerne 1 alene. Hvis derimod indgangen Bet. er høj, aktiveres kernerne 1, 3 og 5.

Kernerne er koblet som strømtransformatorer, således at een tråd kan gå gennem et i praksis ubegrænset antal kerner. Kapaciteten mellem trådene nødvendiggør dog en restriktion i mikroprogrammeringen, idet der igennem en kerne kun må gå et begrænset antal tråde, der udgår fra *samme* operationstransistor.

Opladningen af spredningskapaciteterne vil da ellers give en så stor strøm, at der vil komme et output fra den pågældende kerne, idet operationstransistoren kobles ind. Denne vanskelighed kan omgås ved at fordele ud på flere operationstransistorer, som indkobles på forskellige tidspunkter. Klokimpulsen er en symmetrisk firkantspænding på 454 kHz . Der findes ca. 180 kerner i kontrolenheden.

G_m -forstærker.

Sekundærviklingen på kernerne er forbundet til en forstærker, som det fremgår af fig. 9. Forstærkeren består af 2 transistorer med spændingsmodkobling via en diode. Den første transistor arbejder som emitterfølger, den anden i jordet-emitterkobling. I hvilestillingen er transistor 2 blokeret, idet emitterspænding af tr. 1 ligger ca. $0,2V$ under $-1,5V$. Tilbagekoblingsdioden er ligeledes spærret. Når der sendes en strømimpuls gennem kernen løftes basespændingen på tr. 1, indtil emitterspændingen er så høj, at tr. 2 begynder at lede. Tr. 2 drives nu hårdt imod mætning, idet emitterfølgeren leverer en kraftig basestrøm. Når kollektorspændingen af tr. 2 næsten er faldet til $-1,5V$, vil tilbagekoblingsdioden begynde at lede og tage en del af den fra sekundærviklingen kommende strøm, således at emitterfølgerens basestrøm mindskes. Der vil nu hurtigt indstille sig en ligevægt, idet emitterfølgeren leverer lige netop den basestrøm til tr. 2, som er nødvendig for at holde kollektorspændingen på ca. $-1,5 + 0,2 = -1,3V$. Spændingsfaldet over tr. 2 vil altså være stort nok til, at transistoren ikke går i mætning.

Når strømimpulsen gennem kernen ophører, vil basen på emitterfølgeren blive påtrykt en spænding, som

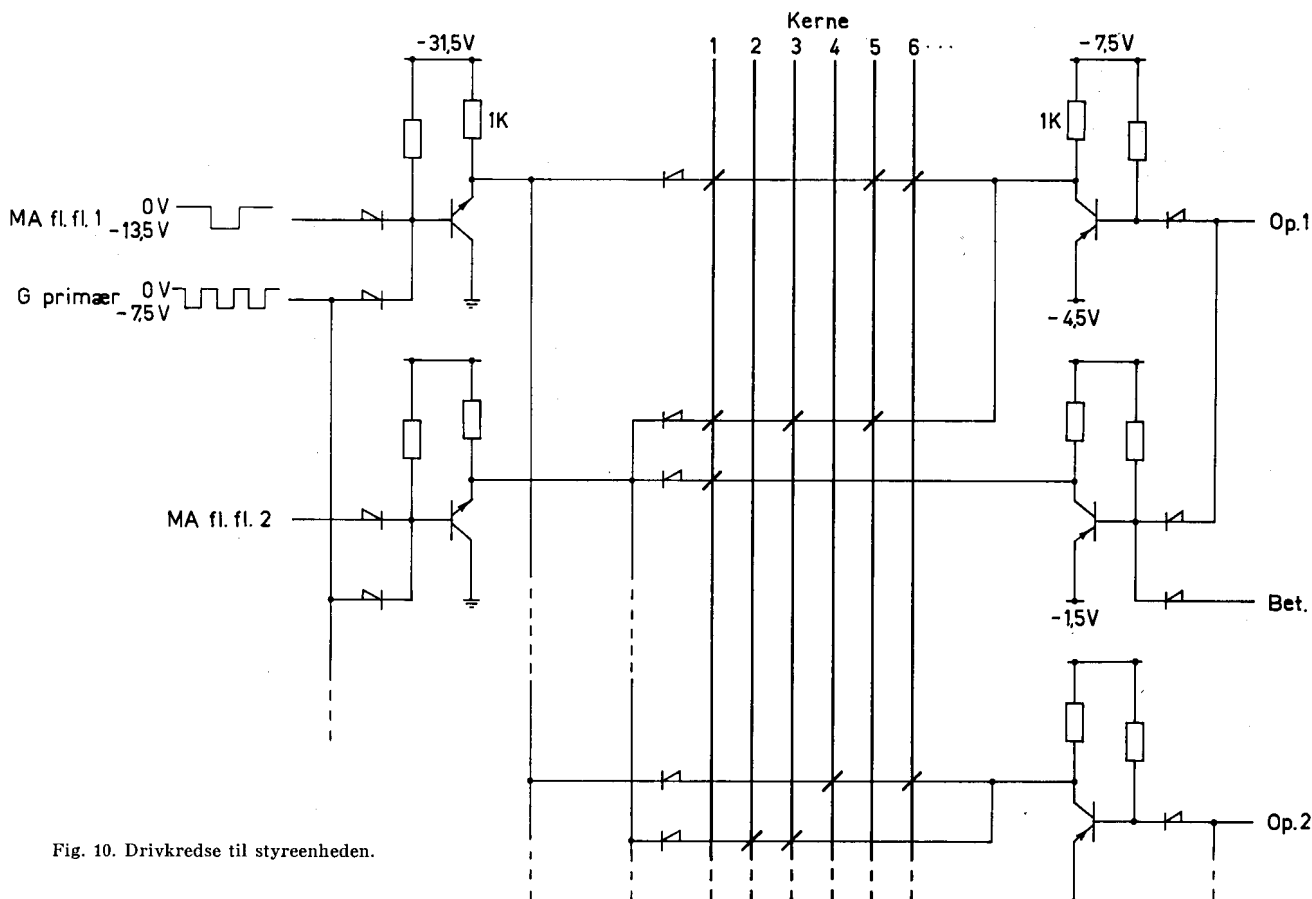


Fig. 10. Drivkredse til styreenheden.

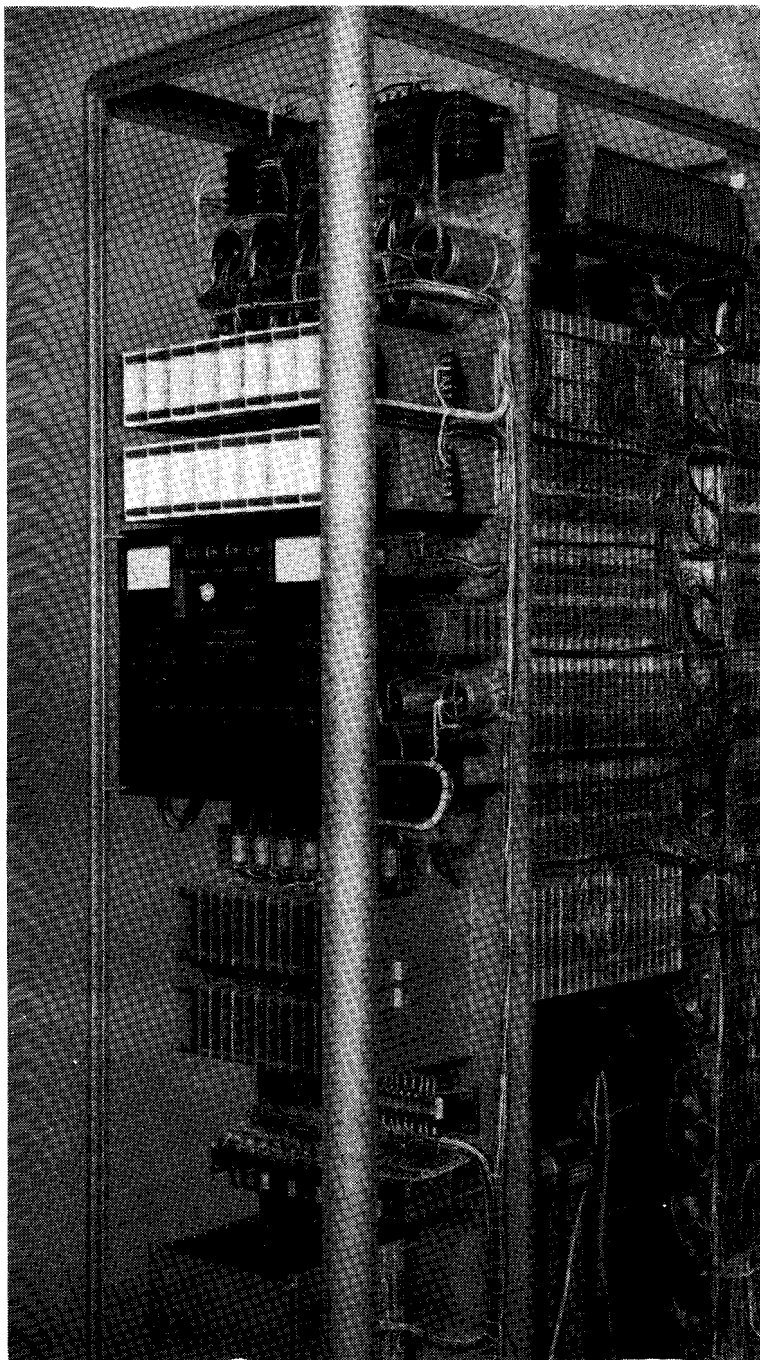


Fig. 11. Strømforsyningen er placeret i den ene ende af stellet. Øverst sidder kontaktorer, som slutter de 10 regulerede spændinger til den centrale enhed. Nedefter er anbragt afkoblinger, reguleringstransistorer på køleplader, manøvrepanel for strømforsyning, ensrettere på køleplader, kontrolrelæer, plader med spændingsreferencer og kredsløb hørende til den elektroniske overstrømsudkobling, og allernederst nettransformator med hovedkontaktorer.

er mere negativ end $-1,5V$, d. v. s. tr. 2 blokeres. Bakstrømmen til basen af tr. 2 leveres af de $3,9 K$ til $-13,5V$. Koblingen bestående af de to transistorer, tilbagekoblingsdioden og emittermodstanden fungerer altså som en enhed betragtet principielt som en normal transistor med meget stor strømforstærkning og ingen efterledning*).

Mekanisk opbygning.

GIER er opbygget i et stel af dimensionerne 180

*) Dette kredsløb udvikledes ved Regnecentralen, og det blev først senere bekendt, at det samme kredsløb er udviklet af Blair og Harris ved Bell-laboratorierne, se US Patent 2.887.542.

$cm \times 160 cm \times 40 cm$. I den ene ende af stellet er strømforsyningen placeret. Instrumenter og knapper til brug ved finindstilling af de regulerede spændinger er anbragt for enden af stellet.

I skufferne bag de to store døre sidder de trykte kredsløb fordelt på 400 plader. Pladerne, der er forsynede med 30-polede stik, har dimensionerne $20 cm \times 12 cm$. For enden af pladerne, modsat stikket er anbragt 6 målepunkter, således at man kan komme til at udføre målinger ved blot at åbne dørene.

Tromlen (Fabr. Standard Electric) er placeret for nederen i stellet stående på højkant, medens ferritlagere (Fabr. Philips) er ophængt i stellet top bagved skufferne. Styreenheden er udformet som en låge, der udfylder hele den ene ende af stellet i en dybde af ca. $5 cm$. Enheden er afdækket med en plade og forbundet via stik.

Maskinen afkøles ved, at der blæses luft ind for nederen i stellet, under skufferne. Køleluften passerer derefter forbi pladerne og videre ud i rummet gennem maskinens top. Den afsatte effekt i maskinen er ca. $500 watt$. Temperaturstigningen på køleluften ved passagen gennem maskinen er $8-10^{\circ}C$. Det er derfor muligt at benytte luft med stuetemperatur til kølingen. Da det imidlertid med de nuværende erfaringer om halvlederes levetid kan skønnes, at man kan forøge levetiden med en faktor 2, ved at mindske den omgivende lufts temperatur $10^{\circ}C$, er det god økonomi at forsyne maskinen med et koldluftanlæg, som leverer en køleluft på $10-12^{\circ}C$.

Udenfor stellet findes et bord med perforator (Fabr. FACIT) og kontrolskrivemaskine (IBM). I dette bord under bordpladen er anbragt en skuffe med elektronik til styring af skrivemaskinen og perforatoren. Disse kredsløb fylder i alt 20 plader. Under bordpladen er desuden anbragt en hylde med papir i endeløse baner til skrivemaskinen. Endelig findes endnu et bord med plads til kontrolpult og strimmellæser (FACIT).

På et tidligt tidspunkt under udviklingen af GIER blev der fra civilingeniør Haldor Topsøe rettet henvendelse til Regnecentralen om muligheden for at købe en kopi af GIER. Senere kom lignende henvendelser. I sommeren 1960 tog man på Regnecentralen initiativ til at undersøge mulighederne for at fremstille et mindre antal kopier til brug for undervisnings- og forskningsinstitutioner med det formål at intensivere uddannelsen i brug af elektroniske ciffer-regnemaskiner. I efteråret 1960 godkendte Regnecentralens bestyrelse disse planer, og der blev etableret en midlertidig produktionsafdeling med det formål at fremstille 8 kopier af GIER, hvoraf 4 vil blive leveret til andre forsknings- og undervisningsinstitutioner, medens 4 vil blive benyttet ved Regnecentralens egne afdelinger, bl. a. ved de planlagte afdelinger ved Århus Universitet og Danmarks tekniske Højskole i Lundtofte.

Det vil her føre for vidt at nævne alle de, som har bidraget til udviklingen af GIER. Vi vil dog her gerne nævne ingeniør Kurt Henrik Andersen's, civilingeniør Per E. Pedersen's og civilingeniør Henning Worsøe's arbejde med udvikling af kredsløb og produktionsafdelingens leder Tage Vejlsø's arbejde med praktisk opbygning af prototype og kopier. Til disse og alle andre, der har bidraget til GIER's fremstilling, vil vi gerne her udtrykke vor tak.