

## MASTER

### Ontwerp van een automatische cardiograaf met digitale signaalverwerking

Noback, H.R.

*Award date:*  
1974

[Link to publication](#)

#### **Disclaimer**

This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository. The required complexity or quality of research of student theses may vary by program, and the required minimum study period may vary in duration.

#### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain

ECB 604

Ontwerp van een

AUTOMATISCHE CARDIOGRAAF  
met DIGITALE SIGNAALVERWERKING.

door H.R. NOBACK

Afstudeeropdracht, uitgevoerd  
bij N.V.Philips, Medical Systems

## 0.0 Introductie

Als afstudeerdwerk is een gedeelte van een cardiograaf ontworpen, en wel het gedeelte dat later verwerkingselectronica wordt genoemd.

Het werk werd uitgevoerd bij en namens N.V. Philips, HIG Medical Systems.

Als mentor trad namens de TH op Prof. Ir. A. Heetman, namens de N.V. Philips had Ir. S. Albarda, chef van de afdeling Voorontwikkeling Medical Electronics de supervisie.

## 0.1 Indeling en samenvatting van het verslag.

Het verslag bevat: Inleiding over Cardiografie (1), ontwikkeling van een optimaal blokschema voor de cardiograaf (2) en voor de verwerkingselectronica (3). De 3 chips met resp. afleidingsberekening (4), geheugensfunctie (5) en automatiseringsprogramma en uitvoering (6) worden in detail besproken. Appendices over  $I^2L$  (A) en Economische aspecten (B) zijn toegevoegd.

## 0.2. Sleutelwoorden

Automatische Cardiograaf, Digitale Signaalbewerking, Digitale registratie,  $I^2L$ , Invloed seriegrootte op ontwerp.

## 0.3. Inhoudsopgave

0.0	Introductie	0-1
0.1	Indeling en samenvatting van het verslag	0-1
0.2	Sleutelwoorden	0-1
0.3	Inhoudsopgave	0-1
1.	Inleiding	1-1
1.1	De hartvector	1-1
1.2	De afleidingen	1-1
1.3	Het signaal	1-4
1.4	Interpretatie van het signaal	1-4

1.5. Cardiografen	1-5
2. Ontwerp van Cardiograaf PEAC	2-1
2.1. Filosofie	2-1
2.2. Eisen en kenmerken	2-1
2.3. De oplossing	2-2
2.4. Stap 1: de kamschrijver	2-2
2.5. Stap 2: de Spin	2-5
2.6. Stap 3: digitale verwerking	2-6
2.7. Stap 4: digitaliseren en scannen in de spin	2-6
2.8. Stap 5: galvanische scheiding	2-9
2.9. Stap 6: D.P.C.M.	2-9
2.10. Transmissieformaat	2-10
2.11. Overige functies	2-11
2.12. Samenvatting	2-12
3. Blokschema verwerkingselectronica	3-1
3.1. Inleiding	3-1
3.2. Eisen aan PEAC	3-1
3.3. Details over gevoeligheden en signaal-eigenschappen	3-2
3.4. Keuze $I^2L$ LSI versus microprocessor	3-4
3.5. Uitvoering afleidingsberekeningen, afsplitsen Input Chip	3-5
3.6. Afsplitsen Memory Chip	3-7
3.7. Control Chip	3-8
4. Beschrijving Input Chip	4-1
4.1. Input Schuifregister en Input-Buffer register	4-1
4.2. Cs pulsen en Cs teller	4-2
4.3. Signaal "doorlaten"	4-2
4.4. Signaal "PROGR INP"	4-3
4.5. Delers	4-3
4.6. Delta afleidings-teller en horizontaal-teller	4-4
4.7. Pacemaker	4-5
4.8. Output Shift register	4-5
4.9. Reset	4-5

5.	Beschrijving Memory Chip	5-1
5.1.	Routing	5-1
5.2.	Betekenis en functie van de registersecties	5-1
5.3.	Uitvoering	5-2
6.	Beschrijving Control Chip	6-1
6.1.	Cyclusteller met bijbehorende decoderingen	6-1
6.2.	Testvak met bijbehorende decoderingen	6-2
6.3.	De afleidingsteller	6-4
6.4.	Sturing memory chip, Input Chip en Spin	6-5
6.5.	Programmeerbare Full-adder, met instructie-set	6-7
6.6.	Adresaanpassingsfull-adder en sturingschrijver	6-12
6.7.	Hardware programmering	6-14
7.	Naschrift	7-1
8.	Litteratuur en Referenties	8-1
Appendix A:	Iets over I <sup>2</sup> L logica	A-1
Appendix B:	Economische aspecten	B-1
	B1 Verrekening investeringen	B-1
	B2 Keuze I <sup>2</sup> L versus microprocessor	B-3
	B3 Economisch optimale chipgrootte	B-7

## 1. Inleiding.

### 1.1. De Hartvector

Doel van cardiografie is het verkrijgen van informatie over de hartfunctie, door middel van metingen aan de elektrische verschijnselen die de hartactiviteiten begeleiden. Cardiografie is het optekenen (registreren) van elektrische hartactiviteiten i.h.a. op registratiepapier.

Een cardiogram is de registratie van de elektrische hartactiviteit. Een cardiograaf is een apparaat geschikt om cardiogrammen te produceren. De elektrische verschijnselen hebben te maken met de triggering van het hart en met het samentrekken en ontspannen van de hartspier. Ze kunnen worden voorgesteld als één dipoolvector die in de tijd van richting en grootte verandert. De spanningen die gemeten worden en waar de informatie uitgehaald wordt, worden gemeten aan de lichaamsoppervlakte of in het hart, niet in de hartspier, dus niet op de plaatsen waar die spanningen bedoeld zijn iets te doen gebeuren. De cardiografie verricht metingen aan (elektrisch) afval, en is in dit opzicht vergelijkbaar met onderzoek aan urine.

De dipoolvector zou kunnen worden vastgelegd door registratie van de 3 projecties op een assenstelsel. Dit gebeurt ook wel (vectorcardiografie) maar in een meerderheid van de registraties wordt niet zo veel aandacht besteed aan de mogelijkheid van reconstrueren van de hartvector. De spanningen worden gemeten tussen historisch bepaalde elektrodenplaatsen ; volgens bepaalde algorithmen, die het mogelijk moeten maken de verschillende karakteristieken kwalitatief te bepalen. Het is natuurlijk ook erg moeilijk om een vector in een begrens, niet homogeen lichaam als het menselijk lichaam is, te bepalen uit zijn effecten aan het oppervalk van dat lichaam. Bovendien levert het weinig op.

### 1.2. De afleidingen.

Een afleiding is een algoritme dat voorschrijft op welke wijze de meting moet verlopen voor het maken van een cardiogram.

Met name worden de aansluitingen van de electroden voorgeschreven.

### 1.2.1. Electrodenplaatsen.

De volgende namen en plaatsen van electroden zijn voorgeschreven.

R(right) : rechterpols

L(left) : linkerpols

F(foot) : linkervoet

Ref.(referentie) : rechtervoet

$C_1$  t/m  $C_6$  : 6 elektroden die op 6 voorgeschreven plaatsen op de borst, zij en rug worden aangebracht.

C : 1 Electrode, die op 6 voorgeschreven plaatsen op de borst, zij en rug achtereenvolgens kan worden aangebracht.

Er zijn nog meer electrodenplaatsen gedefinieerd, vooral t.b.v. vectorcardiografie, maar die zijn hier niet van belang, (zie fig. 1.1.).

N.B. In het volgende wordt met R,L,F,C in het algemeen niet de betreffende elektrode bedoeld, maar de spanning op die elektrode t.o.v. Ref.

### 1.2.2. Afleidingen.

In paragr. 1.2.2.1. e.v. worden de aantal soorten afleidingen genoemd.

Men zou kunnen overwegen een aantal andere afleidingen (eventueel zelf gecreëerde) te gaan schrijven. Met name een gemodificeerde borstafleiding  $V_i' = 3/2 C_i - \frac{R+L+F}{2}$  die eenvoudiger bewerkingen vraagt dan  $V_i$  en dezelfde vorm heeft als  $V_i$ , alleen een schaalvergroting heeft ondergaan, is overwogen.

Echter heeft het geen zin, de afleidingen zijn, zoals ze gedefinieerd zijn, in gebruik en zijn ook bindend voorgeschreven door normaliseringscommissies als AHA en IEC.

Een cardiograaf moet tenminste de afleidingen I,II,III, aVR, aVL, aVF,  $V_i$  ( $i=1$  t/m  $6$ ) kunnen schrijven.

De volgende afleidingen kunnen worden genoemd:

1.2.2.1. Standaard afleidingen (volgens Einthoven) (fig.1.2)

$$I = L-R$$

$$II = F-R \quad (\text{fig. 1.2.})$$

$$III = F-L$$

1.2.2.2. Unipolaire extremitetsafleidingen

$$VR = R - \frac{L+R+F}{3}$$

$$VL = L - \frac{L+R+F}{3} \quad (\text{fig.1.3})$$

$$VF = F - \frac{L+R+F}{3}$$

1.2.2.3. Verhoogde unipolaire afleidingen (volgens Goldberger)  
(deze zijn  $3/2$  x de unipolaire afleidingen)

$$aVR = R - \frac{L+F}{2}$$

$$aVL = L - \frac{R+F}{2} \quad (\text{fig. 1.4})$$

$$aVF = F - \frac{R+L}{2}$$

1.2.2.4. De zes borstafleidingen volgen Wilson.

$$V_i = C_i - \frac{R+L+F}{3} \quad \text{waarin } i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

(fig. 1.5)

1.2.2.5. Er zijn meer afleidingen gedefinieerd, die voor ons niet van belang zijn. De standaard afleidingen, de unipolaire en de verhoogde unipolaire afleidingen zijn extremitetsafleidingen.

1.2.3. Berekenwijze.

Zoals onder 1.2.2. is aangegeven, moet de waarde  $\frac{R+L+F}{3}$  worden berekend.

Analoog gaat dat heel eenvoudig door het verbinden van de 3 elektroden, via een weerstand, naar een gemeenschappelijk punt, de centrale terminal CT. De spanning van het knooppunt CT t.o.v. Ref. heeft dan de waarde  $\frac{R+L+F}{3}$ .

Zoals onder 1.2.2. is aangegeven worden de <sup>3</sup> elektrode spanningen zelf t.o.v. Ref. niet geregistreerd. Ze zijn ook niet bekend.



Alle genoemde extremitets afleidingen (I,II,III, VR,VL,VF, aVR, aVL, aVF) zijn bewerkingen van maar 3 onbekende, en zelfs maar 2 onafhankelijke.

Men zou  $I=L-R$  en  $II = F-R$  kunnen meten, en daar alle anderen uit bepalen, mits die 2 gelijktijdig worden gemeten.

Nu worden deze verschillende afleidingen geregistreerd, hoewel ze strict genomen geen extra informatie geven.

Overigens, ook al is het mogelijk om uit 2 registraties de derde te construeren, is het toch wel prettig die derde ook te krijgen en hem a.h.w. electricisch te construeren.

### 1.3. Het signaal.

In fig.1-6 zijn de verschillende afleidingen van één hartslag van een normaal persoon weergegeven.

Een aantal karakteristieken zijn :

P complex:excitatie atria (boezem)

QRS complex : excitatie ventrikels (kamers)

T complex : repolarisatie van de ventrikels

Normale waarden : onderlingen afstand van de complexen

0.4 ... 1.3 seconde Amplitude (R) 0.5 .... 7 mV.

duur QRS complex 50 à 100 msec.

duur P complex ~110 msec.

In de meeste gevallen heeft afleiding II de grootste amplitude van de extremitetsafleidingen.

Op het te meten signaal is nog gesuperponeerd een langzaam (rampfunctie) of stapsgewijs variërende "gelijkspanning" o.a. veroorzaakt door de elektroden op de huid, die een element vormen, waarvan de waarde bij beweging of verschuiving van de elektrode t.o.v. de huid, kan veranderen.

Deze spanningssprongen worden artefacten genoemd.

### 1.4. De interpretatie van het signaal.

Dit is het werk van de cardioloog.

Samen met andere gegevens kan onder omstandigheden uit een cardiogram een diagnose worden gehaald.

Voorbeelden :

- onregelmatige, zeer grote of zeer kleine onderlinge afstanden van de complexen (respectievelijk arrhythmieën, brady cardia, tachy cardia).

- Soms ontbreken P toppen: triggering begint niet op juiste plaats. (De ventrikels gedragen zich als oscillatoren met frequentie  $\sim 40$  per minuut, de atria idem, met  $\sim 55$  per minuut, en die triggerende ventrikelloscillator. De atria worden met hogere frequentie getriggerd vanuit de hersenen).
- T-top geïnverteerd : dat is normaal voor jonge negers en voor mensen die digitalis als medicijn hebben gehad, voor anderen betekent het iets abnormaals. Dit illustreert de noodzaak van vergelijken van gegevens náást het cardiogram.
- Wolff-Parkinson-White syndroom : (zie fig. 1.6).  
QRS complex bestaat uit 2 componenten : de normale R-top met daarop gesuperponeerd een delta vormig signaal, vermoedelijk veroorzaakt door resp. een normale triggering van de ventrikels via de atrio-ventrikulaire knoop met daarop gesuperponeerd een partiële triggering via één of andere kortsluiting.

### 1.5. Cardiografen

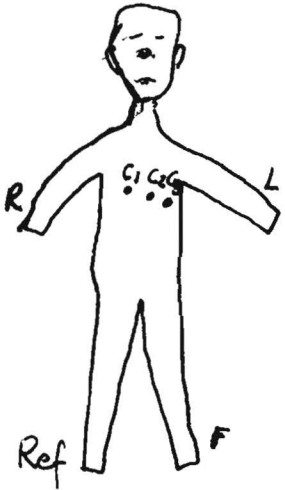
1.5.1. Voor het registreren van cardiogrammen zijn zeer veel cardiografen op de markt, van eenvoudige eenkanaals, waarmee de afleidingen één voor één geschreven kunnen worden, met schakelaar voor de keuze van de afleiding, tot 8 kanaals die overlappend kunnen schrijven, met keuze schakelaars voor selectie van alles wat in die 8 kanalen geschreven wordt (behalve ECG-afleidingen, ook andere signalen, als druk, en geluid, stroomsnelheid etc.).

Ook komen verschillende schrijfsystemen voor, b.v.

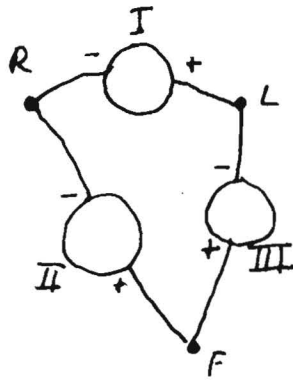
- hitte-pen (schrijft op thermosensitief papier)
- lichtstraal (UV licht, schrijft op UV gevoelig papier m.b.v. bewegende spiegeltjes)
- inkt-jets enz.

1.5.2. Philips Medical System stelt zich ten doel o.a. een aantal typen cardiografen op de markt te brengen voor verschillende toepassingsgebieden en met verschillende mogelijkheden.

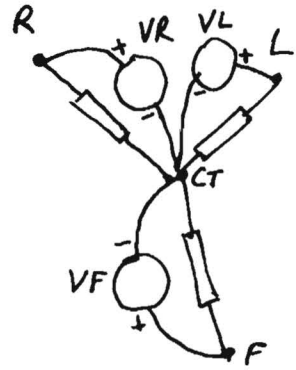
Het ontwerp van één daarvan, en wel de PEAC, de Parallel Electrode Automatische Cardiograaf, vormt het onderwerp van de rest van dit verslag.



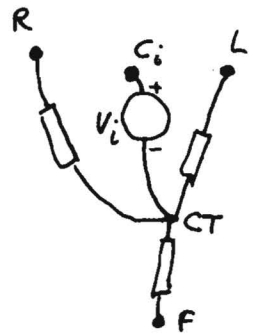
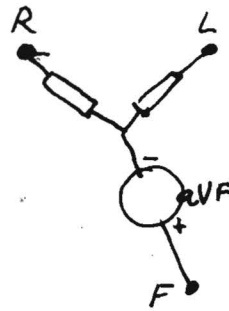
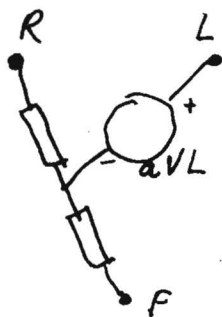
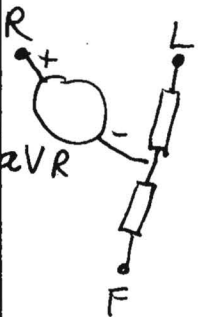
Electroden plaatsen  
fig. 1.1



Standaardafleidingen  
fig. 1.2.

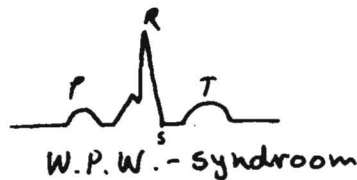
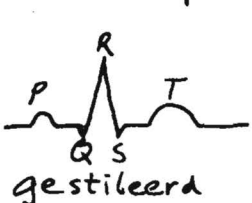
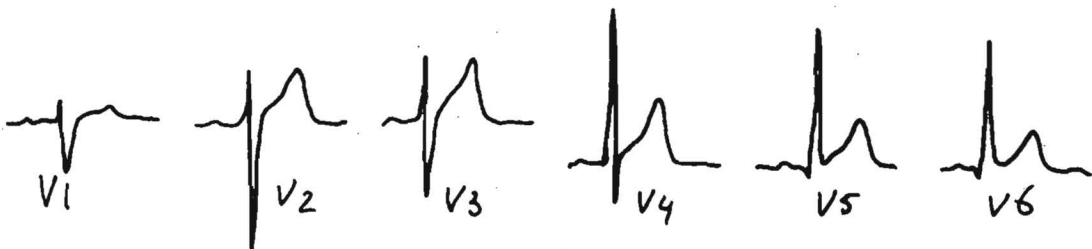
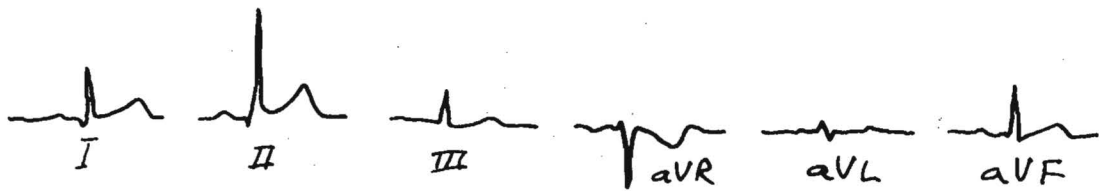


Unipolaire extremitets  
afleidingen  
fig. 1.3.



Borstafleidingen  
fig. 1.5

Ver ho og de Unipolaire Extremitetsafleidingen  
fig. 1.5.



Voorbeelden ECG afleidingen  
fig. 1.6.

## 2. Ontwerp van cardiograaf PEAC (Parallel Electrode Automatische Cardiograaf).

### 2.1. Filosofie

Een instrument voor het routinematig opnemen van cardiogrammen door niet cardiologisch personeel (verpleegsters). De betekenis ~~voor~~ de diagnose is als van een verbeterde stethoscoop, echter kan de informatie uit deze cardiograaf worden vastgelegd (op papier) en van te voren worden opgenomen.

Ook in de gevallen waar tot nu toe ook een cardiogram gemaakt móét worden moet PEAC bijzondere mogelijkheden bieden n.l. het opnemen door niet-specialisten, en daarmee besparing op de bezetting van ziekenhuisbedden, doordat niet speciaal een cardiogram nemen op de behandelingsplanning hoeft te komen.

Als het instrument voldoende eenvoudig te bedienen is en goedkoop genoeg, kan het een plaats vinden op elke ziekenhuiszaal.

### 2.2.1. Eisen en kenmerken.

De volgende eisen en kenmerken moeten als één blok worden gezien :

1. Eenvoudig te bedienen : functies die geautomatiseerd kunnen worden ook inderdaad automatiseren.  
Vermijdt instelknoppen, afregelingen, keuzeknoppen, maak papiervoorziening eenvoudig, idem inkt of vermijdt inkt.
2. Eenvoudig te bedienen : zeer gemakkelijk aanleggen aan patient.
3. Robuust.
4. Goedkoop.

### 2.2.2. Als aan deze eisen wordt voldaan kan men ook op grote aantallen (althans voor Medical Systems) rekenen. Strijdig met de eisen is eigenschap : flexibiliteit.

Het apparaat hoeft niet flexibel te zijn. Voor metingen die meer inhouden dan een routinecardiogram moet verwezen worden naar grotere, duurdere, flexibele apparaten, die gebruikt worden door cardiologen.

### 2.3. De oplossing.

Het zoeken naar het ontwerp dat het beste voldoet aan de eisen, is op iteratieve wijze gegaan. Echter heeft het ook iets van een spel schaak, men kan niet alle mogelijke oplossingen consequent uitdiepen, wel kan men, door het doen van de eerste noodzakelijke zetten, het aantal mogelijkheden beperken. De overwegingen voor elke stap zullen vaak vermeld worden. De gevonden oplossing is mogelijk niet de beste, het is wel een :goede benadering van de beste oplossing.

### 2.4. Stap 1 : De kamschrijver.

Een kamschrijver bestaat uit een groot aantal pennen die elk een punt op het registreerpapier kunnen zetten. Door het papier te bewegen en de juiste pen steeds te selecteren kan een bijna continue registratie worden verkregen.

#### 2.4.1. Voordelen.

De kamschrijver, of parallel electrode schrijver heeft een aantal voordelen boven andere schrijfsystemen :

- door digitaal aansturen gemakkelijk aan te sluiten op een automatisch, en waarschijnlijk digitaal systeem.
- Laag energieverbruik, met mogelijk gevolg : eenvoudiger voeding, vervallen netaansluiting.
- Robuust, geen mechanisch bewegende delen.
- Meerdere sporen tegelijk te schrijven : b.v. hoofdspoor en hulpsporen.
- Geen geknoei met inkt.
- Goedkoop, mits in voldoende aantallen om ontwikkelkosten terug te verdienen. Daaraan wordt voldaan.

#### 2.4.2. Firepulserate.

Het aantal punten dat per seconde geschreven wordt, wordt de fire pulse rate genoemd.

Hoewel het eigenlijke signaal frequenties bevat tot 100 à 150 Hz moet met een veel hogere frequentie punten gezet worden op het papier. Een fire puls repetition rate van 3 à 4 kHz wordt nodig geacht.

Zij het oorspronkelijk signaal als fig. 2.1.a. . Gegeven is dat de bandbreedte 100 Hz is. De sample frequentie is 200 Hz. De waarden in fig. 2.1.b. worden gesampled. Deze bevatten weliswaar alle informatie, uit deze sample waarden kan het oorspronkelijke signaal worden teruggevonden, als gebruik wordt gemaakt van het gegeven dat  $B = 100$  Hz. Zou men echter deze sample waarden printen, dan ontstaat fig. 2.1.c. Slechts als men het signaal analoog zou meten en filteren met  $B = 100$  Hz zou men de oorspronkelijke signaal terug krijgen. Het is echter duidelijk dat fig. 2.1.c. als registratie t.b.v. medische diagnose onvoldoende is. Men ziet niet zonder meer dat het signaal niet als fig. 2.1.d. is geweest. Dus is er fire puls frequentie van veel meer dan  $2 B$  ( $B =$  bandbreedte v.h. signaal) nodig. Zoals gezegd is  $3 \text{ á } 4$  kHz nodig en dit bedrag is gevonden door bestaande cardiogrammen te digitaliseren en te zien bij welke sample frequentie alle details goed herkenbaar geschreven worden.

Deze registratie wordt voorgesteld door fig. 2.1.e. Men zou dus het signaal met 200 à 300 Hz kunnen sampelen, dan bewerken, analoog maken, filteren en met 4 kHz sampelen en printen.

Het ligt voor de hand dat niet te doen maar het signaal slechts één keer analoog-digital om te zetten en wel met een sample frequentie van 4 kHz.

Om te printen moet het toch gedigitaliseerd worden met 4 kHz. Met simulaties van gedigitaliseerde signalen is ook gevonden dat in de breedte 4 punten per mm geprint moeten kunnen worden.

### 2.4.3. Kamschrijveraansturing

Er zijn 192 pennen, (samen 48 mm breed, 4 pennen per mm). Per pen moet een driver-transistor worden aangesloten d.w.z. een transistor die voldoende spanning kan schakelen en voldoende

stroom door de pen kan sturen gedurende voldoende tijd om een punt te printen (resp. 45 Volt, 1 A, 2 $\mu$ sec).

Een aantal van deze transistoren wordt tesamen met hun selectie, in één chip ondergebracht.

Mogelijkheden : 192 chips van 1 transistor  
 96 chips van 2 transistoren  
 64 chips van 3 transistoren  
 enz.  
 24 chips van 8 transistoren  
 enz.  
 6 chips van 32 transistoren

Het optimum blijkt bij 24 chips van 8 transistors te liggen elke chip is gelijk en heeft een 1 uit 8 selectie (adressering met 3 bit) + chip selectie.

De chipselectie (één punt per chip) had ook op een doorlopende adresbus gedaan kunnen worden, maar dan hadden de chips ingewikkelde decodings gekregen, of allemaal verschillend geweest en ieder voor zich slechts op een uniek adres moeten reageren, of op meerdere sporen aangesloten. (Fig.22;23;24) De driver gaf al redelijk veel moeilijkheden zodat het aanbeveling verdiende om de chip eenvoudig te houden. De mogelijkheid van fig. 2.4 is gekozen.

De oplossing van fig. 2.2. was niet geschikt omdat in elke chip een ander adres zou moeten worden opgeslagen, evt. een digitale comparator.

De oplossing van fig. 2.3. was te verwezelijken, door de oplossing van fig. 2.4. te kiezen konden de 5 ingangen en 1 andpoort vervallen. Die komen op de driverselect chip.

#### 2.4.4. Driver-select chip voor kamschrijveraansturing (fig. 2.5)

Deze chip bevat : 1. shift register van 8 bits.

klokpuls ingang

adres ingang.

2. Een demultiplexer, die de firepuls doorgeeft naar één van de 24 chips.

De 5 ingangen van de demultiplexer  $b_7, b_6, b_5, b_4, b_0$  van het shiftregister. Eén van de 2<sup>4</sup> uitgangen wordt aangestuurd als

- zijn adres in het shift reg. staat.
- Een firepuls binnenkomt. Deze dient als "enable decoder".

Vanaf de bewerking komen 3 draden naar de driver-select chip.

1. Serieel adres, te beginnen met minst significante bit, adressen lopen van 0 tot en met 191 ofwel binair van 0000.0000 tot en met 1011.1111.
2. Adrespulsen, om dat adres in the klokken.
3. Fire puls. Op het moment van de fire puls wordt en punt geprint op dat adres wat met de laatste 8 klokpulsen is ingeklokt, onafhankelijk van het totale aantal klokpulsen dat sinds de laatste firepuls is opgetreden.

#### 2.4.5. Mechanische opbouw van de kamschrijver.

Een schets van de mechanische opbouw van de kamschrijver is gegeven in fig. 2.6.

Aan een keramisch plaatje van  $\sim 50 \times \sim 20$  mm zitten aan elke kant 96 pennen, die zodanig gebogen zijn, dat er naast elkaar afwisselend pennen van de ene en de andere zijde komen.

Pen $\phi$  is 180  $\mu$ , in de tussenruimte is een isolatiefolie van 50  $\mu$ , er blijft nog 10  $\mu$  over aan beide zijden om de pennen opsteek van 250  $\mu$  = 0.25 mm te krijgen.

In fig. 2.7 is een schets van de layout gegeven. De 24 chips worden langs de beide zijden opgesteld, zodat de draden van de driver chip naar de pennen zo kort mogelijk zijn. De driver-select chip komt op een gunstige plaats i.v.m. totale sporen-layout. De te ontwerpen chips voor verwerkingselectronica kunnen ook een plaats op dezelfde keramische plaat krijgen.

#### 2.5. Stap 2. Keuze voor de "Spin"

De spin is een doosje met een aantal draden er aan en wegens die vorm wordt hij spin genoemd.

De reden van deze keuze kan duidelijk worden gemaakt door vergelijken van twee toestanden :



Zonder spin : de cardiograaf staat op een tafeltje naast het bed. Aan de cardiograaf zitten 5 lange draden, die aan verschillende plaatsen aan de patient vastzitten. Deze draden zitten verward.

Met spin : aan de cardiograaf zit 1 kabeltje naar een klein doosje (de spin) dat op de buik van de patient ligt. Aan de spin zitten nog 5 korte draden die aan verschillende punten aan de patient vastzitten. Omdat gemakkelijke bediening hoge prioriteit heeft wordt de spin toegepast.

#### 2.6. Stap 3. Keuze van digitale verwerking.

Gekozen wordt voor digitale verwerking van signalen, waarbij rekening is gehouden met de volgende argumenten :

1. De uitgang van het verwerkingscircuit is digitaal.
2. Automatiseren gaat gemakkelijker bij digitale verwerking. Automatiseren houdt o.a. in het bijhouden van tijden en nemen van logische beslissingen, testen van waarden. Vooral bijhouden van wat langere tijden (meerdere seconden) gaat digitaal veel gemakkelijker.

#### 2.7. Stap 4. Digitaliseren en scannen in de spin.

2.7.1. Om 4 analoge signalen die de spin binnenkomen, in de cardiograaf digitaal te verwerken bestaan de volgende mogelijkheden.

- Analoge transmissie, 4 ADC's, digitale scanner. (zie fig. 2.8). De digitale scanner aan het eind lijkt misschien overbodig, maar er zal toch op een of andere manier sequentieel verwerkt moeten worden  
b.v. om  $V = C - \frac{R+L+F}{3}$  te berekenen zal toch achtereenvolgens elk van de kanalen<sup>3</sup> bewerkt moeten worden  
b.v. Laden R  
    Optellen L  
    Optellen F  
    Delen door 3  
    Optellen C.

Of men zou een aantal full adders parallel moeten laten werken.

-Analoge transmissie, analoge scanner, 1 ADC.

Deze ADC zou 4 kanalen met 4 kHz sample freq. moeten verzorgen, dus 16 kHz.

-Analoog scannen, 1 ADC, digitale transmissie.

-Analoog scannen, analoge transmissie, 1 ADC.

-4 ADC's, digitaal scannen, digitale transmissie.

-4 ADC's, digitale transmissie, digitaal scannen.

De keuze is op de mogelijkheid gevallen met 4 ADC's, digitaal scannen, digitale transmissie (zie fig. 2.10) omdat we de beschikking hebben over zeer goedkope ADC's, die niet met 16 kHz sample freq. kunnen werken, en wel met 4 kHz, mits de slew rate niet te groot is.

Bovendien is digitaal scannen eenvoudiger dan analoog.

#### 2.7.2. De ADC's.

De toe te passen ADC's worden hier beschreven omdat hun eigenschappen invloed hebben gehad op het overall blockschema.

Ze bestaan uit : (zie fig. 2.11).

1. Een CR filter,  $C = 1\mu F$ ,  $R = 3,3M\Omega$

R is gedeeltelijk kort te sluiten zodat  $RC = 0.3$  sec.  
i.p.v. 3.3 sec.

2. Een versterker, omschakelbaar: 500 x, 1000 x.

3. Een comparator, die DAC uitgang vergelijkt met het versterkte signaal.

4. Een DAC waar een bijzondere schakeling is toegepast om de stroom in 2 gelijke delen te verdelen.

Door herhaald één van beide helften van de stroom wéér te verdelen ontstaat een serie van stromen in verhoudingen van 1, 2, 4 ... 256. (zie fig. 2.13). Deze kunnen al dan niet worden ingeschakeld. Tot zover een 9 bits DAC met stroomuitgang en 9 bits binaire ingang.

5. Een teller. 9 bit heen en terug teller, asynchroon. De uitgangen van de teller worden verbonden aan de DAC onder 4 beschreven.
6. Een beslissingsschakeling die voor elke sampling beslist hoeveel telpulsen er in welke richting in de teller bijgeteld moeten worden. Aan het begin van de sampling bepaalt de comparator welke richting geteld moet worden. Bij omschakelen van comparator stopt het bijtellen. Maximaal 15 worden bijgeteld of afgeteld.
7. Een stroombron van  $512 I_0$ , omschakelbaar naar ongeveer dubbele stroom.
8. Een verschuivingsschakeling die de te meten spanning verschuift met een spanning overeenkomend met ongeveer het halve bereik. Een ingangsspanning van 0 volt maakt dat de teller ongeveer in het midden van zijn bereik staat, deze clamping moet mee omgeschakeld worden met de enkele naar dubbele stroombron omschakeling.

Het geheel is nu een langzaam werkende ADC geworden. Bij een sampling frequentie van 4 kHz, max. 16 pulse per sampling; telpulses 64 kHz.

De ADC heeft 9 bits scheidend vermogen. Een keer verdubbelen van het stroombereik door bijschakelen van stroom is mogelijk, één keer verdubbelen van spanningsbereik is mogelijk door halveren versterking. Daardoor ontstaan 11 bits dynamisch vermogen.

De ADC kan 4000 conversies per sec. maken, mits de waardes dicht bij elkaar liggen. De slew rate is klein. De slew rate begrenzing zoals beschreven betekent dat de ADC in  $\frac{512}{15} = 34$  samplings dus in  $8\frac{1}{2}$ msec zijn gehele bereik kan doorlopen. De steilste delen van het cardiogram kunnen daarmee geschreven worden.

## 2.8. Stap 5. Galvanische scheiding.

Om aan veiligheidseisen te kunnen voldoen, met name die waarbij geëist wordt dat de cardiograaf door een sluiting naar het net niet gevaarlijk kan worden wordt een scheidingstransformator aangebracht.

Dit wordt een extra reden om het scannen vóór de transmissie te doen gebeuren.

De voeding voor de ADC komt ook vanaf de cardiograaf via deze scheidingstransformator.

## 2.9. Stap 6. Differential Pulse Code Modulation.

Voor deze keuze zijn een aantal argumenten aan te voeren.

### 2.9.1. De bewerking.

Steeds worden dezelfde 4 elektrode spanningen bewerkt tot meerdere afleidingen. B.v. moeten de bewerkingen  $R - \frac{L+F}{2}$  en  $C - \frac{R+L+F}{3}$  uitgevoerd worden

$R - \frac{L+F}{2}$  zou als volgt gedaan kunnen worden :

neem  $\overset{2}{R}$ , in Acc, schuif F 1 stap, tel op, schuif L 1 stap, tel op  
Tel de verschoven nullijn op, zoals die voor deze afleiding nu geldt.

Nodig zijn dan : 9 bits parallel Full-adders en 6 registers voor : R, L, F, V, Acc, nullijn.

Voor  $\frac{R+L+F}{3}$  moet door 3 gedeeld worden nadat éérst opgeteld is. Door  $\overset{3}{3}$  delen kan door 2 bit naar rechts schuiven en optellen een paar keer te herhalen dus:

$1/4 + 1/4 \cdot 1/4 + 1/4 \cdot 1/4 \cdot 1/4 + 1/4 \cdot 1/4 \cdot 1/4 \cdot 1/4 + 1/4 \cdot 1/4 \cdot 1/4 \cdot 1/4 \cdot 1/4 = 1/4 \left[ 1 + 1/4 \left\{ 1 + 1/4 (1 + 1/4) \right\} \right]$   
 $= 85/256 = 0.332 = 1/3$ . Door vaker herhalen wordt de benadering beter.

Deze operatie veronderstelt 8 x schuiven en 4 x optellen met een 9 bits parallel full-adder, alleen om door 3 te delen terwijl 2 opvolgende waarden vrijwel gelijk zijn per sampling. Door DPCM te kiezen wordt deze bewerking zeer veel eenvoudiger. Immers de slew rate van het signaal is beperkt ; reeds is

vastgesteld dat de ADC, die slechts een differentie met de vorige sampling van 15 eenheden kan verwerken, ruim voldoende is. Deze 15 eenheden zijn veel eenvoudiger te verwerken. Dit is voldoende reden voor DPCM. Er zijn nog meer argumenten.

#### 2.9.2. De nullijn.

Bij de onder 1 genoemde bewerking moet steeds de nullijn worden bijgeteld, of wordt als nullijn genomen de nullijn van de ADC's. De nullijn van de ADC's is het gemiddelde signaal. Dit is aanvaardbaar, maar men (ziekenhuispersoneel) heeft liever als nullijn de horizontale stukken van het signaal tussen de complexen, of het midden tussen maxima en minima om maximaal gebruik van het bereik te kunnen hebben.

#### 2.9.3. De transmissie.

Bij de onder 1 genoemde bewerking moeten per kanaal 9 bits overgezonden worden. Met 5 bits per kanaal kan men alle informatie ook overzenden.

#### 2.9.4. Scannen.

Het tellen van maximaal 15 clockpulsen in de ADC en het scannen van 5 bits, is eenvoudiger dan het serieel maken van 9 bits van de tellers in de ADC's en dan 9 bits scannen.

#### 2.10. Transmissieformaat.

2.10.1. Het volgende bitpatroon is afgesproken voor transmissie naar "bewerking" (zie fig. 2.14a)

Bit 0 = startbit naar spin.

De spin wordt vanuit de cardiograaf gesynchroniseerd.

Bit 1 = 1 als Rctijd klein moet zijn.

Bit 2 = 1 als in de volgende cyclus het spanningsbereik groot moet zijn (spanningsversterking klein).

Bit 3 = 1 als in de volgende cyclus de stroombron groot moet zijn.

Deze 4 bits geven informatie náár de spin.

Bit 4 = tekenbit voor kanaal R.

Bit 5 t/m 8 = waarde bit voor kanaal R.

b.v. bit 4 t/m 8 is 10011 dan is  $\Delta R = +3$

00100 dan is  $\Delta R = -4$

Bit 9 t/m 13 is  $\Delta L$

Bit 14 t/m 18 is  $\Delta F$

Bit 19 t/m 23 is  $\Delta V$

2.10.2. Aan de cardiograafzijde van de transmissielijn is het signaal-aanpassingscircuit.

De te zenden bits moeten daar eerder aangeboden worden dan boven aangegeven en de te ontvangen bits komen later binnen. In fig. 2.14c is geschetst wat aangeboden wordt aan het blok „signaal herstel” Fig. 2.14b toont de bit-tijdnummers met daarboven de nummers zoals die later gebruikt worden.

2.10.3. Het bovengenoemde bitpatroon wordt gesuperponeerd op een sinusspanning die als voeding dient voor de spin.

2.11. Overige functies. Er zijn nog een aantal functies te vermelden. Zelfs bij een geautomatiseerd apparaat is nog een minimum aan bedieningselementen nodig. Verder een aantal functies die te maken hebben met papiertransport, en met de batterijvoeding.

2.11.1. Bedieningselementen.

Het aantal bedieningselementen is zeer klein gehouden en bestaat uit :

1. Startknop voor het inschakelen van de cardiograaf en nog wat functies. Er is geen uitschakelknop of zoiets.
2. Keuzeknop E/V, ofwel Extremiteitsafleidingen of V = borstafleiding.

Deze 2 knoppen kunnen alternatief uitgevoerd worden als start V en start E knoppen.

3. Papiersnelheidskeuze 25 mm/sec. of 50 mm/sec.  
Hier hebben we verder in het ontwerp van de verwerkingselectronica niets mee te maken.
4. Marker, indrukken van deze knop moet zichtbaar worden op de registratie.

2.11.2. Signalen náár verwerkingselektronica.

1. Batterij vol : Dit digitale signaal is "0" als batterij vol genoeg is.
2. Reset alles : Dit signaal wordt door een externe condensator tijdelijk (gedurende b.v. 20 msec) aan "0" gehouden na inschakelen spanning.
3. CP1 en CP2, 2 series klokpulsen met een halve periode onderling fase verschil.

2.11.3. Signalen van verwerkingselectronica naar periferie

1. Power off. Als dit signaal "1" wordt, moet spanning afgeschakeld worden.
2. Paper transport. Papiertransport moet doorgaan zolang signaal = "1".

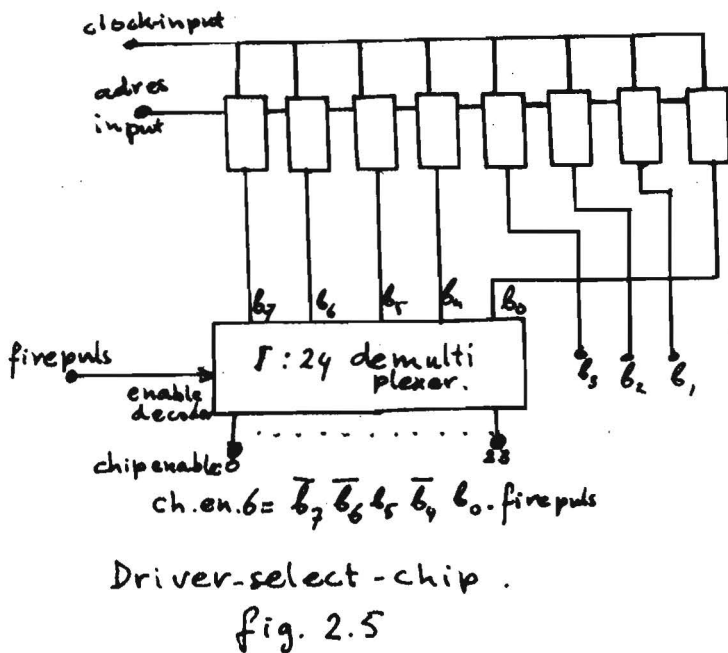
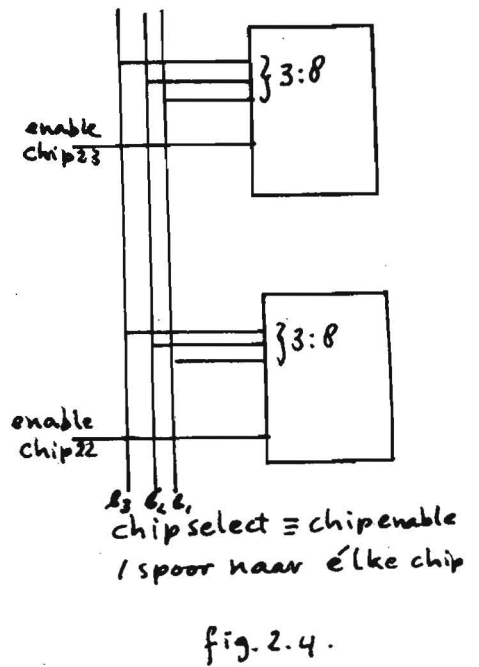
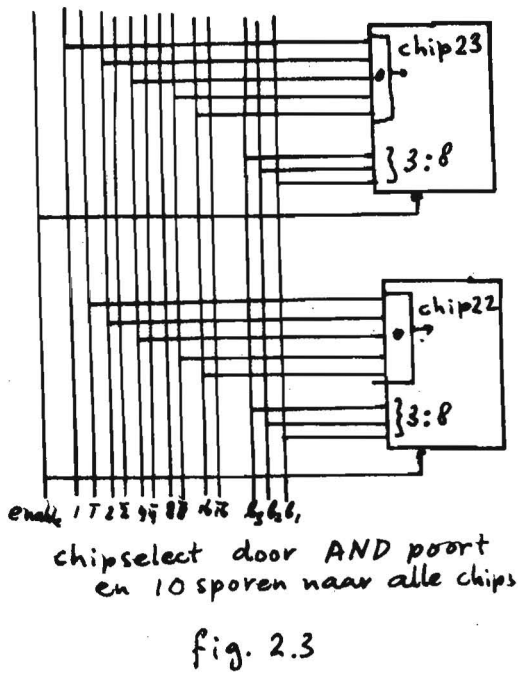
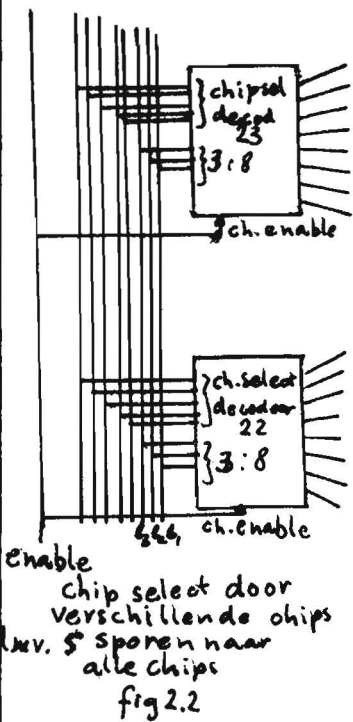
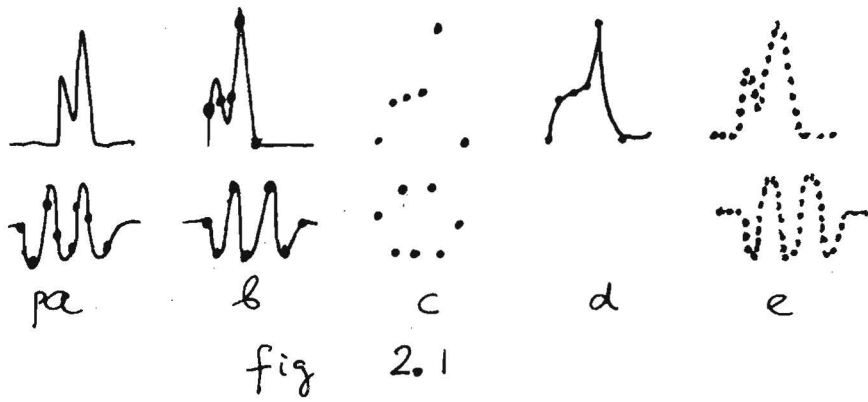
2.12. Samenvatting.

In dit hoofdstuk 2 is stapsgewijs het blokschema voor de cardiograaf opgebouwd.

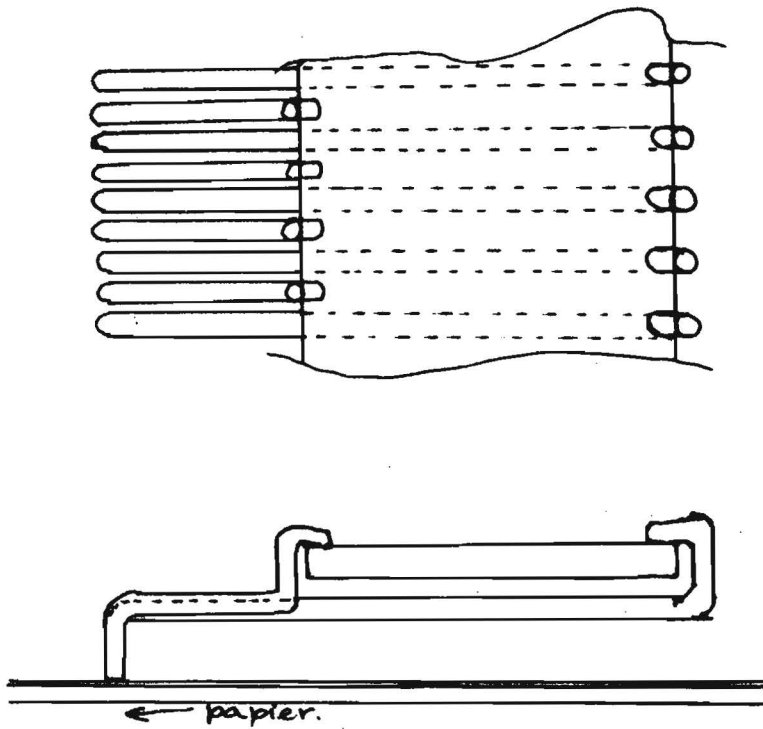
Gebruik is gemaakt van de gegevens dat de bediening eenvoudig en de afwikkeling automatisch moeten zijn, dat een bepaald type ADC goedkoop beschikbaar komt, en van afschattingen van de problemen van alternatieve mogelijkheden b.v. PCM versus DPCM etc.

Alhoewel het blok "verwerking" de eigenlijke opdracht vormde, is daarover nog zo goed als niets gezegd. Wel is de omgeving gedefinieerd.

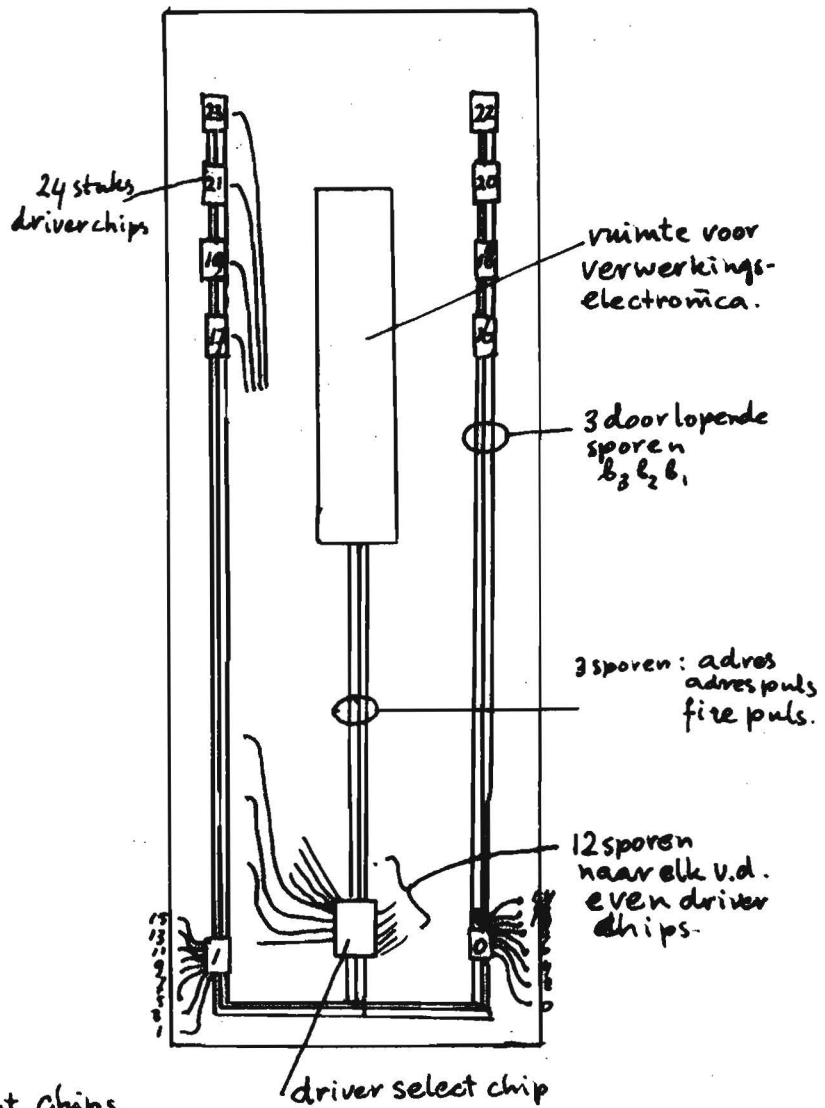
Fig. 2.15 geeft het blokschema weer voor zover het nu bepaald is.



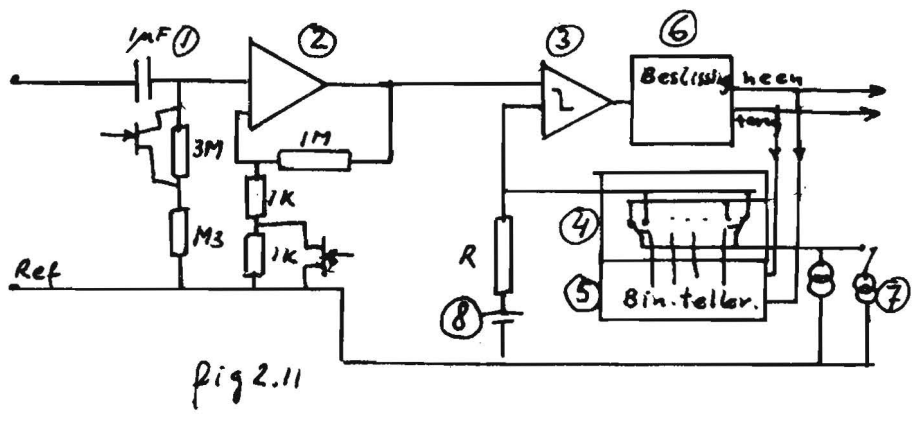
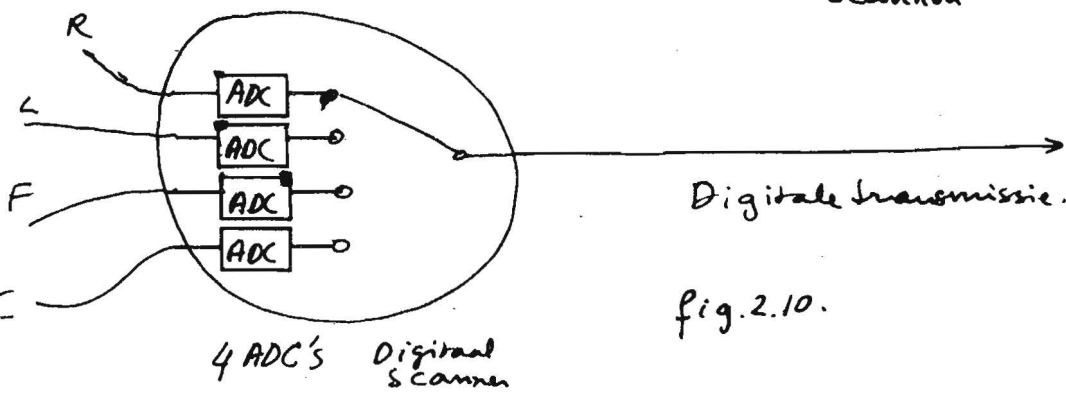
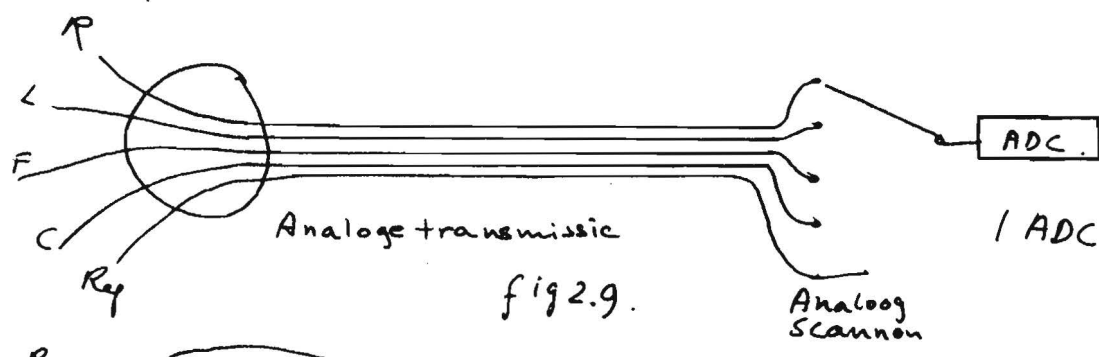
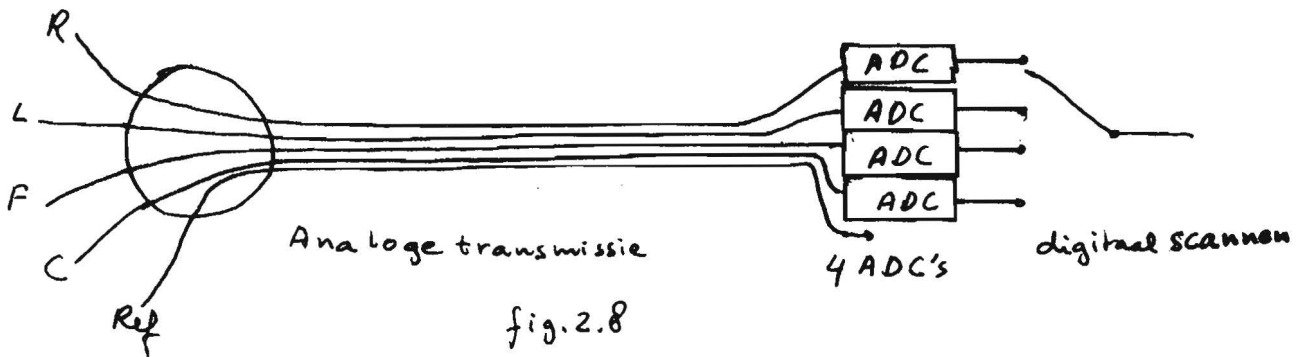


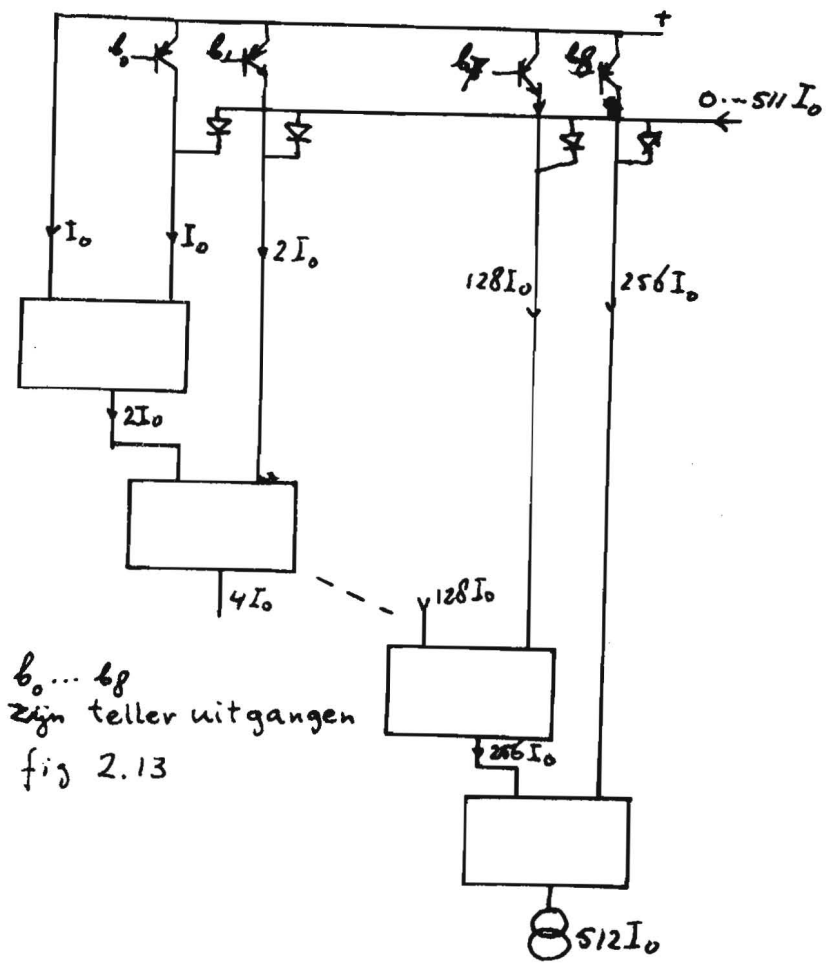


Mech. opbouw kamschrijver fig 2.6.



Lay out chips fig 2.7.





$b_0 \dots b_8$   
zijn teller uitgangen  
fig 2.13

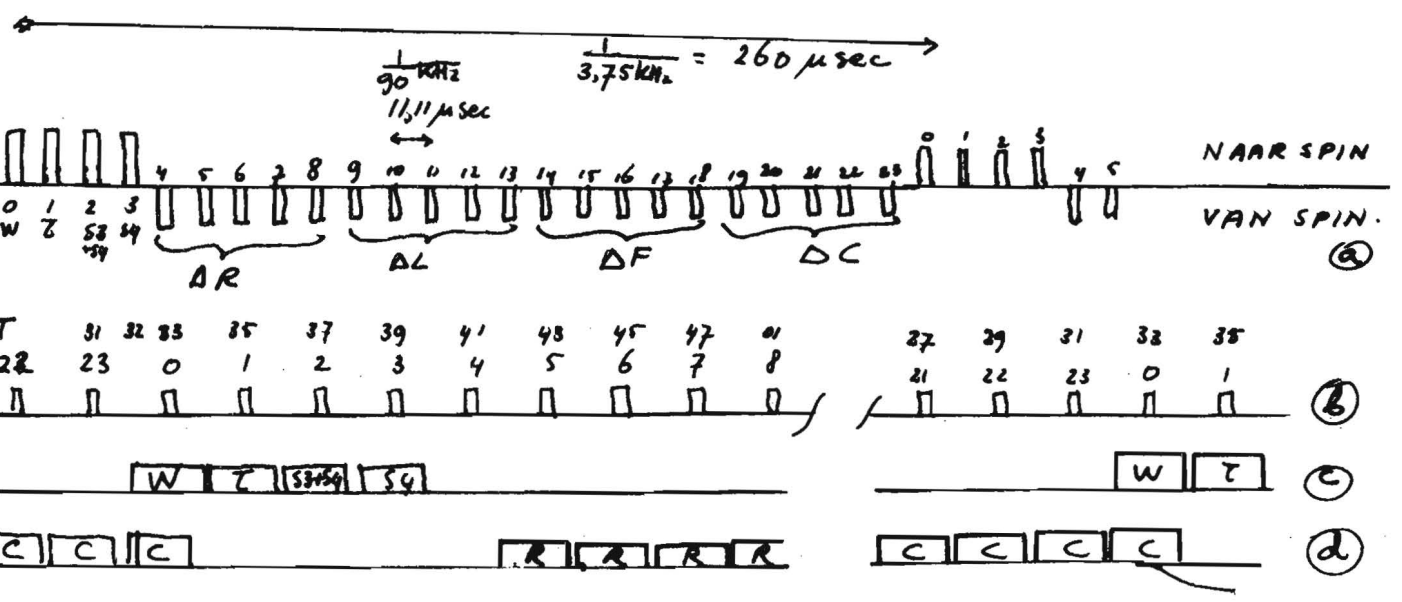


fig. 2.14

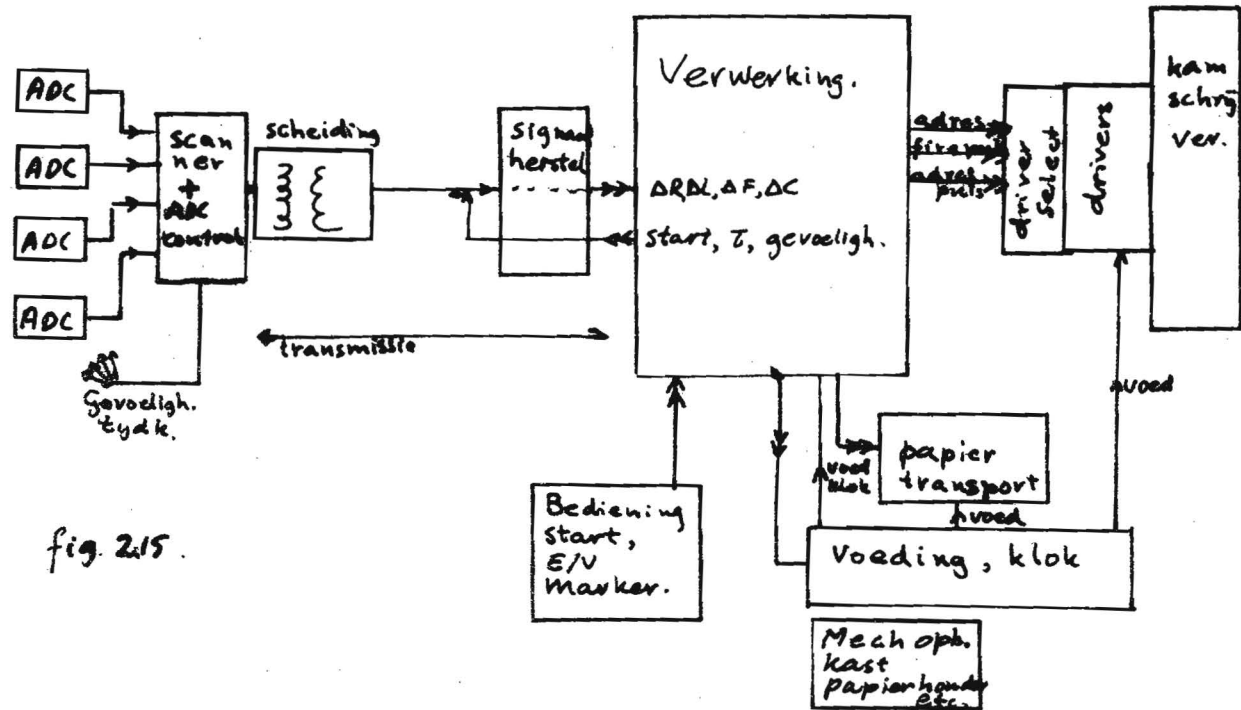


fig. 2/15.

### 3. Blokschema verwerkingselectronica VWE.

3.1. In het vorige hoofdstuk is het blokschema van de hele cardiograaf bepaald.

In dit hoofdstuk wordt het blokschema van de verwerkingselectronica VWE bepaald.

De omgeving van de verwerkingselectronica is vastgeslegd. Bekend is in welke vorm dataflow vanaf spin naar VWE en van VWE naar kanschrijver gaat en ook in welke vorm de control flow van VWE naar spin gaat. In VWE wordt bepaald hoe gereageerd wordt op bediening. VWE schakelt papiertransport in en uit en schakelt de voeding uit.

Voor het bepalen van het blokschema van VWE maken we gebruik van volgende eisen voor PEAC. Hoewel deze eisen gezamenlijk niet de hele specificatie vormen, zijn deze eisen bepalend geweest voor dat blokschema.

#### 3.2. Eisen aan PEAC.

3.2.1. Er moeten afleidingsberekeningen gemaakt worden b.v.

$$V_i = C - \frac{R+L+F}{3} \quad \text{Vroeger is reeds aangenomen dat}$$

$$\Delta V_i = \frac{\Delta C^3 - \Delta R + \Delta L + \Delta F}{3}$$

een veel gemakkelijker bewerking is, niettemin moet deze bewerking gemaakt worden. Het resultaat  $\Delta V_i$  moet opgeteld bij de bestaande  $V_i$  om de nieuwe te krijgen.

3.2.2. Deze berekende afleiding moet geschreven worden. Voor de extremitetsafleidingen is nodig dat achtereenvolgens worden geschreven : I,II,III, aVR, aVL, aVF, waarbij automatisch wordt omgeschakeld op de juiste ogenblikken.

3.2.3. Dit omschakelen moet na ongeveer 5 sec en op een goed tijdstip gebeuren. Als b.v. afleiding III positief gaat en aVR gaat negatief op tijdstip  $t_1$  en als net op ogenblik  $t_1$  wordt omgeschakeld, dan ontstaat registratie van fig. 3.1a. Beter is op een ogenblik om te schakelen waar het signaal ongeveer nul en ongeveer horizontaal is zodat fig. 3.1b. ontstaat. Dit voorkomt buiten papier lopen van de registratie en omschakelen gedurende een complex (d.i. bij 1 hartslag behorende signaal).

3.2.4. Het signaal moet met juiste gevoeligheid worden gemeten door ADC. Gevoeligheid wordt door VWE bepaald uit signaalsterkte.

- 3.2.5. In één hulpspoor wordt de gevoeligheid en de afleiding geïndiceerd, in een ander hulpspoor worden geconstateerde pace-makerpulsen en het indrukken van "Marker" knop op bedieningspaneel geregistreerd.
- 3.2.6. Op buitenpapier lopen van registratiespoor moet correct gereageerd worden, afhankelijk van de oorzaak.
- 3.2.7. Na verloop van tijd moet het apparaat uitgeschakeld worden.

### 3.3. Details over gevoeligheden en signaaleigenschappen.

- 3.3.1. Noem de afstand tussen 2 punten op de kamschrijver = 1 SE = 1 schrijfeenheid. Noem het gewicht van het getal dat overgezonden wordt in DPCM uitgedrukt in E (eenheden). Het getal dat overgezonden wordt, is afgerond op E's. Bij bewerking zullen deze afrondingsfouten kunnen accumuleren waardoor, indien steeds 1 E=1 SE genomen zou worden, een fout ontstaat van ongeveer 2 SE (2 SE afstand tussen de plaats waar een punt staat en waar hij zou moeten staan). Deze fout is random verdeeld. Wegens het grote aantal punten dat geprint wordt is, het praktische resultaat een dik geschreven lijn. Een verbetering wordt aangebracht door een 9 bits ADC te gebruiken, deze 9 bits waarden te verwerken en pas op het moment van printen de laatste bit niet mee te nemen. De ADC heeft 3 gevoeligheden :
- $S_4$  : 1 E = 25  $\mu$ V Totaal bereik ADC = 512 E x 25  $\mu$ V = 12.8 mV  
dus van - 6.4 tot + 6.4 mV  
1 SE = 2 E = 50  $\mu$ V      1 mm = 4 SE = 200  $\mu$ V      1 mV = 0.5 cm.  
papierbreedte = 48 mm = 9.6 mV = - 4.8 mV tot + 4.8 m
- $S_3$  : 1 E = 12,5  $\mu$ V. Totaal bereik ADC = 512 x 12.5  $\mu$ V = 6.4 mV  
dus van - 3.2 tot + 3.2 mV  
1 SE = 2 E = 25  $\mu$ V      1 mm = 4 SE = 100  $\mu$ V      1 mV = 1 cm  
papierbreedte = 48 mm = 4.8 mV = - 2.4 tot + 2.4 mV.
- $S_2$  : 1 E = 6.25  $\mu$ V. Totaal bereik ADC = 512 x 6.25  $\mu$ V = 3.2 mV  
dus van - 1.6 mV tot + 1.6 mV  
1 SE = 2 E = 12.5  $\mu$ V. 1 mm = 4 SE = 50  $\mu$ V      1 mV = 2 cm.  
papierbreedte = 48 mm = 2.4 mV dus van - 1.2 mV tot + 1.2 mV.
- Bovendien is er nog een extra gevoeligheid voor het instrument, niet voor ADC. (voor de ADC is 6.25  $\mu$ V de kleinste eenheid die redelijk boven de ruis uitkomt. Volgens  $u^2 = 4 KTR\Delta f$  is voor

$$4 \text{ kHz}, 100 \text{ k}\Omega \rightarrow \overline{u^2} = 4 \times 41.6 \times 10^{-22} \times 10^5 \times 4 \cdot 10^3 = 6.6 \times 10^{-12} \cdot \sqrt{u^2} = 2.6 \mu\text{V})$$

Men neemt nu wel de laatste bits, dus bredere lijn op papier.

$$S_1 : 1 \text{ E} = 6.25 \mu\text{V}. \text{ Totaal bereik ADC} = 512 \times 6.25 \mu\text{V} = 3.2 \text{ mV}.$$

dus van - 1.6 mV tot + 1.6 mV.

$$1 \text{ SE} = 1 \text{ E} = 6.25 \mu\text{V} \quad 1 \text{ mm} = 4 \text{ SE} = 25 \mu\text{V}, \quad 1 \text{ mV} = 4 \text{ cm}.$$

$$\text{papierbreedte} = 48 \text{ mm} = 1.2 \text{ mV} \text{ dan van } - 0.6 \text{ mV tot } + 0.6 \text{ mV}.$$

Opgemerkt wordt dat het midden van het ADC-bereik bij het gemiddelde van het signaal ligt. De nullijn van het papierbereik valt daarmee niet samen. Het bereik van één ADC is als aangegeven (zie fig. 3.2) echter is het geregistreerde signaal steeds de som van meerdere ADC inhouden. Bovendien zullen bij de grootste van de te registreren afleidingen in het algemeen de inhouden van de betrokken ADC's wel tegengestelde tekens hebben.

We weten niet a priori bij welke te registreren signaalsterkte de ADC's overstuurd zullen zijn.

De ADC's lopen vast als ze tegen het eind van hun bereik komen. De accumulator loopt niet vast. Dus moet gezorgd worden dat, als de ADC's tegen de eindstand komen, de accumulator inhoud geen aanleiding geeft tot foutieve interpretaties. De accumulator heeft daarom 10 bits. Bovendien geeft een 9 bits accumulator bij test op "buiten bereik" ook aanleiding tot dubbelzinnigheden.

Het bepalen van de gevoeligheid van alle 4 ADC's gedurende de hele registratie wordt zo gedaan dat het signaal van de grootste afleiding de grenzen van  $\pm 80 \text{ SE}$  niet overschrijdt en die van  $\pm 40 \text{ SE}$  wel (binnen de mogelijkheden van een keuze uit 4 gevoeligheden).

Na het vaststellen van de gevoeligheid kan het signaal wel één van de grenzen van  $\pm 80 \text{ SE}$  overschrijden als er een DC verschuiving optreedt.

3.3.2. Om nu een idee van de grootte van b.v. R te hebben van

het volgende worden opgemerkt.

Het grootste signaal b.v. afl. II, = F-R.

De registratie van het QRS complex staat op papier en duurt 40 msec. Het signaal doorloopt dan maximaal 160 SE in minimaal 20 msec. (anders zou andere gevoeligheid gekozen zijn) dus 8 SE in 1 msec.

$$= \frac{8}{3.75} \cdot \frac{\text{SE}}{\text{sample}} = \frac{16}{3.75} \text{E} = 4.26 \text{E per sample (sample freq.} = 3.75 \text{ kHz)}$$

verdeeld over 2 kanalen. Stel één kanaal doet niets : max 5 E/sample

Een realistischer maat voor de maximale steilheid van het signaal is  $100 \text{ SE in } 20 \text{ msec} = 5 \text{ SE} = 10 \text{ E per msec}$ . Voor die grootste afleiding zal daarin een additieve werking van de beide kanalen zitten, b.v.  $\Delta F - \Delta R = 7 \text{ E} - (-3 \text{ E}) \rightarrow \Delta F = 7 \text{ E per msec}$ , dus ongeveer 2 E per sample. De ADC kan 15 E per sample verwerken, de maximale praktische waarde is 2 E, maximale worstcase 5 E.

Conclusie daaruit : 1) Als het binnenkomende kanaal een waarde heeft van 8 E of meer, kan heel veilig worden aangenomen dat dat niet het gevolg is van een normaal cardiogram signaal. Het wordt opgevat als veroorzaakt door een pacemakerpuls (200 mV 2 msec  $\approx$  8 samples).

2) Als de binnenkomende meer dan 8 E opgevat word als PM puls hoeven ze ook niet verwerkt te worden. Een binnenkomende  $\Delta$ kanaal tot 7 E wordt wel verwerkt en levert een voldoende veiligheidsmarge t.o.v. bovengenoemde 2 E resp. 5 E.

Het andere uiterste :

Een kleine helling b.v. T top, 0.1 mV in 0.2 sec. ofwel 100  $\mu$ V in 200 msec, is 16 E in 750 samples, een gemiddelde van 1 E per ongeveer 50 samples (tamelijk willekeurig voorbeeld uit Boutkan). Hieruit volgt dat herhaalde rekenslagen met verwaarloosde afrondingen niet toegestaan zijn. Alle afrondingen bij bewerkingen moeten onthouden worden (wat niet zo moeilijk is).

### 3.4. Keuze van I<sup>2</sup>L LSI versus microprocessor.

3.4.1. De oorspronkelijke planning was, zowel in LSI als in microprocessor een oplossing te zoeken voor de VWE en dan te vergelijken welke de beste zou zijn.

Echter blijkt LSI, bij de geschatte seriegrootte van PEAC, veel goedkoper te zijn dan gekochte microprocessors.

In de appendix over economische aspecten bij ontwerp wordt hier op uitvoeriger ingegaan.

Van de argumenten vóór microprocessors :

- 1) veel functies te verrichten,
- 2) functie-flexibiliteit vereist,
- 3) toevoegen van functies (later) noodzakelijk,
- 4) veel data op te slaan,
- 5) vele logische toestanden op te slaan, gelden eigenlijk alleen 1) en 5) en nog niet eens in sterke mate.

De keuze is dus wel vastgelegd vóór LSI.



3.4.2. Er zijn diverse technologiën die in aanmerking zouden kunnen komen om de LSI in uit te voeren.

$I^2L$  (Integreerbare Injectie Logika) heeft als voordelen o.a.

- laag energiegebruik
- bij Philips goed beheerste technologie.

In de appendix over  $I^2L$  wordt het gebruik van  $I^2L$  toegelicht.

### 3.5. Uitvoering afleidingsberekening, afsplitsen input chip.

3.5.1. Definieer voor het volgende :

-  $\Delta$ kanaal is een van de vier in differential Pulse Code Modulation (DPCM) binnenkomende  $\Delta R, \Delta L, \Delta F, \Delta C$ .

-  $\Delta$ afleiding = de afleidingsbewerking toegepast op de  $\Delta$ kanalen

$$\text{b.v. } V \text{ afleiding} = C - \frac{L+R+F}{3}$$

$$\Delta V \text{ afleiding} = \Delta C - \frac{\Delta L + \Delta R + \Delta F}{3}$$

- accumulator is het register waar de waarde van de afleiding in staat. Deze waarde is een sommatie van  $\Delta$ afleiding, of een rechtstreekse sommatie van bewerkte  $\Delta$ kanalen.

De accumulator inhoud is ook gerelateerd aan de te schrijven registratie.

3.5.2. De  $\Delta$ kanalen komen achtereenvolgens binnen in de VWE.

Zoals eerder, (in 2.7.1.) al opgemerkt is, zal bewerking ook sequentieel moeten gebeuren.

Het ligt voor de hand de bewerking tijdens of meteen na binnenkomst volgens de op dat moment geldende afleidingsregels uit te voeren, zodat er niets opgeslagen hoeft te worden.

3.5.3. Bezien we de  $\Delta$ afleidingen met de noodzakelijke bewerkingen :

$$\begin{array}{llll} I & = \Delta L - \Delta R = & - \Delta R + \Delta L + 0 + 0 \\ II & = \Delta F - \Delta R = & - \Delta R + 0 + \Delta F + 0 \\ III & = \Delta F - \Delta L = & + 0 - \Delta L + \Delta F + 0 \\ aVR & = \Delta R - \frac{\Delta L + \Delta F}{2} = & + \Delta R - \frac{\Delta L}{2} - \frac{\Delta F}{2} + 0 \\ aVL & = \Delta L - \frac{\Delta F + \Delta R}{2} = & - \frac{\Delta R}{2} + \Delta L - \frac{\Delta F}{2} + 0 \\ aVF & = \Delta F - \frac{\Delta L + \Delta R}{2} = & - \frac{\Delta R}{2} - \frac{\Delta L}{2} + \Delta F + 0 \\ V & = \Delta C - \frac{\Delta L + \Delta R + \Delta F}{3} = & - \frac{\Delta R}{3} - \frac{\Delta L}{3} - \frac{\Delta F}{3} + \Delta C. \end{array}$$

Elk  $\Delta$  kanaal moet dus met één van de volgende getallen vermenigvuldigd worden :

+ 1, - 1, -  $\frac{1}{2}$ , -  $\frac{1}{3}$ , 0, en dan opgeteld bij de accumulator. Om nu het voordeel van de kleine absolute waarden van de te bewerken  $\Delta$ kanaal uit te buiten, dient deze bewerking per kanaal te gebeuren.

3.5.4. De 2 mogelijkheden van fig. 3.3. en fig. 3.4. zijn naast elkaar overwogen.

In fig. 3.3. wordt  $\Delta$ kanaal binnengehaald en overgenomen in een buffer. Deze bufferinhoud heeft 17 toestanden die een bewerking behoeven : + 0 .... + 7, - 0 .... - 7, pacemaker. Er zijn 5 bewerkingen. De kombinatoriek bepaalt voor deze 17x5 mogelijke ingangskombinaties de uitgangsbits, en de eventuele resten bij delingen worden opgeslagen, er zijn dus eigenlijk ook nog de ingangen : rest (3 toestanden) en de uitgang: rest (2 bits). De hele kombinatoriek die hiermee gemoeid was, was niet zo uitgebreid als met deze beschrijving gesuggereerd zou worden. Wat in fig. 3.3. m.b.v. kombinatoriek wordt gedaan n.l. de bewerking van  $\Delta$ kanaal, wordt in fig. 3.4. m.b.v. een omvormen naar aantallen pulsen gedaan. Het register is nu een heen en terug teller. Deze oplossing (van fig. 3.4.) is gekozen, omdat hij ook de mogelijkheid bood op eenvoudige wijze te konstateren of in het signaal een horizontaal stuk aanwezig is (door de telpulsen nog ergens anders te tellen).

3.5.5. Als het register, genoemd in 3.5.4 tevens de accumulator zou zijn, zou :

- hij een 10 bits heen en teruggestellen moeten zijn.
- Er een 8 bits SR nodig zijn om de accumulator inhoud naar de kamschrijver te brengen.
- Dit 8 bits SR omschakelbaar moeten zijn naar de beide registers waar de beide adressen voor de hulpsporen in aanwezig zijn.

Een en ander is wel te verwezelijken, echter zijn de bezwaren :

- Partitioning in meerdere chips wordt vrijwel onmogelijk, in de Appendix "Economie" wordt aangetoond dat het toevoegen van ongeveer 200 poorten een prijsverdubbeling betekent voor een chip. Eén chip van 1000 poorten (f 60,-) is dan duurder dan één van 800 poorten (f 30,-) plus 2 van 400 poorten (2x f 7.50,-) Dit illustreert het belang van partitioning.
- Vermoedelijk een ingewikkelde chip layout, met veel kruisende bedrading, (zie fig. 3.5.).

3.5.6. Een goede oplossing is het afsplitsen van de hele functie in een aparte chip (zie fig. 3.6.). Deze chip (input chip) heeft als taak het bewerken van  $\Delta$  kanaal tot  $\Delta$  afleiding, dus dat gedeelte van de bewerking dat afhankelijk is van de te registreren afleiding.

De chip heeft als ingang :  $\Delta$ kanalen

als uitgang :  $\Delta$ afleiding

(bovendien als uitgang op dezelfde aansluiting, informatie PM = pacemaker en MT 8 = 8 telpulsen t.b.v. het vinden van een horizontaal stuk).

Verder heeft de chip nog sturingangen, met name prog. input met informatie over de te verrichten bewerkingen.

### 3.6. Afsplitsen memory chip.

De bewerking die na de input chip nog moet gebeuren is het optellen van het serieel binnenkomende  $\Delta$  afleiding bij de inhoud van de accumulator en dan de som serieel uitvoeren (zie fig. 3.7.) Voor de hand ligt om de accumulator als een schuifregister uit te voeren en de optelling te verrichten in een 1 bit full-adder, (zie fig. 3.8.)

De sample frequentie en de firepulstrate voor het hoofdspoor is 3.75 kHz. 1 cyclus daarvan duurt dus  $\frac{1}{3,75}$  msec =  $\sim 260$   $\mu$ sec. 1 cyclus is verdeeld in 24 bittijden van  $\sim 11$   $\mu$ sec. Voor het adres van het hoofdspoor zijn maar 8 bittijden nodig. De beide hulpsporen kunnen daar tussen in worden geschreven (zie fig. 3.9.) met elk de helft van de sample frequentie.

Met de opstelling van fig. 3.10. kan dat verwezenlijkt worden. Er ontstaat dan 1 cyclus waarin accumulator en bovenste hulpspoor adres met nog 6 bits restant worden doorgeschoven, en 1 cyclus waarin de accumulator een onderste hulpspooradres met nog 6 andere bits restant worden doorgeschoven. Omdat diverse tijden en tellers moeten worden bijgehouden wordt het idee uitgebreid tot de opstelling van fig. 3.12.. De schakelaar staat telkens gedurende 1 cyclustijd in standen 1,2,1,3,1,2 enz. en achtereenvolgens wordt 10 a, 5 b, 7 q, 2 m, 10 a, 8  $\phi$ , 6 t, 10 a, 10 h, 4 n uit het schuifregister geschoven. Het omschakelen van de schakelaar gebeurt aan het begin van elke cyclus. Op dat moment (aan het begin van elke cyclus) is de topologie weer gelijk aan die van fig. 3.12.

In het bovenstaande betekent :

10 a : 10 bits accumulator

5 b : 5 bits van het adres van het bovenste hulpspoor

8 o : 8 bits van het onderste hulpspoor

7 g, 2 m, 6 t, 10 h, 4 n zijn diverse tellers van respectievelijk 7,2,6,10,4 bits.

Om nu de diverse teller en register-inhouden te testen, worden ze in een testvak getest. Dat zou in testvak A kunnen, maar om het gehele memory schuifregister in een aparte chip te kunnen afsplitsen, worden alle teller en registerinhouden in testvak B geschoven. Aan testvak A behoeven dan geen aansluitingen te worden gemaakt.

De afgesplitste memory chip bevat :  $10 + 3 \times 14$  bits SR met slechts 1 ingang (Data write) ; 1 uitgang (data read) en 3 sturingsaansluitingen (route 1, route 2, route 3).

### 3.7. Control chip.

De rest van de VWE is op de control chip samen gebracht. Deze bevat : (zie fig. 3.13.).

3.7.1. Een één bits full-adder die de volgende bewerkingen kan uitvoeren

+ 1, - 1, x 0, + 0, + 0SR.

Deze bewerkingen kunnen worden uitgevoerd op verschillende delen van de memory chip. Deze delen kunnen worden gezien als registers die op gezette tijden accessibel voor bewerking worden.

3.7.2. Een hardware instructie set voor de full-adder.

Voorbeeld : als de (0→q) FF gezet is, dan wordt aan de q-sectie van de memory chip (het q-register) de inhoud "nul" gegeven zodra dit q-register bereikbaar is.

3.7.3. Een full-adder (1 bit) die serieel de inhoud van de a-, b-, 0- secties van het geheugen aanpast tot adres voor de kamschrijver.

3.7.4. Een modulo  $4 \times 24$  teller, die de onderlinge synchronisatie verzorgt van het data en control-verkeer van en naar de spin en van en naar de input chip ; die de routing in het memory shift register beheerst. Aan de hand van de tellerstand is ook bekend wat de inhoud van het testvak voorstelt.

3.7.5. Een hardware programma, dat aan de hand van de inhoud van het testvak de instructieset bedient. Dit deel verzorgt de eigenlijke automatisering van de cardiograaf.

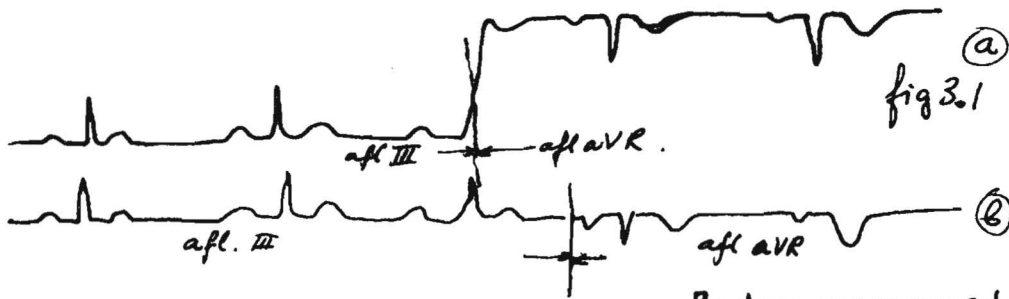


fig. 3.1. Reden voor omschakelen in een horizontaal stuk

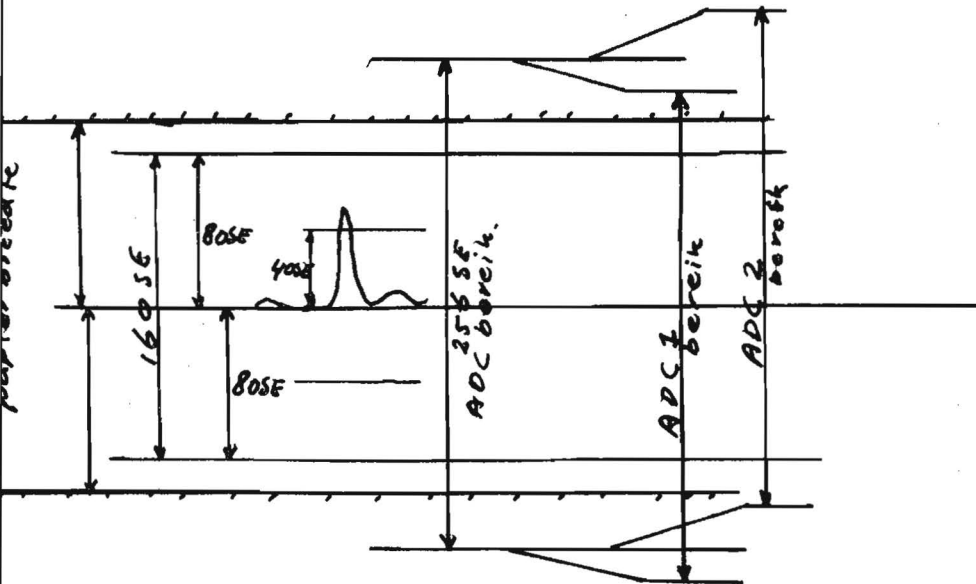


fig. 3.2

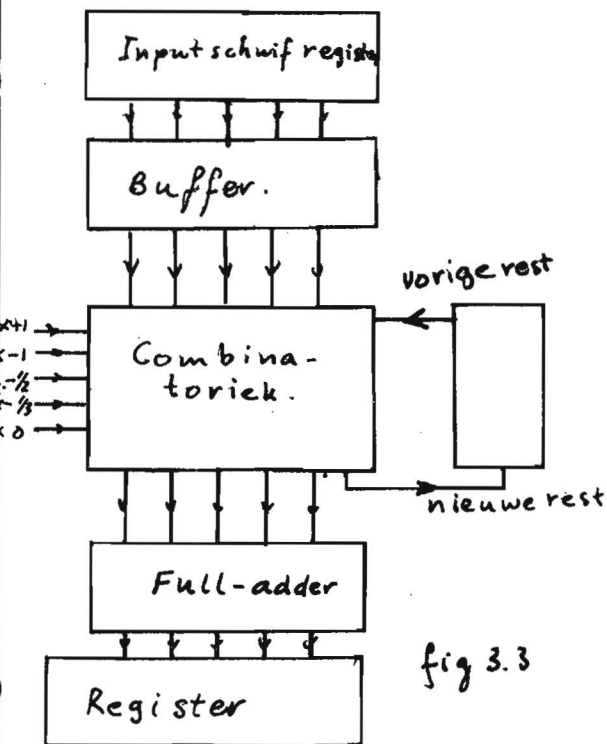


fig 3.3

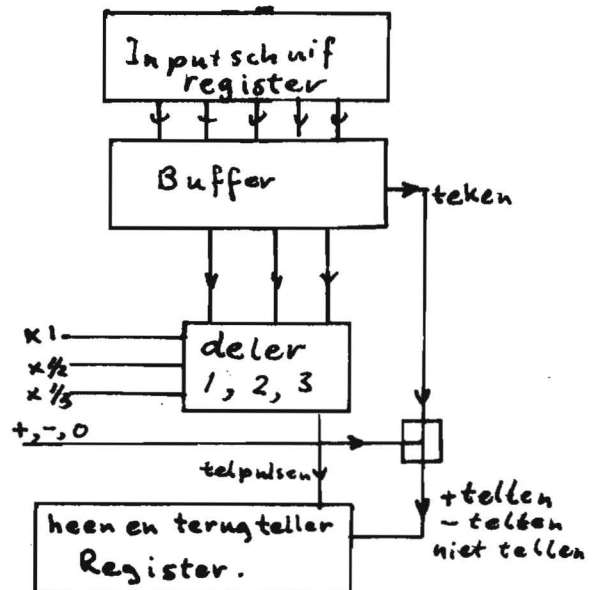


fig 3.4

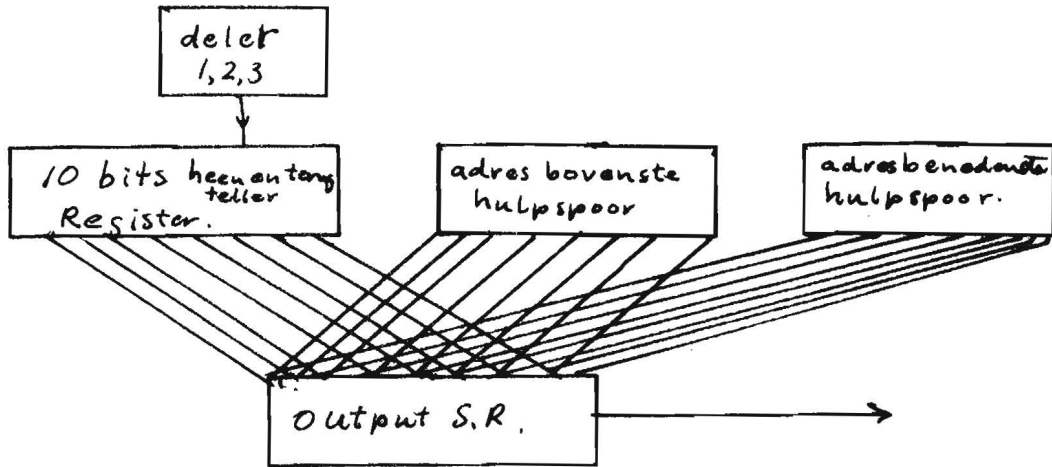


fig 3.5.

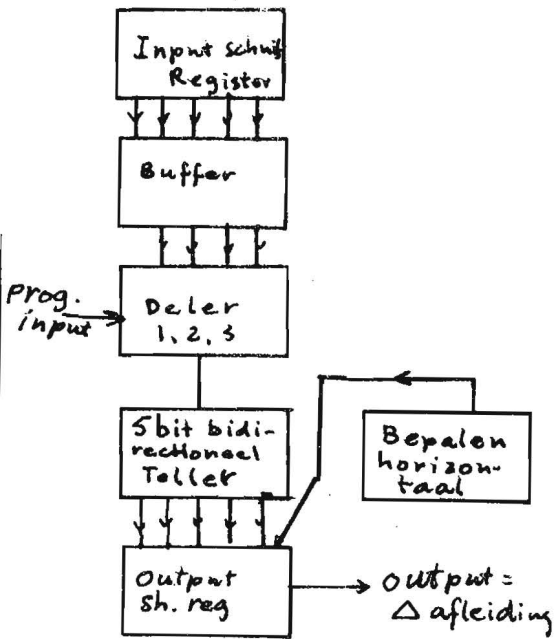


fig. 3.6.

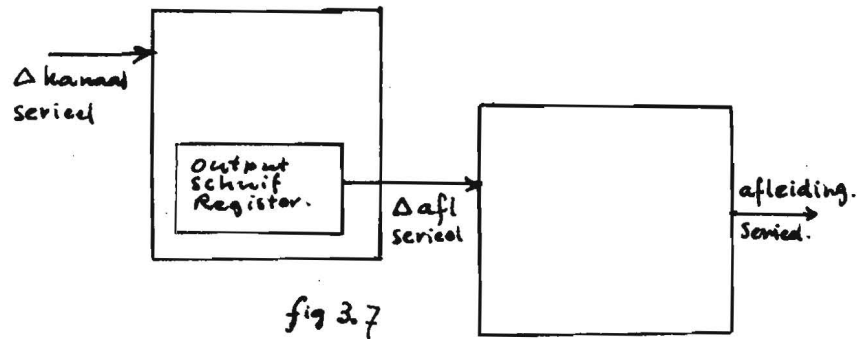


fig 3.7

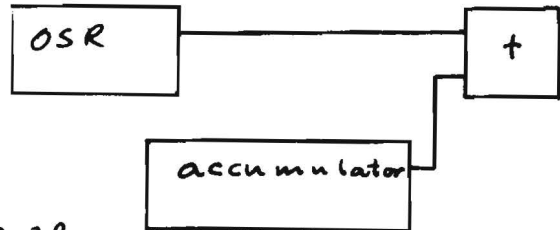


fig.3.8.

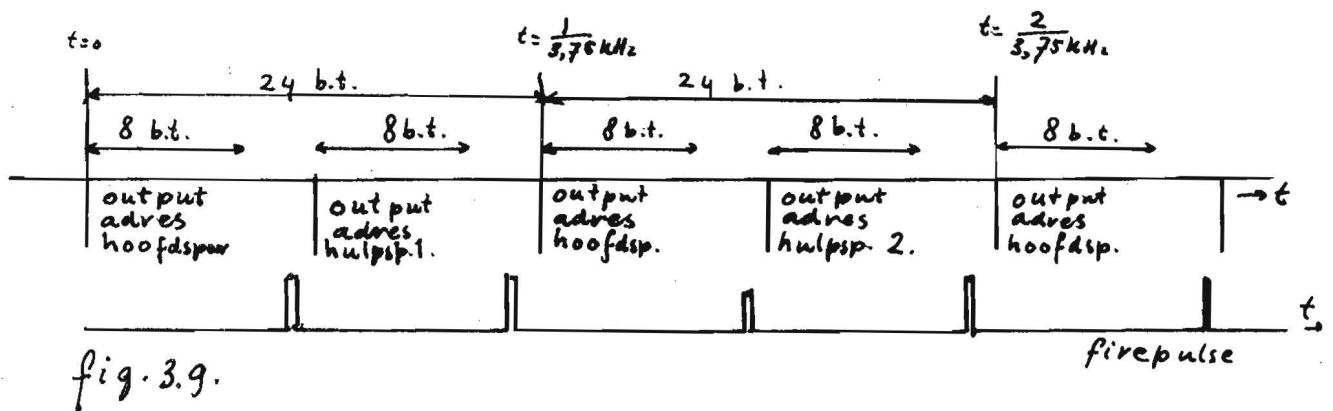
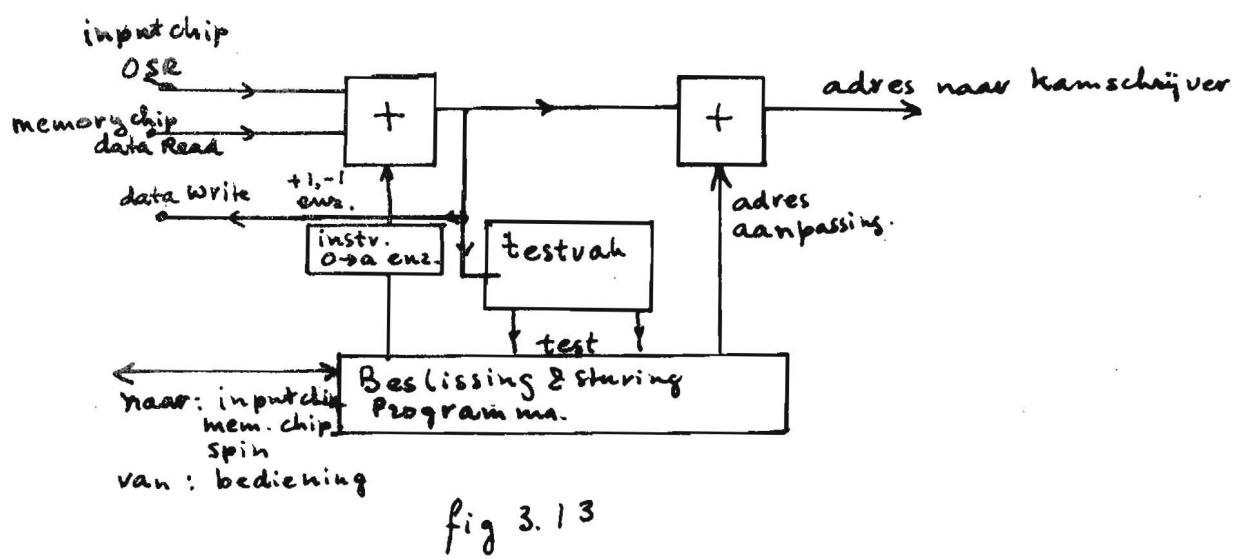
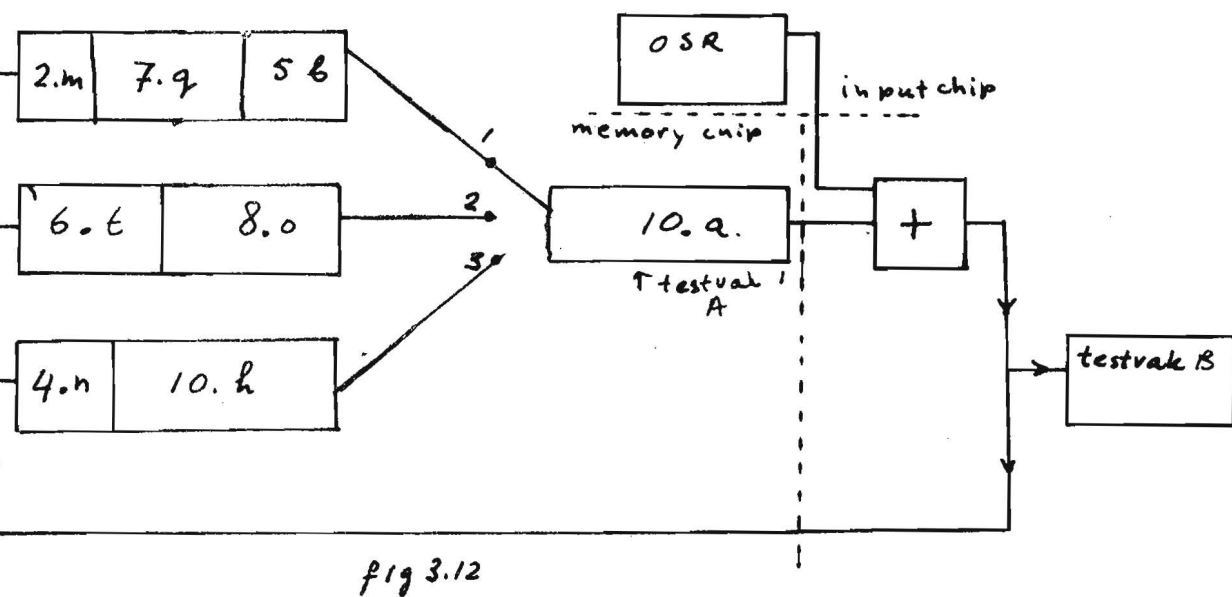
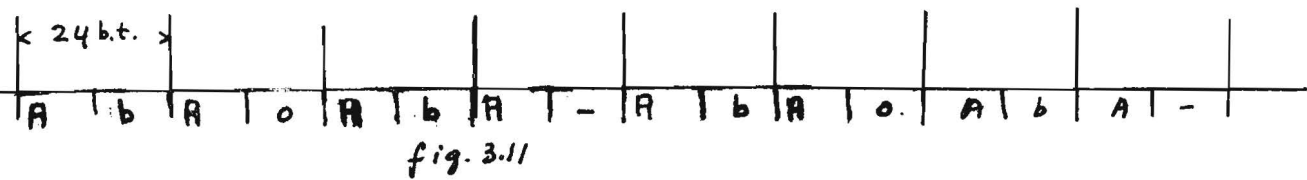
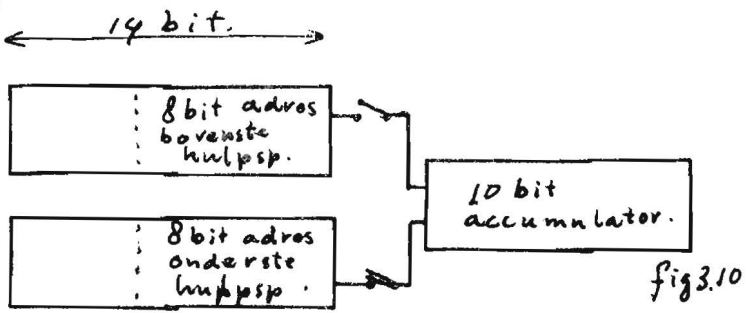


fig. 3.9.





#### 4. Beschrijving Input Chip

Vroeger (in 2.10) is het Transmissieformaat besproken (zie ook fig. 2.14). Het blokschema van de Input chip is gegeven in fig. 4.1. Fig. 4.2. geeft de timing weer ter verduidelijking van de werking van de Input chip. Deze timing is gerelateerd aan de tellerstanden van de teller op de control chip. De volgende notaties worden vastgelegd. Er zijn 2 kloksignalen van 90 kHz, cp1 en cp2. cp1 is de klok die de tellerstand verandert (op de achterflank). De tellerstanden worden aangeduid met even getallen bv. T18 en T20.

De klok die deze tellerstand verandering teweegbrengt en aan het eind waarvan de teller de nieuwe stand gaat innemen, heet T18 cp1 of cp19.

Tussen T18 cp1 en T20cp1 valt nog een andere klokpuls, T20cp2 ofwel cp20. Dezelfde tellerstand T18 wordt voor 4 opvolgende cycli als volgt genummerd: T018, T118, T218, T318. Als de "OR" van deze 4 bedoeld wordt, word Tx18 gebruikt

##### 4.1. Input schuifregister en Input-buffer register

Alles wat van het transmissie kanaal komt wordt ingeklokt in het Input Schuif register. Op cp03 wordt de laatste bit van R ingeklokt, op cp05 wordt de eerste bit van  $\Delta L$  ingeklokt, intussen, op cp04 worden de 5 bits die  $\Delta R$  voorstellen overgenomen in het input buffer register (IBR)

Op cp04 komt  $\Delta R$  in input bufferregister.

Op cp14 komt  $\Delta L$  in input bufferregister.

Op cp24 komt  $\Delta F$  in input bufferregister.

Op cp34 komt  $\Delta C$  in input bufferregister.

Na afloop van cp04 staat  $\Delta R$  als volgt in IBR: (van rechts naar links op fig. 4.1).

1 tekenbit: "1" is +,

4 bits met respectievelijk gewicht 1, 2, 4, 8.

Vb.            01111 = +7  
                  01110 = -7  
                  00011 = +1  
                  11011 = +13

Als de meest linkse bit, met gewicht 8, geset is, wordt dat opgevat als het resultaat van een pacemakerpuls, vandaar de naam PMA voor deze bit. Het bedrag voor  $\Delta R$  moet dan niet verwerkt worden. Als het absolute bedrag voor  $\Delta R$  kleiner dan 8 is, wordt het verwerkt.

In het voorbeeld van fig. 4.2. wordt achtereenvolgens in de IBR gezet: + 5 voor  $\Delta R$ ; +6 voor  $\Delta L$ ; -5 voor  $\Delta F$ , -3 voor  $\Delta C$ .

#### 4.2. CS-pulsen en CS-teller.

Vanaf de control chip komen naar de input chip 4 groepen van 8 pulsen, (gekombineerde cp1 en cp2). (zie timing van fig. 4.2.). Deze CS-pulsen komen in de CS teller. Deze CS-teller is een 3 bit binaire teller. Door het signaal CPOOV wordt de CS teller één keer op nul gezet en wel op cp44. Elke volgende cp44 staat de CS teller al op nul. De CS tellerstanden worden uitgekodeerd:

de tellerstand 0 geeft CS0.

de tellerstand 1 geeft CS1

de tellerstanden 2 en 3 geven CS2

de tellerstanden 4, 5, 6, en 7 geven CS4.

(zie voor CS0, CS1, CS2 en CS4 t.o.v. de 4 series van 8CS pulsen de timing chart fig. 4.2; de lijnen 3, 5, 6, 7, 8 en voor CPOOV lijn 4.

#### 4.3. Signaal "doorlaten"

Het signaal "doorlaten" heeft als booleaanse formule  $\overline{PMA} \cdot \overline{PMB} \cdot \{CS1 \cdot b_1 + CS2 \cdot b_2 + CS4 \cdot b_3\}$  waarin PMA een 8 waardige bit in het huidige  $\Delta$  kanaal, en PMB een 8 waardige bit in een voorgaand  $\Delta$  kanaal van dezelfde cyclus voorstelt.

Dit is in fig. 4.2. lijnen 6, 7, 8 en 10 getekend.

Opgemerkt zij nog, dat in het voorbeeld  $\Delta R, \Delta L, \Delta F, \Delta C$  respectievelijk als absolute waarden hadden: 5, 6, 5, 3 en dat er ook deze aantallen CS pulsen door het signaal "doorlaten" doorgelaten kunnen worden.

#### 4.4. Programma Input, signaal "PROGR".

Het signaal PROGR. wordt door cp1 ingeklokt en op CS.CS0 overgenomen in het Programma buffer Register.

CS.CS0 zijn de volgende: cp04, cp14, cp24, cp34.

Als omstreeks cp03 het signaal PROGR="1", dan wordt op cp04 het signaal M3="1" gemaakt. Als omstreeks cp01, cp47 of cp45 het signaal PROGR "1" zou zijn geweest, zou op cp04 respectievelijk M2, M1, P1 = "1" geworden zijn. Dit is het middel om vanaf de controle chip via één draad de input chip te programmeren voor het verwerken van  $\Delta R$ , waarbij (zie tekst op lijn 11 van fig. 4.2) RP1 betekent: vermenigvuldig R met +1, RM1 betekent: vermenigvuldig  $\Delta R$  met - 1, evenzo RM2 en RM3 resp. vermenigvuldig  $\Delta R$  met  $-\frac{1}{2}$  en  $-\frac{1}{3}$ . In het voorbeeld wordt RM3, LM3, FM3 en CP1 gegeven, wat neerkomt op

$$-\frac{\Delta R}{3} - \frac{\Delta L}{3} - \frac{\Delta F}{3} + \Delta C = \Delta V_{\text{afleiding}}$$

#### 4.5. Delers

Bij de bewerking van  $\Delta$  kanaal mag een deling niet afgerond worden; een rest moet bewaard blijven tot de volgende cyclus. Voor elke afleiding geldt dat er òf door 2 gedeeld moet worden, òf door 3 òf geen van beide. Daarom kan dezelfde deler gebruikt worden om door 2 of door 3 te delen.

Als deler wordt een modulo 2 of 3 teller gebruikt zodat de rest van de deling vanzelf blijft staan. De deler werkt als volgt: Er wordt door de "heen" deler geschakeld op de achterflank van "CS. doorlaten" voor: "(M2+M3). teken -".

Als M3 is "0" (dus delen door 2) geldt.

$t_n$		$t_{n+1}$	
$d_1$	$d_2$	$d_1$	$d_2$
0	X	1	0
1	0	0	1
0	1	1	0

Als M3 is "1" dus delen door 3 geldt

$t_n$		$t_{n+1}$	
$d_1$	$d_2$	$d_1$	$d_2$
1	X	0	1
0	1	0	0
0	0	1	0
1	0	0	1
0	1	0	0

(Ook vanuit de stand 1-1 wordt 0-1 bereikt)

Het signaal "doorlaten" wordt gedeeld door 3. Als de 3<sup>o</sup> bereikt is, resulteert de volgende keer "doorlaten" pas in het "1" worden van signaal "heen", en aan het eind daarvan wordt een CS doorgelaten naar de bidirectionele tellers. Zie ook voorbeelden op fig. 4.2 lijn 12 en 13 samen met 9 en 10 en 11.

#### 4.6. De delta afleiding-teller en horizontaal-teller.

De  $\Delta$ afleiding teller telt de doorgelaten CS pulsen òf heen, òf terug, òf telt ze niet.

In het voorbeeld van fig. 4.2 worden gedurende de cyclus 2 pulsen heen en 7 pulsen terug gesteld, zodat de teller (die op CPOOV is gereset) een inhoud van -5 heeft aan het eind van de cyclus. Ook de horizontaal teller heeft achtereenvolgens 4 negatief, 2 positief, 3 negatief geteld, en heeft daarmee zijn inhoud netto met - 5 kunnen vergroten. Deze teller wordt slechts op CPOOV gereset, als de inhoud +8 of -8 is. Zo gauw +8 of -8 bereikt wordt, wordt niet verder geteld en de MT8 (Set-Reset) FF wordt geset. De betekenis is, dat "sinds de vorige keer dat MT8 FF geset is geweest, er netto 8 pulsen in de delta afleidingen teller zijn geweest. Dit kan over een groot aantal cycli zijn gesommeerd (b.v. 1000; ongeveer  $\frac{1}{4}$  seconde).

Het signaal wordt als volgt gebruikt (op de control chip): Als gedurende 250 msec het signaal MT8 niet is opgekomen betekent dat, dat een horizontaal gedeelte van het signaal in bewerking is, en is dat een geschikt moment om naar een andere afleiding om te schakelen (zie ook 3.2.2).

#### 4.7. Pacemaker

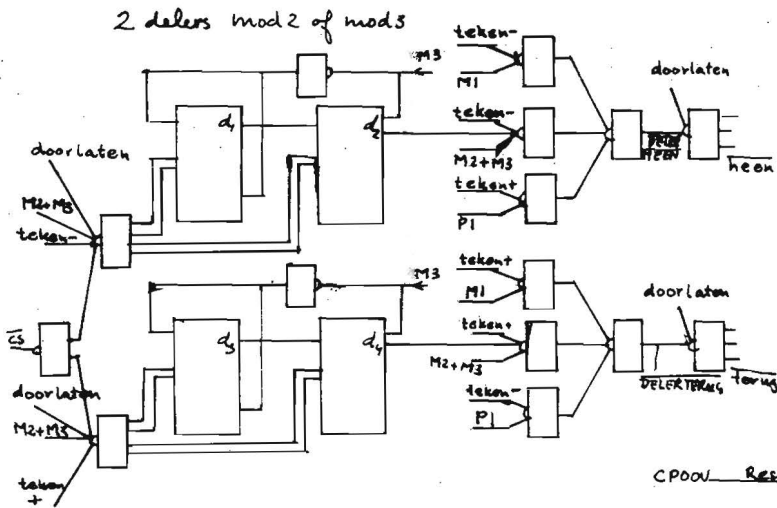
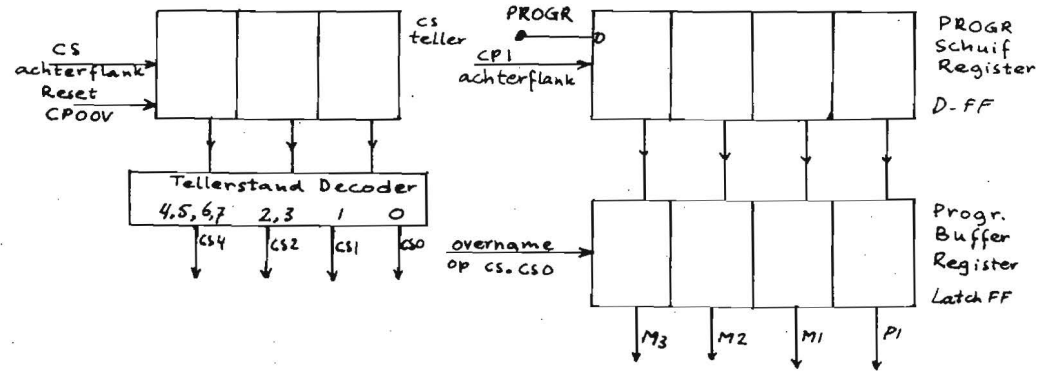
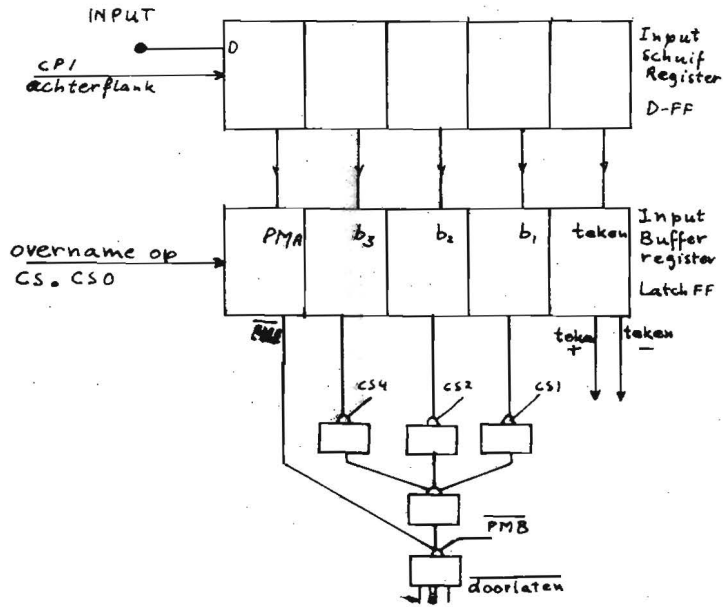
Als in één van de vier kanalen tijdens een cyclus de 8 waardige bit van het Input Buffer Register wordt geset, wordt metéén "doorlaten" geblokkeerd, ook wordt (niet meteen) PMB-FF geset. Het feit dat PMB wordt geset veroorzaakt in de latere bewerking (op control chip) dat de inhoud van delta afleiding register wordt genegeerd. Dat "doorlaten" tóch wordt geblokkeerd, wordt gedaan om de horizontaal-teller niet te laten tellen, zodat een eventuele PM puls niet opgevat wordt als een afwijking van de horizontale lijn.

#### 4.8. Output Shift register

Dit is een 7 bits SR, waarvan de eerste bit naar de ingang terug gekoppeld is. Op CPOOV neemt deze SR de inhoud van het  $\Delta$ afleidingsregister (bit  $b_4$  t/m  $b_0$ ) over, plus de inhouden van MT8-FF en PMB-FF. Op élke cp1 achterflank wordt het SR geschoven, zodat van CPOOV (=cp44) tot de eerst daarna volgende cp1 (= cp45) het signaal SR out de waarde heeft die PMB had op CPOOV. Verder is de waarde van SR out als op fig. 4.2 lijn 14 aangegeven, achtereenvolgens: PM, MT8, OSR0, OSR1, OSR2, OSR3, OSR4. OSR4 blijft tot de volgende CPOOV. OSR0 is de minst significante bit van  $\Delta$ af1. teller

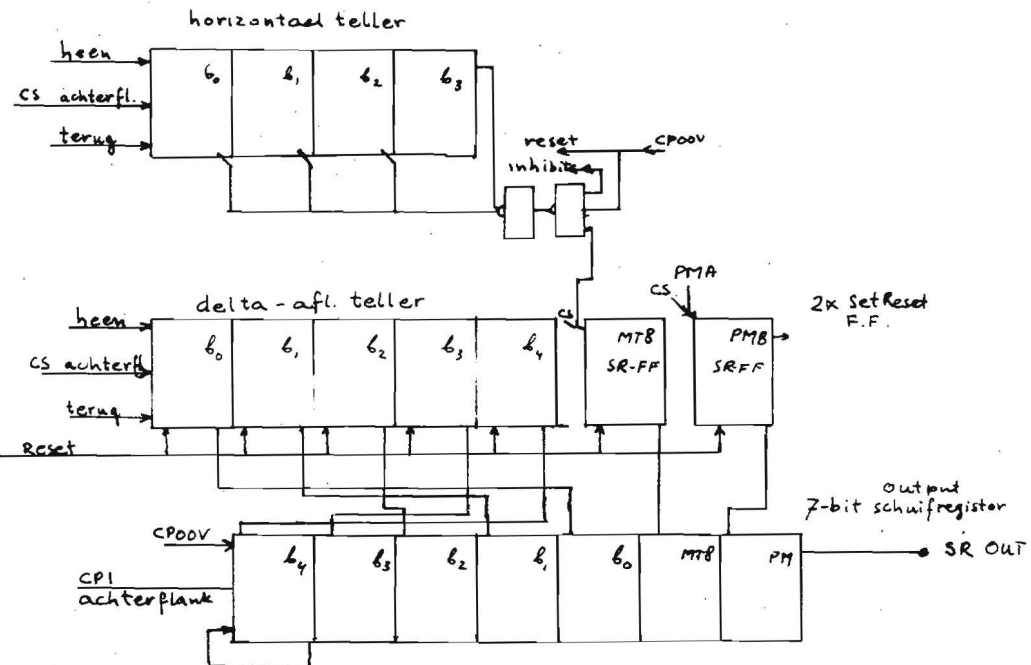
#### 4.9. Reset

De  $\Delta$ -af1. teller MT8-FF en PMB-FF worden gereset op de cp1 die direkt volgt op CPOOV (dus cp45). Daarvoor zorgt de inrichting bestaande uit één D-FF+poortje zoals aangegeven op fig. 4.1.



aansluitingen:

- PROGR
- INPUT
- SR OUT
- CS
- CPOOV
- CPI



Blokschema Input chip.



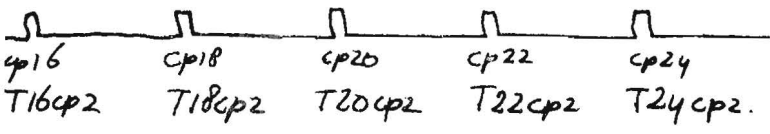
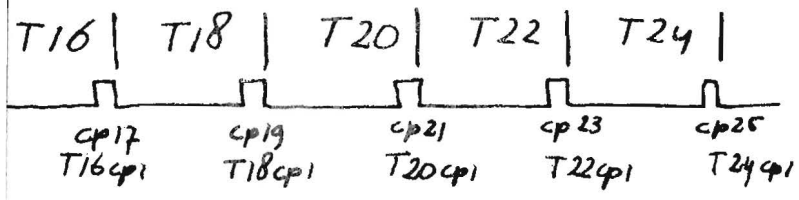


fig 4.3.



## 5. Beschrijving Memory chip

### 5.1. Routing

De memorychip bevat een aantal  $(3 \times 14 + 10)$  D-FF, die tesamen een shift register vormen waar de routing niet recht-toe-recht-aan is, maar waar een "wissel" in zit.

In fig. 5.1. is dat verduidelijkt. Op tellerstand T000 is de toestand zoals in fig. 5.1a aangegeven. De "wissel" is net in stand 1 gezet (=route 1). Aan de ingang van de full-adder van de control chip staat  $a_0$  en OSRO (de minst significante bits van resp accumulator en van Output Shift register van de input chip).

Aan de uitgang van de full-adder, d.i. de ingang van de memory chip staat  $a_0 \oplus OSRO$ , d.i. de bewerkte nieuwe  $a_0$ . Op de eerstvolgende cp1 schuiven de bovenste 14 bits 1 plaats op, en ook de 10 bits accumulator.

Na 12 klokpulsen cp1, op tellerstand T024 is de situatie als aangegeven in fig. 5.1.b. Daar op tellerstanden TOXX en T2XX de "wissel" in stand 1 staat, op tellerstanden T 1XX de wissel in stand 2, op tellerstanden T 3XX de wissel in stand 3, krijgt men op tellerstanden T024, T124, T224, T324 de situaties zoals aangegeven in fig. 5.1<sup>b</sup>, 5.1<sup>c</sup>, 5.1<sup>b</sup>, 5.1<sup>d</sup> resp. Ook de inhoud van het testvak op die tellerstanden is aangegeven in de figuren.

### 5.2. Betekenis en functie van de registersecties.

Opm.: In het volgende wordt aangenomen dat de cyclus frequentie 4 kHz is en dat  $2^{10} = 10^3$  zodat  $4 \text{ kHz} = 2^{12} \text{ Hz}$ . Dit rekent gemakkelijker. De memory chip bevat de volgende secties:

a, 10 bits, beschikbaarheidsfrequentie 4 kHz.

In a wordt  $\Delta$  afleiding elke cyclus gesommeerd. a heet ook accumulator. De inhoud van a is gerelateerd aan het te schrijven hoofdspoor (de te schrijven afleiding).

- b, 5 bits, beschikbaarheidsfrequentie 2 kHz. b bevat het adres van het bovenste hulpspoor, althans de laatste 5 bits. Bij de inhoud wordt steeds 160 opgesteld, zodat het adres van b kan variëren van 160 tot 191.
- q, 7 bits, beschikbaarheidsfrequentie 2 kHz. De inhoud van q kan elke 64 msec (dus met 16 Hz) met 1 opgehoogd worden, De 3 meest significante bits van q tellen hele seconden (tot 7 sec). q regelt de tijd dat elke afleiding wordt geschreven, en de routine voor "buiten papier" van het hoofdspoor.
- m, 2 bits, beschikbaarheidsfrequentie 2 kHz. m kan met 1 Hz opgehoogd worden, en kan dus tot 3 seconden tellen. m meet hoe lang de "start" knop wordt ingedrukt.
- o, 8 bits, beschikbaarheidsfrequentie 1 kHz. De inhoud van o is het volledige adres van het onderste spoor. De getalwaarde kan tot 160 gaan (hoewel de 8 bits uiteraard grotere getallen toelaten).
- t, 6 bits, beschikbaarheidsfrequentie 1 kHz. De inhoud van t wordt elke keer dat dat kan, met 1 verhoogd, dus elke 1 msec. t geeft elke 64 msec een carry, die als telpuls voor q, h en n dienst doet, t regelt ook korte-termijn zaken als afstanden van punten in de hulpsporen.
- h, 10 bits, beschikbaarheidsfrequentie 1 kHz. h is de hoofdteller, de inhoud kan elke 64msec met 1 worden verhoogd, de voorste 6 bits vormen dan een 64 seconden teller. h regelt de aanlooproutine en het afschakelen.
- n, 4 bits, beschikbaarheidsfrequentie 1 kHz. De inhoud van n wordt elke 64 msec met 1 opgehoogd zolang het hoofdspoor horizontaal gaat. n meet of het spoor lang genoeg horizontaal gaat.

### 5.3. Uitvoering

Het schema van de chip is gegeven in fig. 5.2.

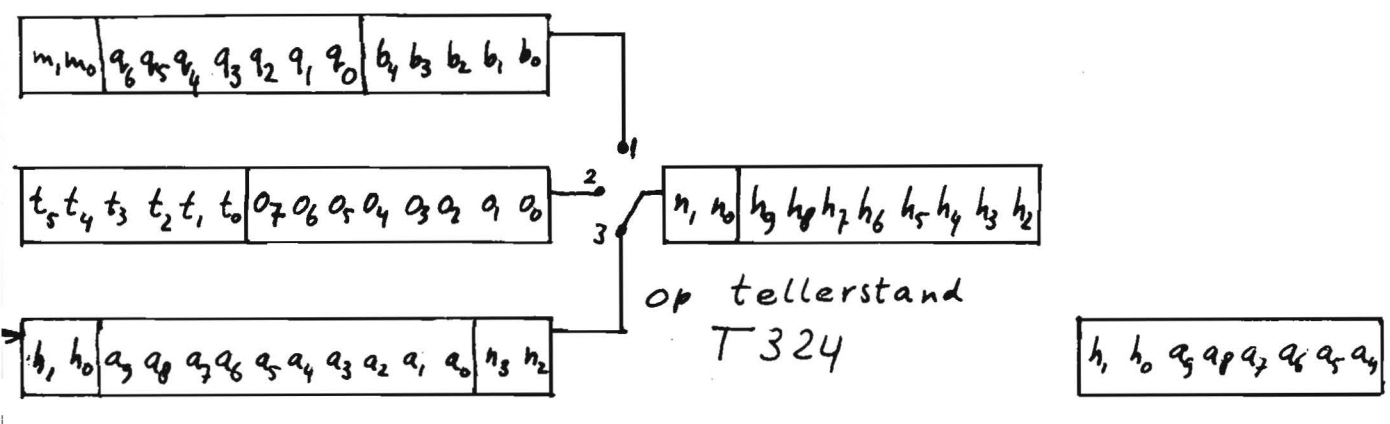
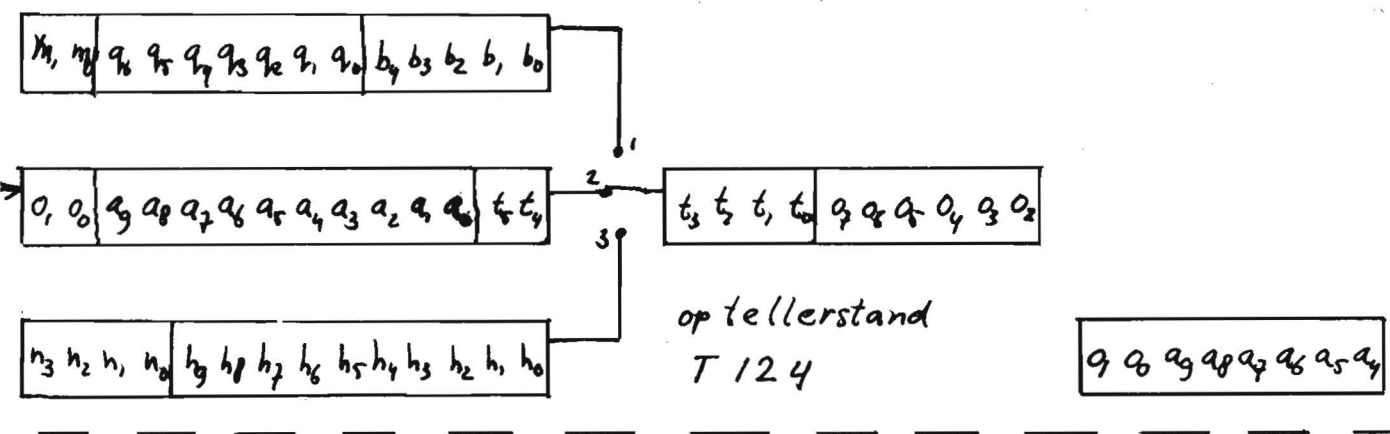
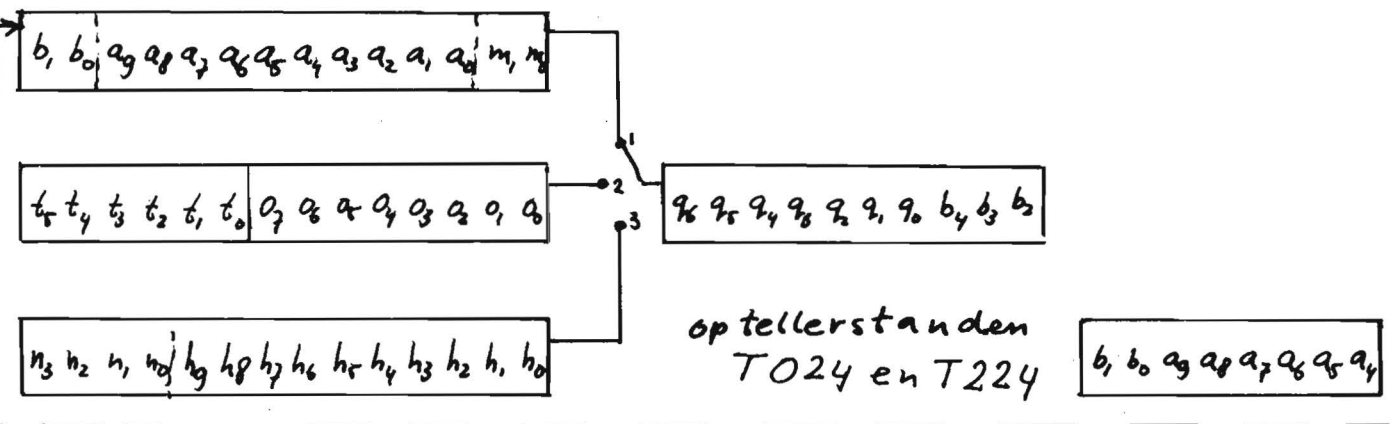
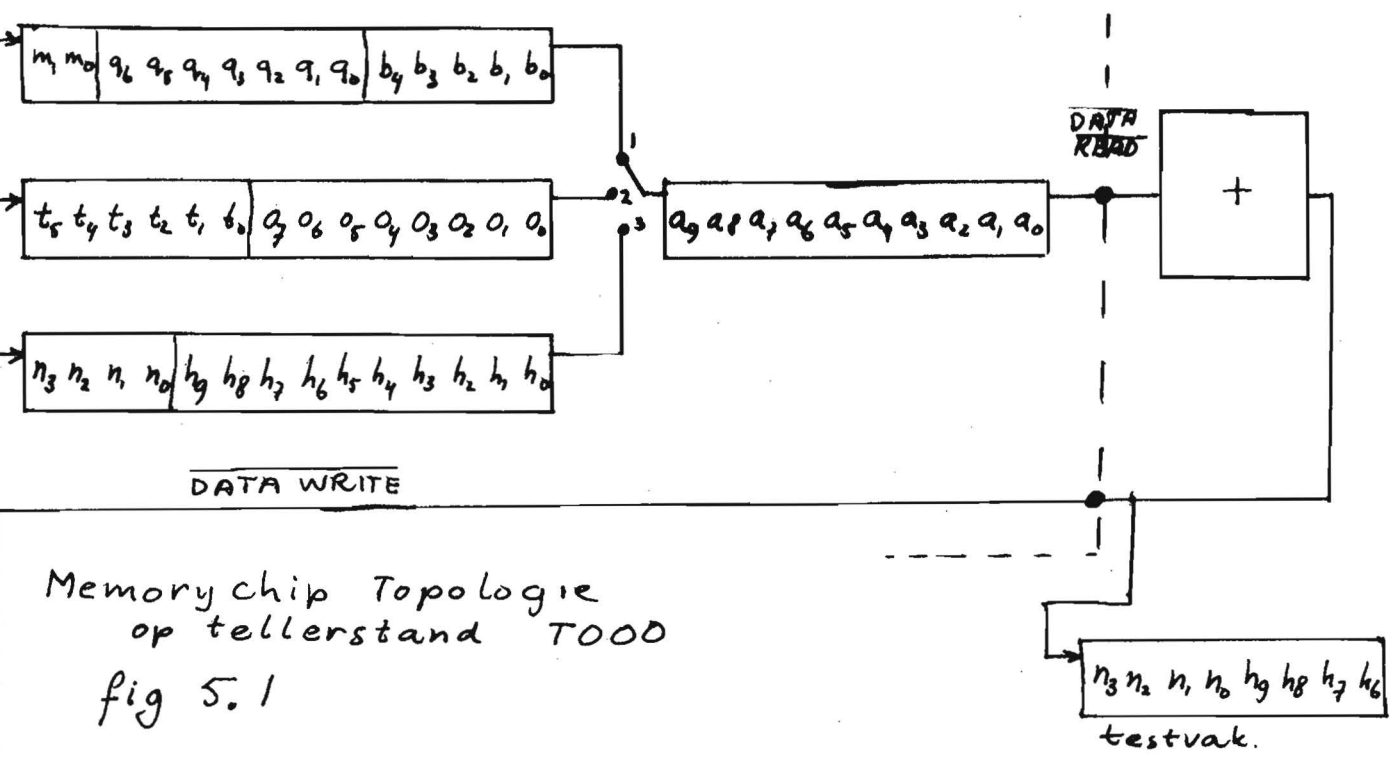
Tussen 2 opvolgende D-FF is een extra poort aangebracht om de timing-marge te vergroten. Tussen "data Read" en weer terug naar de ingang "data write" zitten een flink aantal

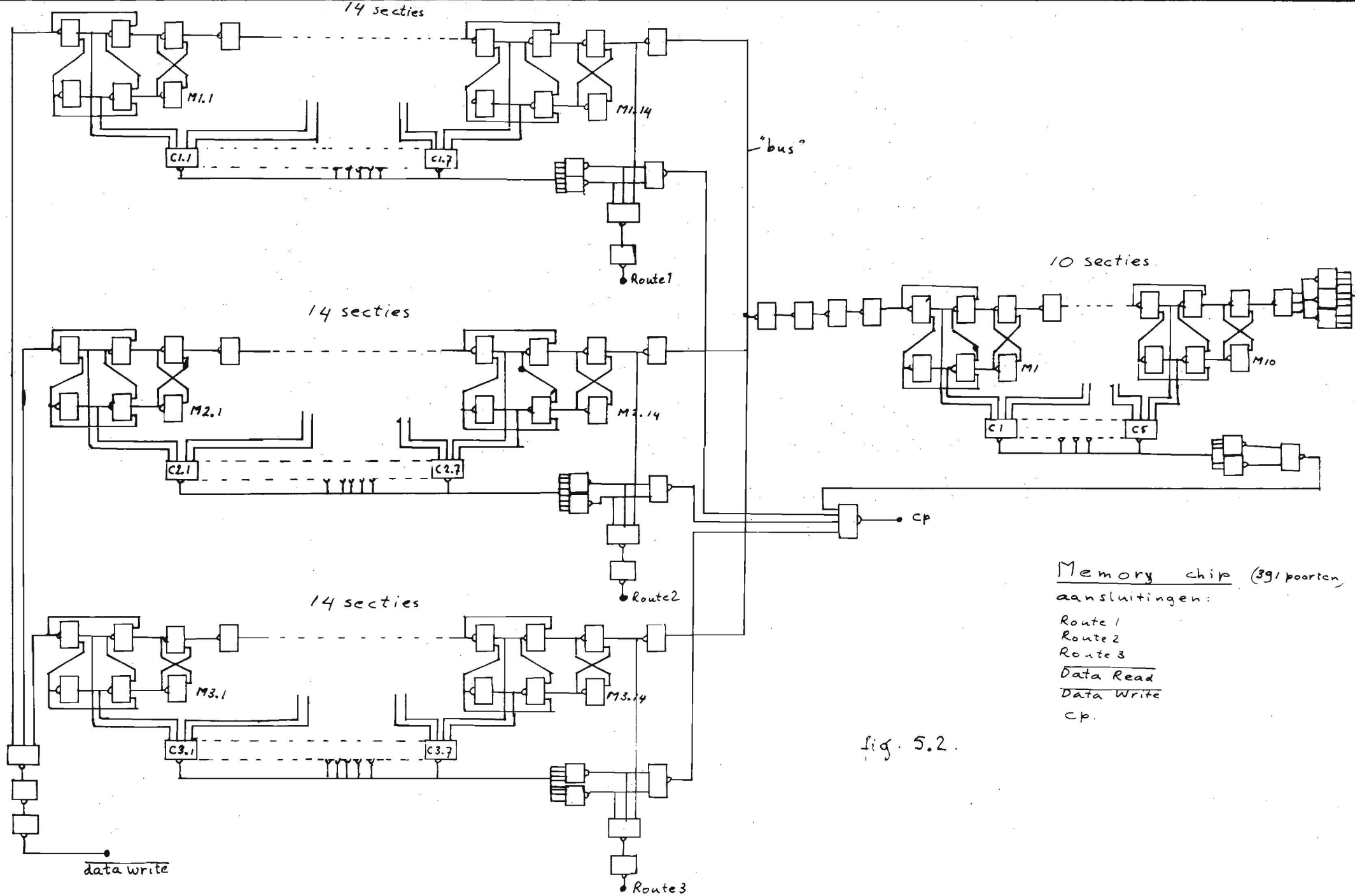
poorten, voldoende om de marge zeker te stellen, maar na  $cp1$  kan "data write" veranderen op  $cp+4\tau$  of later. De memorychip schakelt op  $cp+4\tau$ . Data write wordt voor de zekerheid nog  $2\tau$  vertraagd. Ook de overgang van route 1 naar gemeenschappelijke sectie wordt vertraagd met  $4\tau$  om verschillen in vertraging van  $cp1$  op te vangen. Naar buiten hebben deze vertragingen geen effect (behalve als de frequentie hoog wordt tov. de delay time  $\tau$ ).

Als "Route 1" "1" is, worden de klokpulsen voor de betreffende sectie 1 doorgelaten.

Als "Route 1" "0" is, worden de klokpulsen niet doorgelaten en blijft de informatie in deze sectie 1 gewoon staan.

Als "Route 1" "0" is, levert sectie 1 op de "data bus" een "1". Deze wordt ge-AND met de sectie die de informatie op de data bus levert.





Memory chip (39 poorten)  
 aansluitingen:  
 Route 1  
 Route 2  
 Route 3  
 Data Read  
 Data Write  
 cp.

fig. 5.2.

## 6. Beschrijving van de Control Chip

De Control Chip kan worden opgedeeld in verschillende functies, zie fig. 6.6.

- cyclus teller met bijbehorende decoderingen
- Testvak met bijbehorende decoderingen
- Afleidingenteller
- Sturing input chip, memory chip, en spin.
- Programmeerbare full-adder, met instructies.
- Adres aanpassings-full adder en sturing kan schrijven.
- Hardware programmering.

### 6.1. Cyclusteller met bijbehorende decoderingen.

De cyclusteller is al genoemd bij de behandeling van de inputchip en memory chip (de tellerstanden zijn genoemd in fig. 4.2. en fig. 5.1.). Deze teller synchroniseert alles, de ADC's in de spin, input chip, memory chip en output.

De teller telt op de achterflank van cp1. Dit is gedaan om de tellerstand tijdens cp1 stabiel te houden, zodat de tellerstand ook kan beslissen over het al dan niet doorlaten van cp1 naar een bepaalde functie. Tevens geeft dit de gelegenheid om de teller zelf te laten beslissen over het al dan niet doorlaten van klokpulsen, zodat gewone D-FF's gebruikt kunnen worden, die stééds omslaan als een klokpuls toegevoerd wordt. De tellerlogika zit dus in de klokpuls.

(zie bovenaan fig. 6.1).

Er is zorg gedragen dat de draden die de schakelvoorwaarden dragen, in principe kort kunnen zijn ne elk maar aan één kollektor zijn verbonden. Dit heeft tot gevolg dat de 7 segmenten gelijktijdig schakelen, en voorkomt dat de snelste voorwaarde al "1" wordt als de langzaamste klok nog niet beeindigd is. Getracht is het aantal te dekoderen tellerstanden klein te houden. Dit is niet erg gelukt. Fig. 6.1. toont hoe álle benodigde tellerstanden worden uitgekodeerd.

Dit uitkoderen gebeurt in twee trappen:

de tellersegmenten  $f_1, f_2, f_3, f_4, f_5$  leveren 24 standen, genummerd TX00, TX02,....., TX44, TX46.

Deze worden naar behoefte samengenomen met T0, T1, T2, T3, cp1, cp2.

Zo levert de AND functie van T1, TX44 en cp2 één puls die T144cp2 heet.

De teller moest zoveel standen hebben dat er 4 cycli van 24 standen mee gemaakt konden worden.

Andere mogelijkheden waren b.v. een 6 segmenten ring van D-FF, die  $f_1, f_2$  en  $f_3$  zouden kunnen vervangen, plus een ring van 16 segmenten die  $f_4, f_5, f_6$  en  $f_7$  zou kunnen vervangen. De decodering zou dan eenvoudiger kunnen worden, maar de extra Flip-Flops (24 i.p.v. 7) en de inrichting die verboden standen moet detecteren en herstellen maakt de zaak weer gekompliceerder. Ook een terruggekoppeld shiftregister is bekeken, maar daar zijn altijd meerdere cycli mogelijk en de inrichting die zorgt dat in de goede cyclus wordt begonnen of die zorgt dat een verboden cyclus wordt verlaten, was een te groot nadeel. Bij de teller zoals hij geworden is, is gezorgd dat verboden standen van de teller leiden tot toegestane standen.

## 6.2. Testvak met bijbehorende decoderingen.

Het testvak bestaat uit een 8 bits S.R. (zie fig. 6.2).

De inhoud van alle geheugensecties passeert achtereenvolgens het testvak. Bekend is dan dat bij een bepaalde tellerstand de inhoud van het testvak overeenkomt met b.v. de q sectie van het geheugen. Alle tests op de inhoud van het testvak worden uitgevoerd bij bepaalde tellerstanden; de inhoud van het testvak heeft geen betekenis op zichzelf.

De inhoud van het testvak wordt op diverse waarden getest, b.v. wordt getest op het al of niet aanwezig zijn van de bitcombinaties:

10000XXX

X0000XXX

0000000X

Uitgekodeerd worden dan de combinaties:

1XXXXXXX

X0000XXX

XXXXX00X

Kombineren daarvan geeft de gewenste bitcombinaties.

De decoder is daardoor aanmerkelijk eenvoudiger geworden (zie fig. 6.2.)

De volgende bitcombinaties worden uitgekodeerd:

a	b	c	d	e	f	g	h	
0	0	0	0	0	0	.	.	= A
0	0	0	0	.	.	.	.	= B
0	0	0	.	.	.	.	.	= C
0	0	.	.	.	.	.	.	= D
.	.	.	0	0	0	.	.	= E
.	0	0	0	0	.	.	.	= G
.	.	0	0	.	.	.	.	= H
.	.	.	.	0	0	.	.	= J
.	.	.	.	.	.	0	0	= K
1	1	.	.	.	.	.	.	= L
1	1	1	.	.	.	.	.	= M
.	.	1	1	.	.	.	.	= N
.	.	.	.	1	1	.	.	= P
.	.	.	.	0	1	.	.	= Q
.	.	.	.	1	0	.	.	= R
0	0	0	1	.	.	.	.	= S
0	0	1	0	.	.	.	.	= T
.	0	1	0	.	.	.	.	= U
1	0	1	.	.	.	.	.	= V
.	1	1	1	1	.	.	.	= W

Door deze te combineren met elkaar en met de originele testvakbits a, b, c, d, e, f, g, h worden zoals op fig. 6.2. aangegeven, alle benodigde combinaties gemaakt, b.v. het signaal  $\overline{Ag}$  is "1" als de inhoud van het testvak ongelijk is aan  $\overline{Ag}$ , dus ongelijk aan 0000000x. Op tellerstanden T340 cp2 betekent dat dat de h teller op  $< \frac{1}{2}$  sec staat, op andere tellerstanden zou het iets anders betekenen. In fig. 6.8.



is voor elke tellerstand voor elk van de 4 cycli aangegeven wat er precies in de 8 bits van het testvak staat. De test op de inhoud van het testvak vindt plaats tijdens cp2. De dekoderingen hebben de tijd vanaf begin cp1 tot begin cp2 om hun juiste waarde aan te nemen, d.w.z. ongeveer  $5,5 \mu\text{sec}$ . settling time. In die tijd moeten a,.....h hun waarde aannemen en daarna de decodering, een totale vertraging van  $7\tau + 5\tau = 12\tau$  moet worden doorlopen. cp2 kan eventueel nog wat later komen t.o.v. cp1 (wat deze chip betreft hoeft alleen maar de achterflank van cp2 eerder zijn dan de voorflank van cp1) en daarmee kan de gemiddeld toegestane delay time van  $\frac{5,5 \text{ usec}}{12} \approx 450 \text{ nsec}$  een nog wat grotere marge krijgen.

Het testvak had één D-FF kunnen missen, als de ingang van de 1° sectie ook aan de decodering had kunnen meedoen. Echter heeft de ingang ( $\Sigma$ ) zijn definitieve waarde pas  $10\tau$  na de achterflank van cp1. En zou dan tot aan voorflank van cp2 een vertraging van  $10\tau + 5\tau = 15\tau$  doorlopen moeten worden in  $\sim 3,5 \mu\text{sec}$ , dus  $\tau_{\text{max}} \approx 230 \text{ nsec}$ . Dit is ook haalbaar, maar één D-FF extra is toch goedkoper dan het risico van uitval als gevolg van poortjes die het niet snel genoeg doen.

### 6.3. De afleidingsteller

Deze teller bepaalt welke afleiding geschreven wordt. De 8 tellerstanden worden genummerd en hebben betekenissen als volgt.

tellerstand			nummer	afleiding
combinatie				
$b_1$	$b_2$	$b_3$		
0	0	0	0	II
1	0	0	1	I
0	1	0	2	II
1	1	0	3	III
0	0	1	4	aVR
1	0	1	5	aVL
0	1	1	6	aVF
1	1	1	7	V

De teller wordt bij inschakelen in stand 0 gezet of in stand 7 gehouden indien V afleiding gekozen is. Gekozen is voor een asynchrone ripple through teller, om de voorwaarden voor al dan niet teller eenvoudig te houden. De afleidingsteller telt slechts één keer per 5 seconden.

#### 6.4. Sturing memory chip, Input chip en spin.

6.4.1. De sturing van de memory chip gaat erg simpel, er gaan maar 3 stuursignalen naar toe, route 1, route 2, en route 3.

- In tellerstand T0 wordt route 1 = "1" en de beide andere = "0"
- In tellerstand T1 wordt route 2 = "1" " " " " = "
- In tellerstand T2 wordt route 1 = "1" " " " " = "
- In tellerstand T3 wordt route 3 = "1" " " " " = "

Deze signalen worden gemaakt zoals in fig. 6.5, rechts beneden is aangegeven.

6.4.2. De sturing van de input chip gaat met de volgende signalen: CPOOV, CS, PROGR.INP (zie fig. 4.2).

- CPOOV moet samenvallen met T44cp2 en wordt ook zo gemaakt (fig. 6.5 rechts onder).
- CS wordt gemaakt door cp1 en cp2 te combineren en die in de volgende tellerstanden te verbieden:  
TX00, TX02, TX12, TX22, TX32, TX42, TX44, TX46. Wat overblijft is wat we hadden willen hebben (zie fig. 4.2 lijn 3). Het signaal wordt gemaakt volgens fig. 6.5 rechts onder.
- PROGR.INP. Dit signaal regelt de bewerking van de  $\Delta$ -kanalen door de input chip, en is afhankelijk van de stand van de afleidingsteller:

Afl. teller	afleiding	kanaalbewerking				Set progr. input			
		R	L	F	C				
0	II	M1	-	P1	-	46	-	16	-
1	I	M1	P1	-	-	46	06	-	-
2	II	M1	-	P1	-	46	-	16	-
3	III	-	M1	P1	-	-	08	16	-
4	aVR	P1	M2	M2	-	44	10	20	-
5	aVL	M2	P1	M2	-	00	06	20	-
6	aVF	M2	M2	P1	-	00	10	16	-
7	V	M3	M3	M3	P1	02	12	22	26

Deze tabel is als volgt te lezen:

Als de afleidingsteller is stand 4 staat moet aVR geschreven worden ( $aVR = R - \frac{L+F}{2}$ ) en moeten de  $\Delta$  kanalen:  $\Delta R$ ,  $\Delta L$ ,  $\Delta F$ ,  $\Delta C$  respectievelijk de bewerkingen ondergaan  $x1$ ,  $x-\frac{1}{2}$ ,  $x-\frac{1}{2}$ ,  $X0$ , resp aangegeven met P1, M2, M2, -, te verwerkkelijken door prog. input FF te setten op T44 cp2, (voor RP1), T10cp2 (voor LM2), en T20cp2 (voor FM2) en op alle andere cp2 op 0 te resetten.

In fig. 6.3 links boven is aangegeven hoe PROG INP gemaakt wordt. Combinatoriek van tellerstanden (cyclusteller) en te berekenen afleiding (afleidingsteller) set op cp2 de D-FF, op momenten dat PROGINP = "1" moet worden.

Als PROG INP op "0" moet komen, wordt de D-FF niet geset, maar wordt de ingang, die steeds op "0" wordt gehouden, overgenomen.

- 6.4.3. De sturing van de spin gaat als volgt (zie fig. 6.5 bovenaan)
- Uit fig. 4.2 lijn 16 en in 2.10 (Transmissieformaat) blijkt dat de volgende sturing naar de spin moet gaan
- van cp 32 tot cp 34 warming-bit moet uitgaan ter synchronisering
  - van cp 34 tot cp 36 moet "1" zijn als de tijdconstante van RC in de spin klein moet zijn. Dat is als  $\tau$  small FF geset is
  - van cp 36 tot cp 38 Indien gevoeligheid S3 of S4 ingesteld is.
  - van cp 38 tot cp 40 Indien gevoeligheid S4 ingesteld is

In fig. 6.5 (bovenaan) is aangegeven hoe een en ander is verwezenlijkt.

## 6.5. Programmeerbare Full-adder, met instructieset.

6.5.1. In fig. 6.6 is geschetst wat de functie van deze full-adder is. Na elkaar worden allerlei secties van het memory shift register in de full-adder geschoven. De uitgang van de Full-adder gaat weer in het memory SR. De full adder moet de informatie dan bewerkt hebben. Deze bewerking kan zijn b.v. OSR (de output van de input chip  $\equiv \Delta$ -afleiding) optellen bij de betreffende sectie van het memory S.R.

6.5.2. In fig. 6.7 is de timing gedetailleerd weergegeven (zie ook fig. 4.2, lijnen 14 en 15).

Het Memory SR wordt steeds op de voorflank van elke cp1 geschoven. Om zeker te weten dat de OSR bit die op deze voorflank nog aanwezig moet zijn, dan nog niet vervangen is door de volgende OSR bit, wordt het OSR pas op de achterflank van elke cp1 geschoven. De marge wordt dan zo lang als cp1 duurt. Op de voorflank van cp1 kan "data write" niet eerder veranderen dan "data Read", want "data write" veranderingen zijn op dat moment alleen mogelijk als gevolg van verandering in "data Read".

Tot aan de voorflank van cp347 (fig. 6.7) moet  $n_4$  nog blijven bestaan, met de instelling van de programmeerbare Full-adder, die bij deze  $n_4$  behoort. Zo spoedig mogelijk daarna moet de instelling voor de verwerking van  $a_0$  worden gemaakt, want op cp000 reeds moet de nieuwe waarde van  $a_0$  beschikbaar zijn. Daarom wordt op cp347 reeds de instelling voor de volgende taak van de programmeerbare full-adder gedaan. Pas  $15\tau$  na de voorflank van cp1 op de control chip kan dit effect hebben in de uitgang (Data Write), zodat veilig mag worden aangenomen dat deze verandering niet als veranderde  $n_4$  wordt meegenomen.

6.5.3. In figuur 6.8. is in tabelvorm gegeven wat er bij verschillende tellerstanden gebeurt (elke cyclus gelijk).

- de naam van de beide cp's die er bij een tellerstand behoren

- de waarde van OSR, in principe gedurende de gehele tellerstand.

- CS en CPOOV (genoemd bij input chip)
- Wat er naar de "spin" moet worden gezonden
- Hoe de input chip geprogrammeerd moet worden
- Of er adrespulsen moeten worden gegeven.

Verder wordt voor de 4 verschillende cycli gegeven:

- Wat op "data Read" staat (tot aan de voorflank van cp1).
- De inhoud testvak (tot aan de voorflank cp1)
- Wat er geprogrammeerd moet worden in de programmeerbare Full-adder.
- De waarde van "addA" en wanneer Fire pulse gegeven moeten worden). (Meer over addA in 6.6)

6.5.4. De programmeerbare full-adder heeft als input de signalen :  
(zie ook fig. 6.4).

- data Read (=dR)
- $C_{i1}$  (= ingaande carry).
- $i_2$  (= tweede ingang). En als uitgangen:
- $\Sigma$  (som)
- $C_{u1}$  (=uitgaande carry)

De bewerkingen worden als volgt geprogrammeerd:

X0: Houdt "data Read" op "0", onafhankelijk van wat er werkelijk op staat.

+0: houdt  $i_2$  op "0" en reset  $C_{i1}$  op "0".

+SR:Verbind  $i_2$  met OSR, reset  $C_{i1}$  op "0".

+1: houdt  $i_2$  op "0", set  $C_{i1}$  op "1"

-1: houdt  $i_2$  op "1", reset  $C_{i1}$  op "0".

dit heeft het effect van binair optellen van

11111....1

Kombinaties zijn mogelijk van

òf +SR, òf +1, òf -1, òf +0

met: òf X0, òf niet X0

Aan het begin van de bewerking van geheugen secties wordt  $C_{i1}$  geset of gereset op de hier genoemde manier. Bij niet-eerste bits geldt uiteraard:  $C_{i1}$  is gelijk aan  $C_{u1}$  van de vorige bit van dezelfde sectie.

6.5.5. Het blijkt later in 6.7. bij de programmering dat we van de volgende mogelijkheden goed gebruik kunnen maken: (fig. 6.4 links)

t moet als 6 bit teller steeds 1 opgehoogd worden bij elke msec en zo een  $6^4$  msec timer vormen.

Via het testvak wordt carry FF dan gedurende 1 msec geset. De tellers h, n, q gebruiken deze carry FF en moeten dan ook steeds als carry FF geset is, met 1 opgehoogd worden. De 4 L.S.Bits van h, n, q vormen zo tellers voor hele seconden. De 4 LS Bits van h worden gebruikt voor het setten van carry 1 sec FF. (LS Bit = Least Significant bits)

Door het setten van de FF:  $(0 \rightarrow a)FF$ ,  $(0 \rightarrow q)FF$ ,  $(0 \rightarrow n)FF$ ,  $(0 \rightarrow m)FF$  worden resp. a, q, n, m, op nul geset (bewerking is dan: X0).

Door het setten van de FF:  $(1 \rightarrow h)FF$ ,  $(8 \rightarrow h)FF$ ,  $(16 \rightarrow h)FF$  wordt h op nul geset (behalve de 4 LS Bits die voor de carry 1 sec nodig zijn). Bovendien wordt de bit die 1 sec, 8 sec resp 16 sec voorstelt; op 1 geset

Voorbeeld: h was:  $\frac{11,0011}{48\text{sec } 3\text{sec}}$ .  $1010 = 51 \frac{10}{16}$  sec. en  $(8 \rightarrow h)FF$  en carry FF waren geset dan zou de volgende waarde van h zijn:

$\underbrace{00.1000.}_{\text{hele sec op "8" geset}} \underbrace{1011}_{\text{laatste 4 bit niet op nul geset en 1 verhoogd}} = 8 \frac{11}{16}$  sec.

Als  $AZqFF$  (add zero to q) geset is, wordt q niet verder geteld.

De beide hulpsporen kunnen continue lijnen zijn. Het bovenste hulpspoor, (waaryan adres in b staat), wordt door HMFF geregeld (Higher Marking FF). Deze FF heeft 3 standen: HMFF opt, HMFF aft. HMFF is Reset, waarin hij wordt geset door resp:

set HMFF opt, set HMFF aft, Reset HMFF. De inhoud van b wordt elke 0,5 msec met 1 opgehoogd resp met 1 verminderd, resp niet gewijzigd als HMFF in resp opt., resp aft., resp is reset staat.

Mutatis mutandis geldt hetzelfde voor de LMFF (lower marking) de geheugensectie 0, en het onderste hulpspoor.

Bij de geheugensectie a, (adres hoofdspoor, accumulator) moet  $\Delta$  afleiding, die via OSR binnenkomt, worden opgeteld, tenzij PMinFF is geset (dat houdt in dat een pacemaker puls is gedetecteerd).

6.5.6. Onderstaande lijst geeft:

- Tellerstanden waarop (op cp1) een instelling van de programmeerbare full-adder gemaakt moet worden,
- de geheugensectie waarvoor dat gebeurt
- De bewerking die uitgevoerd moet worden
- de voorwaarden daarvoor

T018 b. +1 als HMFF in stand: optellen

T218 +0 als HMFF in stand: is Reset

-1 als HMFF in stand: aftellen

T118 o. +1 als LMFF in stand: optellen

+0 als LMFF in stand: is Reset

-1 als LMFF in stand: aftellen

T318  $h \frac{1}{16}$  +1 als carry FF is geset

+0 als carry FF is gereset

T326 h1 X0 als (1  $\rightarrow$  h)FF geset

X0 als (8  $\rightarrow$  h)FF geset

X0 als (16  $\rightarrow$  h)FF

T028 q. +0 zonder voorwaarden

T228 q. +0 als carry FF gereset òf als AZq geset

+1 als carry FF geset èn AZq gereset

X0 als (0  $\rightarrow$  q)FF geset

T134 t. +1 onvoorwaardelijk

T338 n. +0 als carry FF gereset

+1 als carry FF geset

X0 als (0  $\rightarrow$  n)FF, geset

T042 m. +0 als carry 1 sec gereset

+1 als carry 1 sec geset

X0 als (0  $\rightarrow$  m)FF geset

T242 m. +0 onvoorwaardelijk.  
 TX46 a +SR als PM-in FF gereset  
 +0 als PM-in FF geset  
 XO als (0→a)FF geset

Bovendien, als op T326 t.b.v.  $h_1$  XO is gekozen omdat  
 ( $1 \rightarrow h$ ), ( $8 \rightarrow h$ ) of ( $16 \rightarrow h$ )FF geset is moet  
 T326 . $h_1$  . +1 als ( $1 \rightarrow h$ )FF geset is  
 T332 . $h_8$  . +1 als ( $8 \rightarrow h$ )FF geset is  
 T334 . $h_{16}$  . +1 als ( $16 \rightarrow h$ )FF geset is.  
 In deze 3 gevallen blijft XO ingesteld.

#### 6.5.7. Uitvoering zie fig. 6.4.

Links op de figuur is een kolom van FF: AZq, carry F, carry  
 1 sec, ( $1 \rightarrow h$ ), ( $8 \rightarrow h$ ), ( $16 \rightarrow h$ ), ( $0 \rightarrow a$ ), ( $0 \rightarrow q$ ), ( $0 \rightarrow n$ ),  
 ( $0 \rightarrow m$ ), LMFF, HMFF.

Wat links van de kolom is, is programmering. Afhankelijk  
 van wat er in deze FF staat en wat de onderhevige geheugen  
 sectie is, wordt:

- XOFF geset als XO geïmplementeerd moet worden
- $Ci_1$  FF geset als  $\overline{+1} = "0"$ , dus als +1 geset moet worden.  
 $Ci_1$  FF wordt in principe aan het begin van elke sectie  
 gereset, tenzij  $\overline{+1} = "0"$ . T.b.v. h, kan ook op andere tijden  
 $Ci_1$  FF geset worden.
- (-1)FF geset of gereset.
- OSR wordt vanaf TX46 tot TX18 cp1 doorgelaten naar  $i_2$   
 geAND met  $\overline{PM}$  in). Vanaf TX18 tot TX46 wordt (-1)FF doorge-  
 laten.

De full adder bestaat uit 2 half-adders. Uitgang eerste  
 halfadder is "data Read  $\oplus$   $Ci_1$ " en naar  $Cu_1$ :  $\overline{\text{data Read} \cdot Ci_1}$ .  
 Uitgang tweede halfadder is

$$"(\text{data Read} \oplus Ci_1) \oplus i_2 = \Sigma$$

$$\text{en naar } Cu_1: \overline{(\text{data Read} \oplus Ci_1) \cdot i_2}$$

$Cu_1$  wordt de AND van de beide genoemde vormen.

$$\begin{aligned} Cu_1 &= \overline{dR \cdot Ci_1} \cdot \overline{(dR \oplus Ci_1) \cdot i_2} = \\ &= dR \cdot Ci_1 + (dR \oplus Ci_1) \cdot i_2 = \\ &= dR \cdot Ci_1 + dR \cdot \overline{Ci_1} \cdot i_2 + \overline{dR} \cdot Ci_1 \cdot i_2 \\ &= dR \cdot Ci_1 + dR \cdot i_2 + Ci_1 \cdot i_2 \end{aligned}$$



en is daarmee de uitgaande carry, die bij de volgende bit weer de ingaande carry wordt.

Opm1:  $i_2$  krijgt vaak pas zijn waarde  $3\tau$  na de achterflank van  $cp1$ . Daarom is  $i_2$  op de 2° halfadder aangesloten.

Opm2: Halfadders kosten in  $I^2L$  minder poorten en veel minder collectors, dan Full-adders kosten.

#### 6.6. Adres-aanpassings-full-adder en sturing kamschrijver.

De a, b, en o-secties van het geheugen bevatten binaire getallen die nog geschikt moeten worden gemaakt voor adressering van de kam schrijver.

De kamschrijver drivers hebben adressen die lopen van 0 tot 191. Met de "adrespuls" wordt het "adres" ingeklokt. De 8 laatst ingeklokte adresbits vóór een FP vormen het adres van de dan aangestuurde electrode. Het adres wordt aangepast door in een full-adder een binair getal bij het signaal " $\Sigma$ " op te tellen. (zie fig. 6.4. rechts boven).

- Het adres voor het onderste hulpspoor staat in de juiste vorm in 0, het kan zonder meer naar de adresdecoder worden gezonden.

- Het adres voor het bovenste hulpspoor staat in sectie b, althans de 5 LS Bits van dat adres.

De 3 MS Bits moeten nog toegevoegd worden, en dat is het getal 160 (dec.); ofwel 10100000 (binair) moet bij [ b ] opgeteld worden.

Bovendien moet het signaal " $\Sigma$ " op nul gehouden worden, want tijdens het inklokken van deze 3 MS Bits staat op " $\Sigma$ " de 3 LS Bits van q.

- Van het getal dat in a staat worden 8 of 9 bits ingeklokt als adres. 8 indien  $S1$ , 9 indien  $\overline{S1}$ . Indien  $[a]=0$ , moet er een punt midden op het papier gezet worden. Het getal 96 (dec) moet daarom bij [ a ] worden opgeteld. Omdat de laatste 8 bits gelden wordt binaire getal 1100000 (indien  $S1$ ) of 11000000 (indien  $\overline{S1}$ ) bij [ a ] opgeteld.

Het op te tellen bitpatroon heet addA (add to adres) het is in de tabel van fig. 6.8 weergegeven als functie van tellerstand en S1. Het wordt gemaakt zoals bovenaan fig. 6.4. is aangegeven.

Het op nul houden van " $\Sigma$ " wordt met een FF gedaan. De full-adder voor adresaanpassing is precies gelijk aan de programmeerbare full-adder. Van de signalen " $\Sigma$ ",  $Ci_2$  en addA wordt het signaal "adres" gemaakt in 2 half-adders. Het signaal  $\Sigma$  wordt in de tweede halfadder aangeboden omdat dit signaal het laatst gevormd wordt en dit kan iets worden gekompenseerd door van " $\Sigma$ " tot aan "adres" weinig poorten "diepte" te hebben. Het signaal "adrespulse" bestaat uit pulsen die samenvallen met cp2. Ze komen op tellerstanden zoals aangegeven in fig. 6.8. Op fig. 6.5. bovenaan wordt aangegeven hoe het signaal "adrespulse" gemaakt wordt.

Het signaal FP (fire puls) kan gegeven worden

- op cp X18, het laatst ingeklokte adres is dan dat van het hoofdspoor, afkomstig uit a. De frequentie waarmee FP gegeven wordt t.b.v. a is 4 kHz.
- op cp 046 en cp 246, het laatst ingeklokt adres is dan dat van het bovenste hulpspoor, afkomstig uit b. de frequentie is 2 kHz of minder.
- op cp 146, het laatst ingeklokte adres is dan dat van het onderste hulpspoor afkomstig uit 0. de frequentie is 1 kHz of minder.

Op fig. 6.8. is dit aangegeven. Er zijn nog meer voorwaarden voor FP, op fig. 6.3. is aangegeven hoe het gemaakt wordt, er wordt nog op teruggekomen in 6.7.

### 6.7. De hardware programmering.

Pas nu moet bepaald worden wat er precies in de 3 sporen geschreven moet worden, onder welke omstandigheden de afleidingsteller wordt geschakeld, hoe gereageerd wordt op buiten papier raken van de registratie enz.

Er zijn bij de programmering enkele FF in gebruik, die als taak hebben om de testresultaten, die beschikbaar komen door het testen van het testvak tijdens een bepaalde tellerstand, te bewaren tot ze op een andere tellerstand, dus later, nodig zijn.

In het volgende worden soms tabellen gegeven onder het hoofd : Logica,

Deze zijn b.v. als volgt ingedeeld :

T 200 cp 2	$t_5$ $t_4$ $t_3$ $t_2$ $t_1$ $t_0$ $0_7$ $0_6$	$(t_0) = 1 \text{ msec.}$
E	X X X 0 0 0 X X	$\rightarrow$ set 125 Hz FF (elke 8msec.)

Dit betekent : op T 200 cp2 bevat het testvlak (zie fig. 6.8) het bitpatroon  $t_5 t_4 t_3 t_2 t_1 t_0 0_7 0_6$ . De "waarde" of het "gewicht" van  $t_0$  is 1 msec. Het testvak wordt getest op de combinatie xxx 000 xx, d.w.z. of  $[t]$  een geheel veelvoud van 8 is. Deze combinatie wordt E genoemd, (zie fig. 6.2)(elke combinatie die van het testvak komt wordt in de figuren omcirkeld, dus  $\textcircled{E}$  Na het pijltje wordt de te nemen actie omschreven in dit geval : set 125 Hz FF. De volgende notatie is gebruikt voor al of niet noodzakelijk zijn van logische mintermen.

$q_5$ $q_4$ $q_3$ $q_2$	
1 0 0 0	betekent : $q_5 \overline{q_4} \overline{q_3} \overline{q_2}$
1 0 0 X	betekent : $q_5 \overline{q_4} \overline{q_3} \overline{q_2} + q_5 \overline{q_4} \overline{q_3} q_2$
	beiden zijn noodzakelijke mintermen.
1 0 0 <u>0</u>	betekent $q_5 \overline{q_4} \overline{q_3} \overline{q_2} + q_5 \overline{q_4} \overline{q_3} q_2$
	de eerste is noodzakelijk, de tweede mag toegevoegd worden (don't care).

Verder wordt de werkingswijze van de hardware programmering toegelicht met flow-charts.

6.7.1. Algemene signalen: Carry FF en startsignalen.

T 200 cp 2	$t_5$ $t_4$ $t_3$ $t_2$ $t_1$ $t_0$ $0_7$ $0_6$	$(t_0)=1\text{msec.}$
A	$0$ $0$ $0$ $0$ $0$ $0$ $X$ $X$	$\rightarrow$ set carry FF
$\overline{A}$	$0$ $0$ $0$ $0$ $0$ $0$ $X$ $X$	$\rightarrow$ reset carry FF.

Als de carry FF gezet is (elke 64 msec gedurende 1 msec) kan q, n en h opgehoogd worden.

Als getest wordt op b.v. q, ge-AND met carry FF, betekent dat dat q die waarde net bereikt heeft b.v.

T 244 cp 2	$q_6$ $q_5$ $q_4$ $q_3$ $q_2$ $q_1$ $q_0$ $t_4$	$(q_0)=64\text{msec.}$
Eg	$X$ $X$ $X$ $0$ $0$ $0$ $1$ $X$	$\text{carry FF} \rightarrow$ actie.

betekent dat die actie ondernomen wordt als  $q=64$  msec en niet meer als  $q=65$  msec.

Uitvoering : de carry FF is uitgevoerd als latch-FF (fig. 6.4 bovenaan).

Startsignalen.

Er zijn 2 startknoppen, een start E en een start V, of er is één startknop en een E/V knop.

In beide gevallen komen de signalen start E en start V binnen op de control chip.

Ze worden gebruikt om

- E/V onderscheidt te maken.
- De signalen : start niet, start begin, start, start eind te maken.

Dat gebeurt onderaan fig. 6.3.

2 latch-FF achter elkaar nemen steeds de stand van de startknop over.

Bij stand 00 is er enige tijd geen startknop ingedrukt  $\rightarrow$  "start niet".

Bij stand 10 is de startknop net ingedrukt  $\rightarrow$  "start begin".

Bij stand 11 is de startknop al even ingedrukt  $\rightarrow$  "start".

Bij stand 01 is de startknop net losgelaten  $\rightarrow$  "start eind".

Verder wordt het signaal "start lang" gemaakt :

Zolang "start niet" = "1" wordt  $(0 \rightarrow m)$  FF gezet. Op "start begin" wordt  $(0 \rightarrow m)$  FF gereset, m begint te tellen, en wel met de frequentie (1 Hz) waarmee de (carry 1 sec) FF gezet wordt.

Wordt  $m=3$  bereikt, dan ontstaat signaal "start lang", dat gebeurt dus als de startknop 2 à 3 sec ingedrukt wordt ge-

houden. "start lang" set ( $0 \rightarrow m$ ) FF en heft daarmee zichzelf op, na eerst nog ( $1 \rightarrow h$ ) FF en  $\tau_{\text{small}}$  FF te hebben gezet en daarmee een herstart te hebben geïnitieerd.

Later (in 6.7.9.) blijkt dat dit voor E afleidingen wel goed is, maar voor V niet, daarom wordt bij V de wachtcyclus overbrugd.

#### Logica.

T 100 cp 2  $\left| \begin{array}{cccccccc} m_1 & m_0 & q_6 & q_5 & q_4 & q_3 & q_2 & q_1 \end{array} \right| (m_0) = 1 \text{ sec.}$   
 L  $\left| \begin{array}{cccccccc} 1 & 1 & X & X & X & X & X & X \end{array} \right| (= \text{start lang})$   
 Start lang + V.  $\overline{\text{reset}} \text{ alles. start begin} \rightarrow \text{set}(1 \rightarrow h) \text{ FF, } \overline{\text{set}}(0 \rightarrow m) \text{ FF,}$   
 $\text{set } \tau_{\text{small}} \text{ FF.}$

E. start begin  $\rightarrow$  reset ( $0 \rightarrow m$ ) FF.

Uitvoering : de diverse starsignalen worden gemaakt als op fig. 6.3 onderaan aangegeven.

#### 6.7.2. Setten horizontaal FF

Als MT8-in FF gezet wordt, dat is als er sinds de vorige MT8-in weer netto 8 E bij de accumulator zijn opgeteld (na afloop van de cyclus), wordt, als WWFF niet gezet is, de n-teller op nul gezet. Het n-tellertje wordt dus steeds na 8 E op nul gezet en telt dan meteen weer verder. Als  $n \geq 0.25$  seconden dan wordt hor FF gezet, anders gereset.

Als WWFF (dubbel wachten FF) geset is, wordt MT8-in gebruikt om MT16 FF te setten, zonder n-teller op nul te zetten, of, als MT 16FF al geset is, deze te resetten en toch n op nul te zetten. Er wordt bereikt dat het geset zijn van hor FF de betekenis heeft dat er tenminste de laatste 0.25 sec geen MT8, dus 8 E zijn binnengekomen. Als WWFF geset is heeft het de betekenis dat er  $< 2$  MT8's zijn gekomen, dus  $< 16$  E. WWFF setten maakt de eisen voor het setten van hor FF wat lichter.

#### Logica.

T 000 cp 2  $\left| \begin{array}{cccccccc} n_3 & n_2 & n_1 & n_0 & h_9 & h_8 & h_7 & h_6 \end{array} \right| (n_0) = 64 \text{ msec.}$   
 D  $\left| \begin{array}{cccccccc} 0 & 0 & X & X & X & X & X & X \end{array} \right| \rightarrow \text{reset hor FF.}$   
 $\overline{D}$   $\left| \begin{array}{cccccccc} 0 & 0 & X & X & X & X & X & X \end{array} \right| \rightarrow \text{set hor FF (als } n \geq 0,25 \text{ sec)}$

MT8.  $\overline{\text{WWFF}} \rightarrow \text{set}(0 \rightarrow n) \text{ FF}$

MT8.  $\overline{\text{WWFF}}. \overline{\text{MT16}} \rightarrow \text{set MT16 FF}$

MT8. MT 16  $\rightarrow$  set ( $0 \rightarrow n$ ) FF (op TX 16 cp 2) en reset MT16 FF  
 (op TX 18 cp2).

#### Uitvoering.

Hor FF is uitgevoerd als latch FF, MT 16 als D-FF, WWFF als

S-R-FF. (Zie fig. 6.5., midden links).

### 6.7.3. Beginroutine (zie fig. 6. voor flow-chart).

Als de startknop wordt ingedrukt en als het de eerste start is en de spanning dus niet ingeschakeld stond, wordt alles gereset, d.w.z.

- inhoud memory shiftregister wordt op nul geset door de uitgang van de xOFF op nul te houden (fig. 6.4 midden).
- Door  $\tau_{\text{small}}$  FF te setten wordt tijdconstante in de spinklein gehouden.
- WFF en WWFF (wacht FF, dubbel wachten FF) worden gereset doordat  $q=0$ .
- ONFF wordt geset, om na loslaten van de startknop spanning ingeschakeld te houden.
- Gevoeligheid wordt op S3 geset, de grootste gevoeligheid die bij oversturen van ADC's geen verkeerde keuze van de gevoeligheid zal geven.
- Indien E(extremiteitsafleidingen) gekozen is, wordt de afleidingsteller op 0 geset gedurende "reset alles".
- Indien V gekozen is, wordt de afleidingsteller op 7 gehouden zolang de startknop wordt ingedrukt.

Reset alles signaal hoeft maar enkele cycli te duren (enkele milliseconden). Zie nu fig. 6.9, 6.10, 6.11:

Als na  $\frac{1}{2}$  sec de spanningen opgebouwd zijn, wordt bij  $h \gg \frac{1}{2}$  sec de batterij getest. Bij onvoldoende spanning wordt afgeschakeld, anders doorgegaan.

Als het indrukken van de startknop niet de eerste keer was geweest, dan was om te beginnen  $[h]$  op 16 geset (als  $[h] \gg 16$  was geweest), en verder gemeten of "start lang" was opgetreden. (Dit duurt bij E-afleidingen ongeveer 3 sec., V afleidingen 1 msec.).  $\tau_{\text{small}}$  FF zou zijn geset en  $(1 \rightarrow h)$ FF geset.

In de flow diagrammen is aangegeven hoe op de inhoud van  $h$  getest wordt, elke keer dat  $h$  in het testvak komt (elke 1 msec).  $h$  kan elke 64 msec worden opgehoogd (met  $\frac{1}{16}$  sec).  $h$  kan alleen sprongsgewijs veranderen door  $(1 \rightarrow h)$ FF,  $(8 \rightarrow h)$ ,  $(16 \rightarrow h)$ FF te setten.

Als  $[h]=3$  sec. wordt  $\tau_{\text{small}}$  FF gereset,  $\tau$  wordt nu 3 sec. Zolang  $[h] < 8$  sec is, worden  $[a]$  en  $[q]$  op nul gehouden en  $(a > 40)$ FF,  $(a > 80)$ FF,  $(a > 160)$ FF gereset gehouden. Ook wordt gevoeligheid S3 vastgehouden. Zolang  $h < 4$  sec. wordt

bovendien  $[n]$  op nul gehouden. Wanneer  $4 \ll [h] < 8$  wordt op horizontaal getest. Als  $[h] = 6$  sec. worden de eisen voor "horizontaal" verlicht door WWFF te setten.

Zodra hor FF wordt geset (dat kan al zijn als  $[h] = 4,25$  sec) wordt  $(8 \rightarrow h)$ FF geset en een stuk van het bereik van  $[h]$  overgeslagen. Zou hor FF niet geset worden voordat  $[h] = 8$  (wat vrijwel nooit zal gebeuren), dan wordt  $[h] = 8$  sec tóch bereikt doordat h verder telt. Op het moment dat  $[h] = 8$  op de een of andere wijze bereikt wordt, is de amplitude van het signaal per definitie nul, immers  $[a] = 0$  en  $[q] = 0$ . Tot nu toe was a steeds 0 geweest en  $(a > 40)$ ,  $(a > 80)$ ,  $(a > 160)$ FF steeds gereset gehouden. Vanaf nu gaat a het signaal volgen te beginnen bij 0. De amplitude van het signaal wordt bepaald door  $[a]$  te testen (zie fig. 6.11) op het overschrijden van de waarden 40, 80 en 160 E (in gevoeligheid S3). Dit wordt gedaan om de juiste gevoeligheid te kunnen kiezen.

Ook  $[q]$  was op nul gehouden zolang  $[h] < 8$  sec.  $1\frac{1}{2}$  sec later wordt  $(q \geq 1\frac{1}{2})$  FF geset.

Als de afleidingenteller op 0 staat op dat moment, d.w.z. de eerste start op E-afl, amplitude van afleiding II wordt gemeten, wordt WWFF geset. (Er wordt gewacht op een horizontaal stuk). Als hor FF geset wordt wordt SWITCHFF geset.

(Om de eisen voor het setten van hor FF te verlichten wordt bij  $h = 11,5$  de WWFF geset, wordt hor FF nog niet geset dan wordt op  $[h] = 13$  tóch SWITCHFF geset). Op afleiding I ( $[afteller] = 1$ ) wordt nogmaals gedurende  $1\frac{1}{2}$  sec gemeten of de signaalamplitude de grenzen 40, 80, 160 E overschrijdt. Na deze  $1\frac{1}{2}$  sec hoeft niet meer naar een andere afleiding te worden geschakeld (WWFF en WFF en SWITCH FF worden niet geset) er wordt nu een programma doorlopen dat ook gevolg zou zijn in geval van herstart of bij V-afleidingen n.l.

- wacht eerst tot  $[a] \approx 0$ .
- test op de verschillende  $(a > \dots)$ FF, zoals in fig. 6.10 is aangegeven.
- Kies de juiste gevoeligheid zoals in fig. 6.10 aangegeven ( $\cong$  signaal "sense" komt op).
- Set  $(16 \rightarrow h)$ FF.

De juiste gevoeligheid is daarmee gekozen.

De procedure om  $h=16$  te bereiken kan  $13+1,5$  sec =  $15\frac{1}{2}$  sec.

duren, in het allerongunstigste geval, het kan ook in 4,25 (om  $h=8$  te bereiken) +  $2 \times 1,5 = 7,25$  sec. in geval van start op E en zelfs in  $4,25+1,5=5,75$  sec. in geval van start op V. Herstart op E duurt iets langer omdat eerst op "start lang" gewacht moet worden wat 2 à 3 sec. duurt, waarna precies op  $[h]=1$  geset wordt, dus 1 à 2 sec. meer. Herstart op V kan (doordat  $[h]$  op 1 sec. wordt geset wat bijna 2 sec kan zijn) in iets meer dan  $2,25+1,5=3,75$  sec. gebeurd zijn.

Herstart op V duurt maximaal  $9,5-1=8,5$  sec.

Er moet gewacht worden tot  $[a] \approx 0$  alvorens naar een andere gevoeligheid te schakelen,

omdat bij een ADC inhoud van P, bij omschakelen van S3 naar S1, deze inhoud moet veranderen naar 4P.

Dat zal dan gebeuren met  $\Delta$  kanaal = 15, wat niet kan worden verwerkt zodat  $[a]$  niet méé verandert, niet méé 4x zo groot wordt.

Dit is alleen niet hinderlijk als  $[a] \approx 0$ .

Nadat  $[h]=16$  is bereikt, loopt  $[h]$  door naar 60.

Pas bij  $[h]=60$  wordt h weer gebruikt om af te schakelen als het apparaat in een loop zou zijn blijven steken.

Als de startknop wordt ingedrukt en  $[h] \gg 16$ , wordt  $(16 \rightarrow h)FF$  geset.



Logica.

T 340 cp 2	$h_9$	$h_8$	$h_7$	$h_6$	$h_5$	$h_4$	$h_3$	$h_2$	
									$(h_4)=1$ sec.
$\overline{Ag}$	0	0	0	0	0	0	0	X	. batterij vol $\rightarrow$ afschakelen
BP	0	0	0	0	1	1	X	X	$\rightarrow$ Reset small FF.
C	0	0	0	X	X	X	X	X	$\rightarrow$ set $(0 \rightarrow a)$ , $(0 \rightarrow q)$ FF, set S3 Reset $(a > 40)$ , $(a > 80)$ , $(a > 160)$ FF.
B	0	0	0	0	X	X	X	X	$\rightarrow$ set $(0 \rightarrow n)$ FF,

Omdat  $(0 \rightarrow n)$  FF ook op T340 cp 2 gelezen wordt, is de laatste veranderd in :

T000 cp 2	$n_3$	$n_2$	$n_1$	$n_0$	$h_9$	$h_8$	$h_7$	$h_6$	
JK	X	X	X	X	0	0	0	0	$(h_6)=4$ sec. $\rightarrow$ set $(0 \rightarrow n)$ FF.

T 340 cp 2	$h_9$	$h_8$	$h_7$	$h_6$	$h_5$	$h_4$	$h_3$	$h_2$	
S	0	0	0	1	X	X	X	X	$(h_4)=1$ sec., $(h_6)=4$ sec. . hor FF $\rightarrow$ Set $(8 \rightarrow h)$ FF, reset WWFF
Se	0	0	0	1	1	X	X	X	. $\rightarrow$ set WWFF
Dc	0	0	1	X	X	X	X	X	. $(q \geq 1\frac{1}{2})$ FF. $(af1 = \overline{0})$ . $(a \approx 0) \rightarrow$ sense.
Dc	0	0	1	X	X	X	X	X	. $(q \geq 1\frac{1}{2})$ FF. $af1 = \overline{0} \rightarrow$ set WFF
TPg	0	0	1	0	1	1	1	X	. $af1 = 0 \rightarrow$ set WWFF.
DNQ	0	0	1	1	0	1	X	X	. $af1 = 0 \rightarrow$ set SWITCH FF.
Md	1	1	1	1	X	X	X	X	$\rightarrow$ afschakelen.
D	0	0	X	X	X	X	X	X	$\rightarrow$ set $(h < 16)$ FF.
$\overline{D}$	$\overline{0}$	$\overline{0}$	X	X	X	X	X	X	$\rightarrow$ reset $(h < 16)$ FF.

WFF.hor FF  $\rightarrow$  set SWITCH FF

$(h < 16)$  FF. start  $\rightarrow$  set  $(16 \rightarrow h)$  FF.

sense.  $(a \geq 160)$  FF  $\rightarrow$  set S4, set  $(16 \rightarrow h)$  FF, set  $(0 \rightarrow q)$  FF,

sense.  $(a > 80)FF$ .  $\overline{(a > 160)FF} \rightarrow$  set S3, set  $(16 \rightarrow h)FF$ , set  $(0 \rightarrow q)FF$   
 sense.  $(a > 40)FF$ .  $\overline{(a > 80)FF} \rightarrow$  set S2, set  $(16 \rightarrow h)FF$ , set  $(0 \rightarrow q)FF$   
 sense.  $\overline{(a > 40)FF} \rightarrow$  set S1, set  $(16 \rightarrow h)FF$ , set  $(0 \rightarrow q)FF$ .

T244 cp 2 |  $q_6$   $q_5$   $q_4$   $q_3$   $q_2$   $q_1$   $q_0$   $b_4$  |  $(q_4) = 1$  sec.  
 N | X X 1 1 X X X X |  $\rightarrow$  set  $(q \geq 1\frac{1}{2})FF$ .

Deze FF wordt gereset als  $(0 \rightarrow q)FF$  wordt geset.

SWITCH FF. TX00 cp 2  $\rightarrow$  reset WFF, set  $(0 \rightarrow q)FF$ , set  $(0 \rightarrow a)FF$ ,  
 tel afl. teller, reset WFFF, set  
 INHFP FF.

SWITCHFF wordt gereset op elke TX 18 cp 2.

TX 20 cp 2	$a_9$	$a_8$	$a_7$	$a_6$	$a_5$	$a_4$	$a_3$	$a_2$	$(a_5) = 32$ E
C	0	0	0	X	X	X	X	X	$(0 \leq a \leq 127)$
$\overline{T\bar{e}}$	0	0	<u>1</u>	0	0	X	X	X	$(128 \leq a \leq 159)$
M	1	1	1	X	X	X	X	X	$(-128 \leq a \leq -1)$
aUe	1	1	<u>0</u>	1	1	X	X	X	$(-160 \leq a \leq -129)$
$\overline{A\bar{g}}$	0	0	0	0	0	0	0	X	set $(a \approx 0)FF$
$\overline{\overline{A\bar{g}}}$	0	0	0	0	0	0	0	X	Reset $(a \approx 0)FF$ .

Als op TX 20 cp 2 :  $C + \overline{T\bar{e}} + M + aUe = "1"$ ,

dan is kennelijk  $-160 \leq a < 160$ .  $(a \geq 160)FF$  moet geset worden als  $C + \overline{T\bar{e}} + M + aUe = "0"$ , dus als  $\overline{C \cdot \overline{T\bar{e}} \cdot M \cdot \overline{aUe}} = "1"$  (steeds op TX 20 cp 2). Hetzelfde geldt voor  $(a \geq 80)FF$  op TX 18 cp 2 en voor  $(a \geq 40)FF$  op TX 16 cp 2.

#### Uitvoering.

Bovenaan fig. 6.5 is de uitvoering in poorten getekend, van het gedeelte dat de gevoeligheid moet bepalen. Er zijn, om de 4 gevoeligheden in te stellen. 2 FF's,  $(S3+S4)FF$  en  $(S2+S4)FF$ . De waarden "S3+S4" en "S4" worden naar de spin overgezonden om de keuze van de gevoeligheid te implementeren. Verder zijn er setlijnen en resetlijnen naar de  $(8 \rightarrow h)FF$ ,  $(1 \rightarrow h)FF$ ,  $(16 \rightarrow h)FF$ , WFFF, WFF, SWITCH FF enzovoorts.

#### 6.7.4. Afleidingsduur. (zie fig. 6.12).

De duur dat een bepaalde afleiding wordt geschreven en wat er in verband daarmee moet gebeuren tijdens het schrijven wordt bepaald door teller q.

Als op een nieuwe afleiding wordt geschakeld wordt INHFP FF geset, deze wordt gereset als  $q = 1/16$  sec. Dat betekent dat de eerste  $6\frac{1}{4}$  msec van een nieuwe afleiding niets

geschreven wordt, want de INH FP FF (= inhibit fire pulses FF) wordt gedurende 64 msec geset. Dit komt overeen met  $64 \text{ msec} \times (25 \text{ mm/sec of } 50 \text{ mm/sec}) = 1,5 \text{ of } 3 \text{ mm}$  onbeschreven papier. De 1ste seconde is ook WSFF (write sensitivity FF) geset. Als deze geset is wordt met het onderste hulpspoor een stap geschreven, waarvan de grootte overeenkomt met 1 mV, dus bij S1 hoort een stap van 4 cm (= 160 SE) enz. Als  $q \geq 5 \text{ sec}$  en indien een E-afleiding geschreven wordt, wordt WFF (wait-FF) geset. Als hor FF ook geset is of wordt, (wat bij  $q \geq 6$  gemakkelijker gemaakt wordt door zetten van WWFF) of als  $q = 7$  bereikt wordt, wordt SWITCH FF geset. Op SWITCH FF. TX00 cp 2 wordt o.a. overgeschakeld naar de volgende afleiding (afl. teller krijgt telpuls) tenzij iets eerder, op TX 46 cp 2, de ON-FF wordt gereset en het toestel dus wordt afgeschakeld. Dat gebeurt als op dat moment afl-teller=6.

#### Logica.

T 244 cp 2	$q_6$	$q_5$	$q_4$	$q_3$	$q_2$	$q_1$	$q_0$	$b_4$	( $q_4$ )=1 sec.
$\overline{Ag}$	0	0	0	0	0	0	0	X	→ reset INH FP FF
C	0	0	0	X	X	X	X	X	→ set WSFF
$\overline{C}$	0	0	0	X	X	X	X	X	→ reset WSFF
V	1	<u>0</u>	1	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	X	.E → set WFF
L	1	1	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	X	.E → set WWFF
M	1	1	1	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	X	.E → set SWITCH FF.

SWITCH FF.TX00.cp 2 → als bij beginprocedure, o.a. tellen afl. teller.

SWITCH FF.TX46.cp 2 . afl=6 → afschakelen.

WFF.hor FF → set SWITCH FF (als bij beginprocedure).

#### Uitvoering

Op het midden van fig. 6.5 is te zien hoe de WSFF, INH.FP.FF, SWITCH FF, WFF, WWFF worden geset en gereset onder invloed van bovengenoemd programma onderdeel.

#### 6.7.5. Bovenste hulpspoor.

Het bovenste hulpspoor moet pacemakerpulsen (PM) registreren en moet registreren als op de Markerknop wordt gedrukt. Het binnenkomen van PM duurt ongeveer 8 cycli, 2 msec. ; onafhankelijk daarvan duurt de registratie 28 msec. Een "flow diagram" is weergegeven in fig. 6.15, het resultaat in 6.15 a.

Als het adres van het bovenste hulpspoor in het testvak staat worden er diverse testen op gedaan.

In de figuren en in het volgende

is M : markenknop is ingedrukt; PM : PMFF is geset doordat PM-in geset is geweest, wat niet meer het geval hoeft te zijn; oob : de out of bounds FF is geset, het hoofdspoor bevindt zich buiten het papier.

- Adres 191 (= uiterste hoogste adres van de kamschrijver): indien PM of oob of M is "1", dan HMFF op afteller setten, anders resetten.
- Adres 177 t/m 190 (uitwijking 4 tot 0 mm). Indien PM of oob of M is "1", aftellen, anders optellen.
- Adres 176 (uitwijking 4 mm) : indien PM of oob : aftellen, indien niet PM of oob of M:optellen, indien niet PM of oob, wél M: resetten.
- Adres 164 t/m 175 (uitwijking 7 tot 4 mm). Indien PM of oob : aftellen, anders optellen.
- Adres 160 t/m 163 (uitwijking 8 tot 7 mm). Indien PM of oob : resetten, anders optellen. Ook PMFF resetten.

Dus als alleen M : excursie tot 4 mm, terug bij loslaten. Dit wordt "overruled" door PM of oob; indien PM-in geweest is en PMFF geset, gaat de excursie tot 7 mm en PMFF wordt gereset en HMFF ook, de volgende cyclus is PMFF gereset en wordt HMFF op op tellen geset, dus slechts een "piekje" is het gevolg. Als oob FF geset is dan blijft de excursie 7 mm totdat oob FF weer gereset is.

Logica.

TO30 cp 2 of 230 cp 2	$b_4$	$b_3$	$b_2$	$b_1$	$b_0$	$a_9$	$a_8$	$a_7$	$(b_2)=1$ mm, $(b_0)=1$ SE boven adres 160.
aW	1	1	1	1	1	X	X	X	$\overline{PM} \cdot \overline{M} \rightarrow$ reset HMFF
aG	1	0	0	0	0	X	X	X	$\overline{PM} \cdot M \rightarrow$ reset HMFF
C	0	0	0	<u>1</u>	<u>1</u>	X	X	X	$\overline{PM} \rightarrow$ reset HMFF
$\overline{aG}$	1	0	0	0	0	X	X	X	$M \rightarrow$ set HMFF aftellen
$\overline{C}$	0	0	0	<u>1</u>	<u>1</u>	X	X	X	$\overline{PM} \rightarrow$ set HMFF aftellen
$\overline{a}$	0	X	X	X	X	X	X	X	$\overline{PM} \rightarrow$ set HMFF optellen
$\overline{aW}$	1	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	X	X	X	$\overline{PM} \cdot \overline{M} \rightarrow$ set HMFF optellen
C	0	0	0	<u>1</u>	<u>1</u>	X	X	X	$\overline{PM} \rightarrow$ reset PMFF

waarin  $PM = PMFF + oob \cdot FF$

waarin  $\overline{PM} = \overline{PMFF} \cdot \overline{oob} \cdot \overline{FF}$

Uitvoering.

Het schema is gegeven op fig. 6.5 midden. PMFF wordt geset

door PM in en gereset als gegeven. PMFF wordt geAND met oob FF om PM te vormen.

### 6.7.6. Onderste hulpspoor.

In het onderste hulpspoor moet geindiceerd worden :

- de gevoeligheid, door minstens eenmaal per afleiding een stap te maken overeenkomend met 1 mV (dus 4, 2, 1,  $\frac{1}{2}$  cm resp. in S1, S2, S3, S4).

- De afleiding : I geeft \_\_\_\_\_  
 II geeft \_\_\_\_\_  
 III geeft \_\_\_\_\_  
 aVR geeft \_\_\_\_\_  
 aVL geeft \_\_\_\_\_  
 aVF geeft \_\_\_\_\_  
 V geeft \_\_\_\_\_ (niets).

Wat er geschreven moet worden wordt bepaald door gevoeligheid en afleiding. Zowel q (als tijd) als  $\emptyset$  bepalen hoe het egeschreven wordt. q en  $\emptyset$  worden getest (fig. 6.13 en 6.16). Het resultaat is gegeven in 6.14.

- Als  $q = k + \frac{i}{16}$ ,  $k=0$  wordt gevoeligheid geschreven (WSFF is geset, write Sensitivity FF). Op  $q = 0 + \frac{1}{16}$  wordt LMFF optellen geset en hij blijft optellen tot de waarde overeenkomend met 1 mV is bereikt, dan wordt LMFF gereset. Als  $q = \frac{8}{16}$  sec. = 0,5 sec., wordt weer met aftellen begonnen.
- Als  $q = k + \frac{i}{16}$ ,  $k \neq 0$ , WFF nog niet geset, (dus  $k=1, 2, 3$  of  $4$ ) wordt op  $i=1$ , afleiding is E, een keer naar 20 SE geteld en weer terug. Als de afleidingsteller op 6 staat wordt 6 keer op en neer geteld op  $i=1$  t/m 6. Bij de eerste 3 keer wort de "achterflank" weggelaten, bij de laatste 3 keer wordt de "voorflank" weggelaten.
- Elke keer als bij het aftellen het adres 0 weer wordt bereikt, wordt weer geschreven (door LMFPFF weer te setten).

### Logica.

T 244 cp 2	$q_6$ $q_5$ $q_4$ $q_3$ $q_2$ $q_1$ $q_0$ $b_4$	$(q_0) = 1/16 \text{ sec.}, (q_4) = 1 \text{ sec.}$
$\bar{d}\bar{e}\bar{f}\bar{g}$	X X X 0 0 0 1 X	$\text{.carry FF. } \overline{\text{WFF}}(\text{E} + \text{WSFF}) \rightarrow$ $\text{set LMFF opt., set LMFPFF}$
$\bar{d}\bar{e}\bar{f}\bar{g}$	X X X 0 0 1 0 X	$\text{.carry FF. } \overline{\text{WFF}}.(\text{af1} = 2\text{t/m6}).$ $\overline{\text{WSFF}} \rightarrow \text{set LMFF opt., set LMFPFF}$
$\bar{d}\bar{e}\bar{f}\bar{g}$	X X X 0 0 1 1 X	$\text{.carry FF. } \overline{\text{WFF}}.(\text{af1} = 3\text{t/m6}).$ $\overline{\text{WSFF}} \rightarrow \text{set LMFF optellen}$ $\text{set LMFPFF.}$

T 244 cp 2	$q_6$	$q_5$	$q_4$	$q_3$	$q_2$	$q_1$	$q_0$	$b_4$	$(q_0)=1/16\text{sec}, (q_4)=1\text{sec.}$
$\bar{d}\bar{e}\bar{f}\bar{g}$	X	X	X	0	1	0	0	X	.carry FF. $\overline{WFF}$ (af1=4t/m6) .WSFF → set LMFF optellen reset LMFPFF
$\bar{d}\bar{e}\bar{f}g$	X	X	X	0	1	0	1	X	.carry FF. $\overline{WFF}$ .(af1=5+6) $\overline{WSFF}$ set LMFF optellen reset LMFPFF
$\bar{d}\bar{e}f\bar{g}$	X	X	X	0	1	1	0	X	.carry FF. $\overline{WFF}$ (af1=6) $\overline{WSFF}$ set LMFF optellen reset LMFPFF

De stand van de afleidingen teller wordt gegeven door  $i_2 i_1 i_0$ . Het bovenstaande geeft de volgende logische formule voor "set LMFF optellen" :

LMFF optellen = carry FF. $\overline{WFF}$ .T 242 cp 2. $\bar{d}$  [(E+WSFF) $\bar{e}\bar{f}g$  + E. $\overline{WSFF}$ {...}] waarbij in het gedeelte tussen accoladen {....} één van de 3 volgende vormen kan staan :

$$\begin{aligned}
 & - \{ \bar{e} f l_2 + \bar{e} f \bar{g} l_1 + \bar{e} f l_1 l_0 + e \bar{g} l_2 l_1 + e \bar{f} l_2 l_1 + \\
 & + e \bar{f} l_2 l_0 + e \bar{f} \bar{g} l_2 \} \\
 & - \{ \bar{e} f l_2 + \bar{e} f l_1 (\bar{g} \bar{l}_0) + f l_2 l_1 (\bar{e} g) + e \bar{f} l_2 (\bar{g} \bar{l}_1 \bar{l}_2) \} \\
 & - \{ \bar{e} f l_2 + (\bar{e} f l_1 + f l_2 l_1) (\bar{g} l_1 \bar{l}_0) + e \bar{f} l_2 (\bar{g} \bar{l}_1 \bar{l}_0) \}
 \end{aligned}$$

De eerste is een gewone som van priemimplicanten, de tweede een som van termen die niet geheel tot de functie behoren en waar gedeeltes van uitgesloten moeten worden, de derde sluit vertices uit van meerdere priemimplicanten tegelijk.

De derde is het gemakkelijkst in  $I^2L$  te maken en dat is ook gebeurt.

Als LMFF op optellen geset wordt, moet de LMFPFF de waarde van  $\bar{e}$  overnemen (zie boven).

#### Verdere logica.

T 132 cp 2	$0_5$	$0_4$	$0_3$	$0_2$	$0_1$	$0_0$	$a_9$	$a_8$	$(0_2)=1\text{mm.}$
U	<u>0</u>	1	0	1	<u>0</u>	<u>0</u>	X	X	.S4.WSFF → reset LMFF
V	1	0	1	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	X	X	.(S3+S4).WSFF → reset LMFF
T 136 cp 2	$0_7$	$0_6$	$0_5$	$0_4$	$0_3$	$0_2$	$0_1$	$0_0$	$(0_2)=1\text{mm.}$
U	<u>0</u>	1	0	1	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	.(S2+S3+S4(=S1)).WSFF → reset LMFF
V	1	0	1	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	.WSFF → reset LMFF
AK	0	0	0	0	0	0	0	0	→ reset LMFF, set LMFPFF
SQ	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	1	<u>0</u>	1	<u>0</u>	<u>0</u>	. $\overline{WSFF}$ → set LMFF aftellen trigger LMFPFF

T 244 cp 2  $\left| \begin{array}{cccccccc} q_6 & q_5 & q_4 & q_3 & q_2 & q_1 & q_0 & b_4 \end{array} \right| (q_4)=1 \text{ sec.}$   
 S  $\left| \begin{array}{cccccccc} \underline{0} & \underline{0} & \underline{0} & 1 & \underline{0} & \underline{0} & \underline{0} & X \end{array} \right| . \text{WSFF set LMFF}$   
 aftellen

### Uitvoering.

Een en ander is op fig. 6.3 bovenaan weergegeven.

#### 6.7.7. Buiten papier routine.

Als het hoofdspoor buiten papier komt kan dat als oorzaak hebben :1; een verkeerde gevoeligheid is ingesteld en dan zal bij elke hartslag het spoor buiten het papier raken :2; een verandering van de DC spanning waarop het signaal is gesuperponeerd, het spoor zal dan langere tijd buiten papier blijven; 3; langzame of kleine verandering van de DC spanning, zodat het spoor elke hartslag buiten papier raakt, hoewel de gekozen gevoeligheid goed is.

Op de eerste moet gereageerd worden met : nieuwe gevoeligheid kiezen, de 2e en 3e : even wachten met registreren tot DC component verdwenen is, eventueel tijdconstante kleiner maken. Echter is onderscheid tussen de 1e en 3e niet eenvoudig te maken en dat is dan ook niet gedaan.

De werking is als volgt :

Als a een adres buiten het bereik van de kamschrijver bevat (dus hoofdspoor buiten papier) wordt de oob FF (=out of bounds FF) geset en meteen weer gereset als [a] weer binnen bereik van de kamschrijver valt. Tevens wordt als oob FF van "0" naar "1" verandert (0→q)FF geset en sh oob FF gereset (shoob = short out of bounds). Als  $q < 0,5 \text{ sec}$  (en oob RFF geset) en het spoor komt terug (oob FF gereset), wordt shoob FF geset. In dat geval gebeurt er verder niets tot  $q=2 \text{ sec}$ . Dan wordt q weer op nul geset, oob RFF gereset en de afleiding wordt nog een keer gedurende ongeveer 5 sec geschreven. Als het spoor niet binnen 0,5 sec terugkomt wordt shoob FF niet geset. Als  $q=0,5 \text{ sec}$  wordt  $\mathcal{T}_{\text{small}}$  geset en AZq (Add Zero to q) wordt geset zolang het spoor buiten papier is, q blijft dus op 0,5 sec. staan tot het spoor terug is. Daarna telt q verder. Als  $q=1$  wordt  $\mathcal{T}_{\text{small}}$  FF gereset, als  $q=2 \text{ sec}$  wordt ook nu shoob FF en oob R FF gereset en (0→q)FF geset.

Elke keer als het spoor opnieuw buiten bereik gaat, ook al was oobR FF nog geset, begint het programma opnieuw met meten hoe lang dat duurt. Zolang oobR FF geset is, wordt niet geschreven en wordt papier niet getransporteerd, tenzij de startknop wordt ingedrukt. In dat geval wordt geschreven tot na 2 à 3 sec het "start lang" signaal opkomt en via h=1 sec opnieuw gevoeligheid bepaald wordt : om de beginroutine niet te beïnvloeden wordt van de hele oob routine als voorwaarde gesteld dat  $h \geq 16$  sec.

Logica.

TX 18 cp 2	a <sub>8</sub>	a <sub>7</sub>	a <sub>6</sub>	a <sub>5</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>1</sub>	(a <sub>6</sub> )=64SE=64E.
$\overline{DN}$	0	0	$\overline{1}$	$\overline{1}$	X	X	X	X	$\{(h \geq 16) + \overline{DN} + \overline{LH}\} \cdot S1 \rightarrow$
$\overline{LH}$	1	1	$\overline{0}$	$\overline{0}$	X	X	X	X	$\{(h \geq 16) + \overline{DN} + \overline{LH}\} \cdot S1 \rightarrow$
									{ set oob FF set oobR FF
TX 20 cp 2	a <sub>9</sub>	a <sub>8</sub>	a <sub>7</sub>	a <sub>6</sub>	a <sub>5</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>2</sub>	(a <sub>7</sub> )=64SE=128E.
$\overline{DN}$	0	0	$\overline{1}$	$\overline{1}$	X	X	X	X	$\{(h \geq 16) + \overline{DN} + \overline{LH}\} \cdot \overline{S1} \rightarrow$
$\overline{LH}$	1	1	$\overline{0}$	$\overline{0}$	X	X	X	X	$\{(h \geq 16) + \overline{DN} + \overline{LH}\} \cdot \overline{S1} \rightarrow$
									{ set oob FF set oobR FF

$h \geq 16 \rightarrow$  reset oob RFF.

Eerste cyclus dat oob FF geset wordt  $\rightarrow$  { set(O $\rightarrow$ q)FF,  
reset shoob FF.

T 244 cp 2	q <sub>6</sub>	q <sub>5</sub>	q <sub>4</sub>	q <sub>3</sub>	q <sub>2</sub>	q <sub>1</sub>	q <sub>0</sub>	b <sub>4</sub>	(q <sub>4</sub> )=1sec.
B	0	0	0	0	X	X	X	X	.oobR FF. $\overline{\text{oob FF}} \rightarrow$
									set shoob FF.
S	0	0	0	1	X	X	X	X	.oobR FF. $\overline{\text{shoob FF}}$
									set $\tau_{\text{small}}$ FF.
c	$\overline{0}$	$\overline{0}$	1	$\overline{0}$	$\overline{0}$	$\overline{0}$	$\overline{0}$	$\overline{X}$	.oobR FF $\rightarrow$ reset $\tau_{\text{small}}$ FF
b	$\overline{0}$	1	$\overline{0}$	$\overline{0}$	$\overline{0}$	$\overline{0}$	$\overline{0}$	$\overline{X}$	.oobR FF $\rightarrow$ set(O $\rightarrow$ q)FF, reset shoob FF, reset oobR FF.

Deze laatste aktie moet 2 van zijn voorwaarden opheffen. o.a. oobR FF is een voorwaarde,  $\overline{\text{oobR FF}}$  is het gevolg dit wordt met een tussen FF gedaan, die de 3 akties moet uitvoeren en daartoe geset wordt en wordt gereset door terugmelding dat akties uitgevoerd zijn.



Verdere logica.

$$\overline{\tau}_{\text{small FF.oob FF.oobR FF}} \rightarrow \text{set AZq.}$$

$$\overline{\tau}_{\text{small FF.oob FF.oobR FF}} \rightarrow \text{reset AZqFF.}$$

T 244	cp 2	q <sub>6</sub> q <sub>5</sub> q <sub>4</sub> q <sub>3</sub> q <sub>2</sub> q <sub>1</sub> q <sub>0</sub> b <sub>4</sub>   (q <sub>4</sub> )=1sec.								
$\overline{D}$		0	0	X	X	X	X	X	X	.start → set AZq.

$$(\overline{h \geq 16})\overline{\text{FF}} \rightarrow \text{reset oobR FF.}$$

start eind → set (0 → q)FF, reset AZq.

Bij indrukken van de startknop moet AZq geset worden om te voorkomen dat naar de volgende afleiding wordt geschakeld. Wel wordt, door de voorwaarde  $q \geq 2$  sec voor het setten van AZq, de gelegenheid gegeven de buiten papier routine af te werken.

Uitvoering.

Onderaan fig. 6.5 is de oob FF, shoob FF, oobR FF,  $\overline{\tau}_{\text{small FF}}$  getekend, met de logica zoals boven besproken. Ook is daar de tussen FF voor het resetten van o.a. oobR FF getekend en de Xoob FF, die de oob FF volgt, maar steeds ongeveer een halve cyclus later. oob FF.  $\overline{\text{.xoob FF}}$  is dan het signaal "begin oob". Bovenaan fig. 6.4 is de AZq FF gegeven.

6.6.8. Papiertransport en firepulsen.Logica.

$$\begin{aligned} \text{Papiertransport} &= (\overline{h \geq 16})\overline{\text{FF}} \{ \text{start} + \overline{\text{E.oobRFF}} \} + \text{start.E.afl} = \overline{0}. \\ \text{FP} &= \text{cp2. papiertransport.} \overline{\text{INHFPFF}} \cdot \{ [\text{TX 18.} \overline{\text{oobFF}}] + \\ &+ [(\text{IO46} + \text{T246})(\overline{\text{HMFF is reset}}) + (\text{TO46})(250 \text{ HzFF})] \\ &+ [(\text{T146})(\overline{\text{LMFF is reset}} + 125\text{HzFF}).(\overline{\text{LMFPFF}})(\overline{\text{LMEVENFF}})] \} \end{aligned}$$

T 136	cp 2	0 <sub>7</sub> 0 <sub>6</sub> 0 <sub>5</sub> 0 <sub>4</sub> 0 <sub>3</sub> 0 <sub>2</sub> 0 <sub>1</sub> 0 <sub>0</sub>   (0 <sub>0</sub> )=1mm=15E								
$\overline{h}$		X	X	X	X	X	X	X	0	→ set LMEVEN FF
h		X	X	X	X	X	X	X	1	→ reset LMEVEN FF
T 200	cp 2	t <sub>5</sub> t <sub>4</sub> t <sub>3</sub> t <sub>2</sub> t <sub>1</sub> t <sub>0</sub> 0 <sub>7</sub> 0 <sub>6</sub>   (t <sub>0</sub> )=1msec.								
E		X	X	X	0	0	0	X	X	set 125 Hz FF
$\overline{E}$		X	X	X	0	0	0	X	X	reset 125 Hz FF
J		X	X	X	X	0	0	X	X	set 250 Hz FF
$\overline{J}$		X	X	X	X	0	0	X	X	reset 250 Hz FF

Uitvoering.

Onderaan fig. 6.3 is aangegeven hoe deze logische formules gerealiseerd zijn.

Werking.

Papiertransport begint normaal als de nul- en gevoeligheidsbepalingen gedaan zijn ( $h \geq 16$ ).

Daarna moet voor papiertransport bij V afleidingen de startknop ingedrukt blijven, bij E gaat zonder startknop indrukken het papiertransport door totdat oobRFF geset wordt (buiten bereik). Dan stopt papiertransport maar is weer op gang te brengen door startknop indrukken. Als startknop meer dan 3 sec ingedrukt blijft wordt (1→h) geset en opnieuw gevoeligheid bepaald. Om op dat moment het papier niet te laten stoppen door  $h < 16$  is de term : start.E.( $\overline{afl=0}$ ) toegevoegd.

Altijd als

het papier loopt wordt het beschreven behalve als INH FP FF geset is, dat is de eerste 64 msec nadat een nieuwe afleiding ingeschakeld is.

Er wordt dan 3 mm niet beschreven (bij papiersnelheid 50 mm/sec). FP kan verder in 3 termen verdeeld worden :

- hoofdspoor : TX 18. $\overline{oobFF}$  . Zolang het hoofdspoor op papier is wordt het met een firepulse rate van 4 KHz geschreven.
- Bovenste hulpspoor :  $\left[ (T\ 046 + T\ 246)(\overline{HMFF\ is\ reset}) \dots \right]$  . Zoalang het bovenste hulpspoor niet horizontaal gaat, wordt met 2 KHz geschreven, en met 2 KHz op- en afgeteld, de punten komen verticaal 1SE(0,25 mm) uit elkaar. Verticale snelheid is 2000 SE/sec.=500 mm/sec. Horizontale snelheid is 25/50 min/sec. Helling van het lijstuk is 10:1 of 20:1.  $\dots + (T\ 046)(250\ Hz\ FF)$  ] : als het bovenste hulpspoor wel horizontaal gaat, is de FP-rate : 250 Hz, d.i. bij 50 mm/sec. een onderlinge afstand van de punten van 0,2 mm. Dit is ongeveer een gesloten lijn.
- Onderste hulpspoor.  $\left[ (T\ 146)(\overline{LMFF\ is\ reset} + 125\ Hz\ FF)(LMFPFF)(LMEVEN\ FF) \right]$  . De LMEVEN FF zorgt ervoor dat alleen op even adressen geprint wordt, de onderlinge verticale afstand is dus al 2SE=0,5 mm, een dunne lijn. De LMFPFF is meestal geset, alleen gereset op de helft van de hellingen voor het schrijven van de afleidingsindicatie. Als LMFF gereset is, dus een horizontaal lijstuk wordt geschreven is de FP-rate : 125 Hz, d.i. bij 50 mm/sec. een onderlinge afstand van 0,4 mm, een

dunne lijn. Als LMFF geset is, wordt op-of afgeteld met 1 KHz, en geprint met 0,5 KHz. Verticale snelheid 1000 SE/sec=250 mm/sec.

Horizontale snelheid 25/50 mm/sec.

Helling van een lijnstuk is 5:1 of 10:1.

#### 6.6.9. Extremiteits/borstafleidingen (E/V)

- Om vanuit de toestand afl=7 (V) over te gaan naar afl=0 (E, nieuwe start), zonder eerst te wachten tot het apparaat na ongeveer 40 sec. is afgeschakeld, wordt een telpuls aan de afleidingsteller gegeven met logische formule :

(afl.teller=7). E.TX00.cp 2.

- In afleidingen E wordt voor elke afleiding de afleiding geïndiceerd. Dit gebeurt niet voor V afleiding, (wat ook weer een indicatie is dat het een V afleiding was).

- In de E afleiding hoeft de startknop slechts een keer kort worden ingedrukt om de hele serie afleidingen automatisch te laten komen. Bij stoppen van het papier kan men door op de startknop te drukken weer laten doorschrijven en kijken of er een artefact is of dat de gevoeligheid niet goed is.

Drukt men lang genoeg (ongeveer 3 sec) op de startknop, dan wordt (in dezelfde afleiding) de gevoeligheid en de nul opnieuw bepaald. Als men bij stoppen van het papiertransport helemaal niet op de knop zou drukken, dan zou bij een artefact na verloop van tijd het spoor weer op papier terugkomen en daarna de registratie worden hervat. Bij verkeerde gevoeligheid zou steeds opnieuw binnen 2 sec het spoor buiten het papier raken, het programma zou blokkeren en pas 44 sec na begin registratie het apparaat worden afgeschakeld (doordat  $[h]=60\text{sec}$ ).

- In de V afleiding moet de knop ingedrukt blijven zolang de registratie met dezelfde gevoeligheid moet doorgaan. Bij loslaten van de knop stopt de registratie bij weer indrukken zou het tellen van de duur daarvan beginnen, na 2 à 3 sec wordt begonnen met nieuwe gevoeligheid en nul zoeken. Omdat dat wachten op

"start lang" gedurende enkele seconden zinloos en verwarrend is wordt in geval van V afleidingen bij niet-eerste start bij "start begin" het signaal "start lang" gemaakt.

Logische formule :

(start lang + V.resetalles.start begin)  $\rightarrow$  set(1 $\rightarrow$ h)FF, set  $\tau_{\text{small}}$  FF, set (0 $\rightarrow$ m)FF; (0 $\rightarrow$ m)FF moet geset blijven om te voorkomen dat na 3 sec toch weer opnieuw begonnen wordt, daarom moet ook in derreset (0 $\rightarrow$ m)FF de voorwaarde "E" worden ingebouwd.

- Op de ingangen van de chip kunnen 2 knoppen, start E of start V aangesloten worden, of start.E en start.V, waarin "start" een startknop is, die via de E of V stand van een E/V knop wordt doorgeschakeld.
- Omdat de gevoeligheidsindicatie geschreven wordt als  $q < 1$  sec, en de afleidingsindicatie de 2e t/m 5e sec, en omdat bij indrukken van de startknop  $q$  niet verder telt als  $q \geq 2$  sec, wordt bij indrukken van de startknop bij V, zo gauw nul en gevoeligheid zijn bepaald, de gevoeligheid aangegeven. Dat kan nog eens gebeuren als door buiten papier raken  $q$  weer op nul geset wordt. Bij E afleiding wordt normaal per afleiding 1 maal gevoeligheid en 4x afleiding geïndiceerd. Door indrukken van de knop of door buiten papier raken kan  $q$  op nul geset worden en de zaak opnieuw beginnen. Bij E afleiding en steeds ingedrukt houden van de startknop zal via  $h=1$ , nul en gevoeligheid bepalen de 1e en 2e seconde normaal geschreven worden. Bij loslaten van de knop wordt  $q$  weer op nul geset.

6.6.10. In fig. 6.17 is een voorbeeld van een stuk registratie~ gegeven. In het voorbeeld wordt aangegeven hoe door  $\tau=0,3$  sec snel naar de nullijn wordt gegaan, hoe nul en gevoeligheid worden gevonden, hoe de 3 sporen er uit zien en hoe gereageerd wordt op artefacten en op opnieuw indrukken van de startknop.

In fig. 6.18 zijn op schaal 10: $\sqrt{2}$  details van diverse stukken registratie weergegeven, (de punten hebben in werkelijkheid een diameter van 0,2 mm). Deze details zijn gegeven voor papiersnelheid 50 mm/sec.

Bij papiersnelheid 25 mm/sec verandert slechts de horizontale afstand tussen de punten, verder niets.

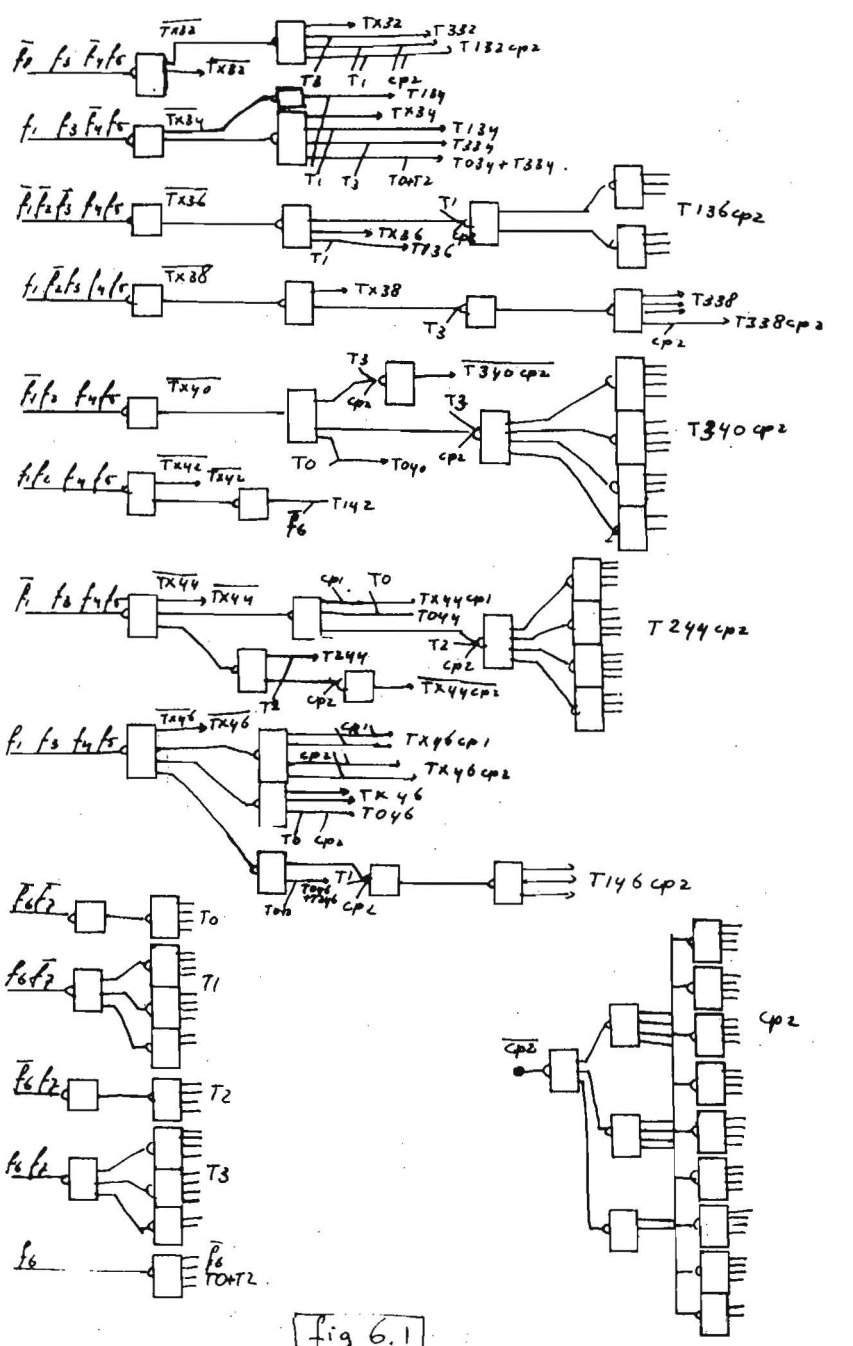
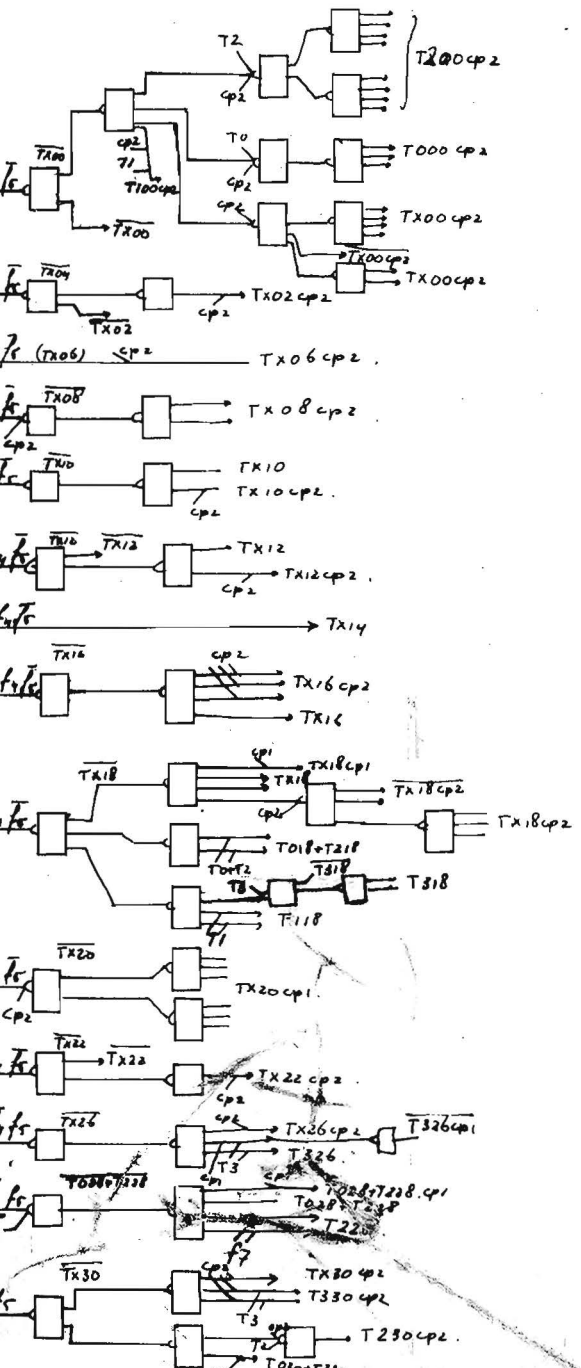
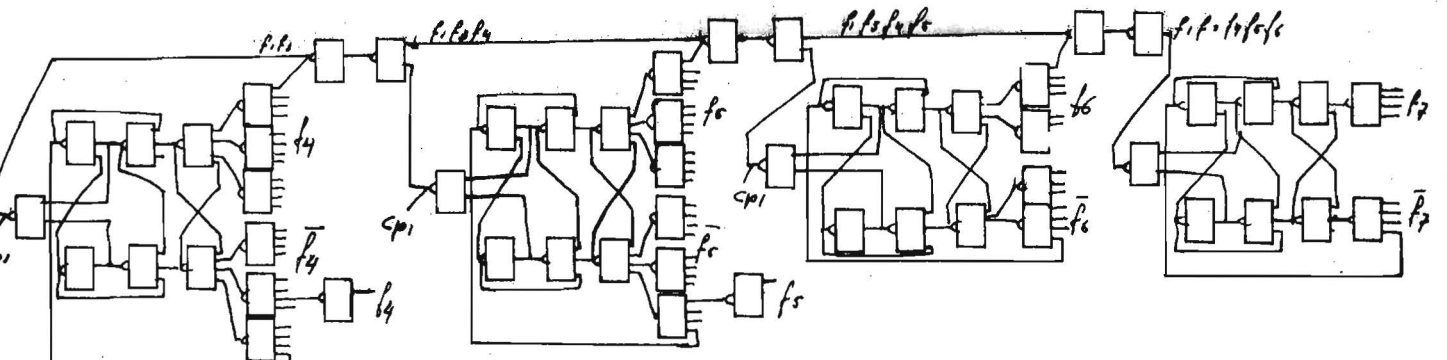
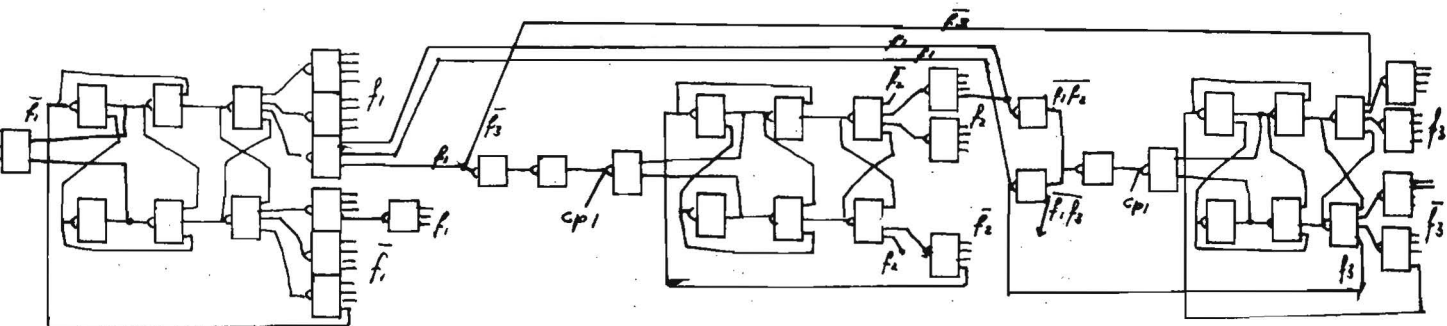
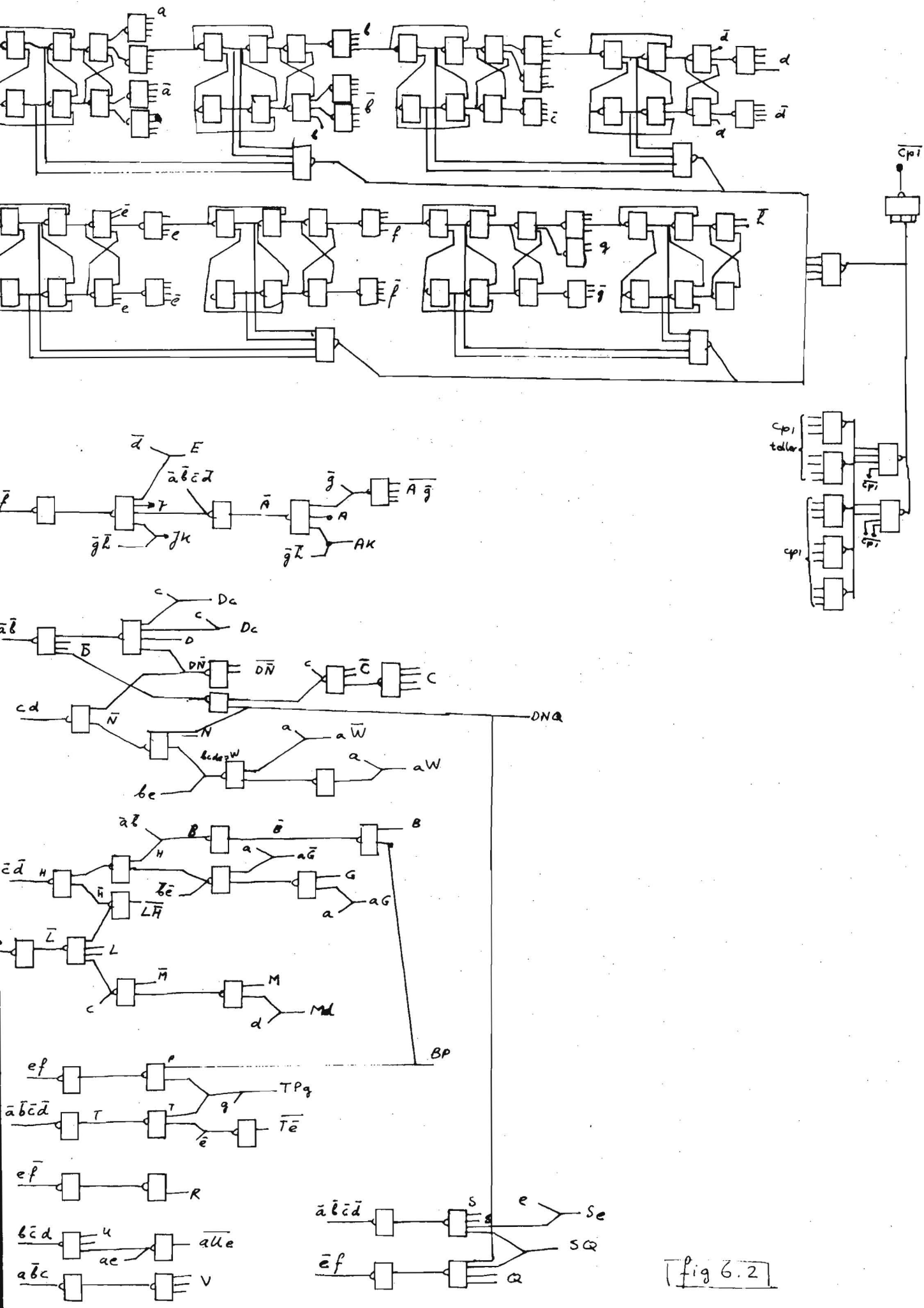


Fig 6.1



[fig 6.2]

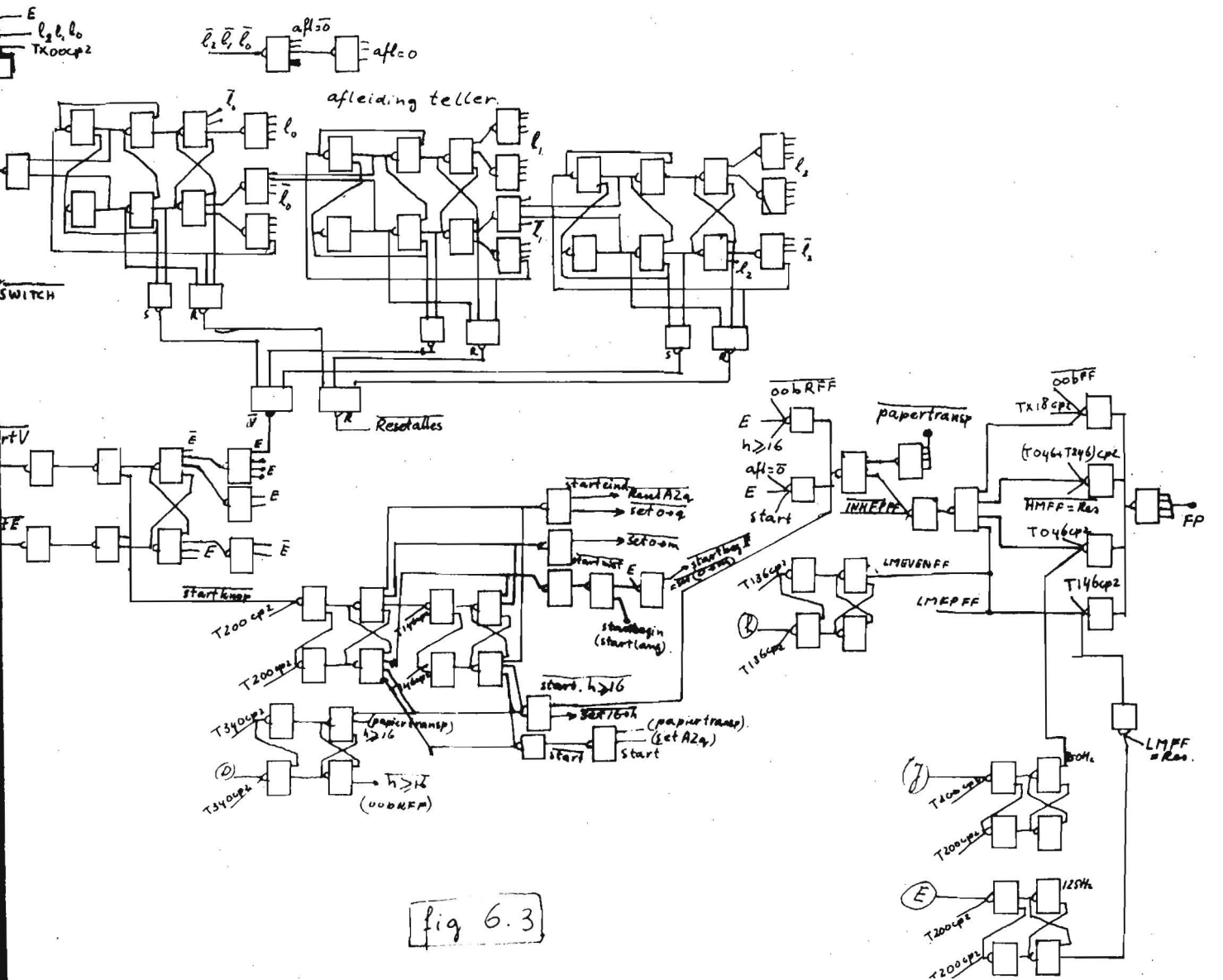
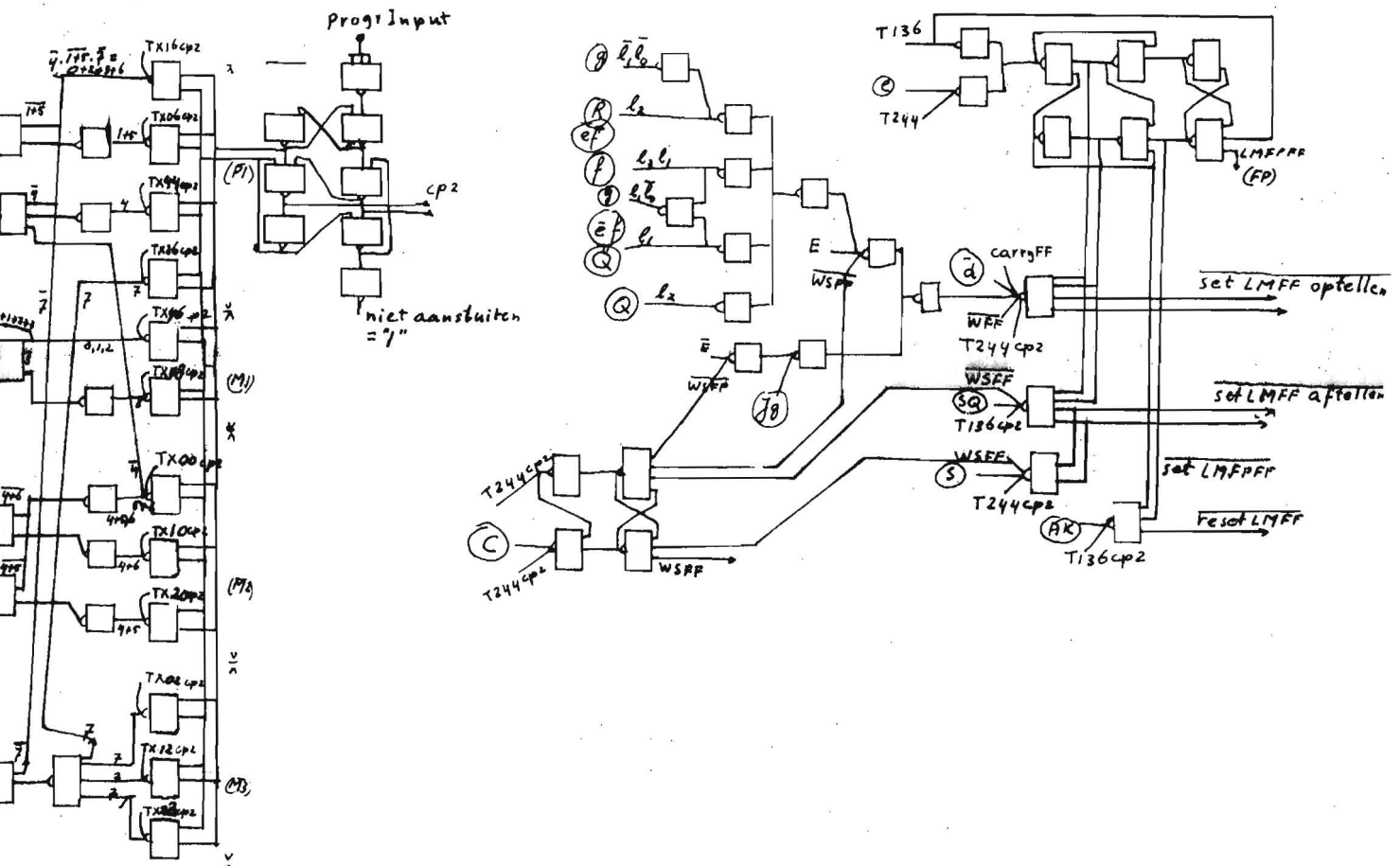


fig 6.3







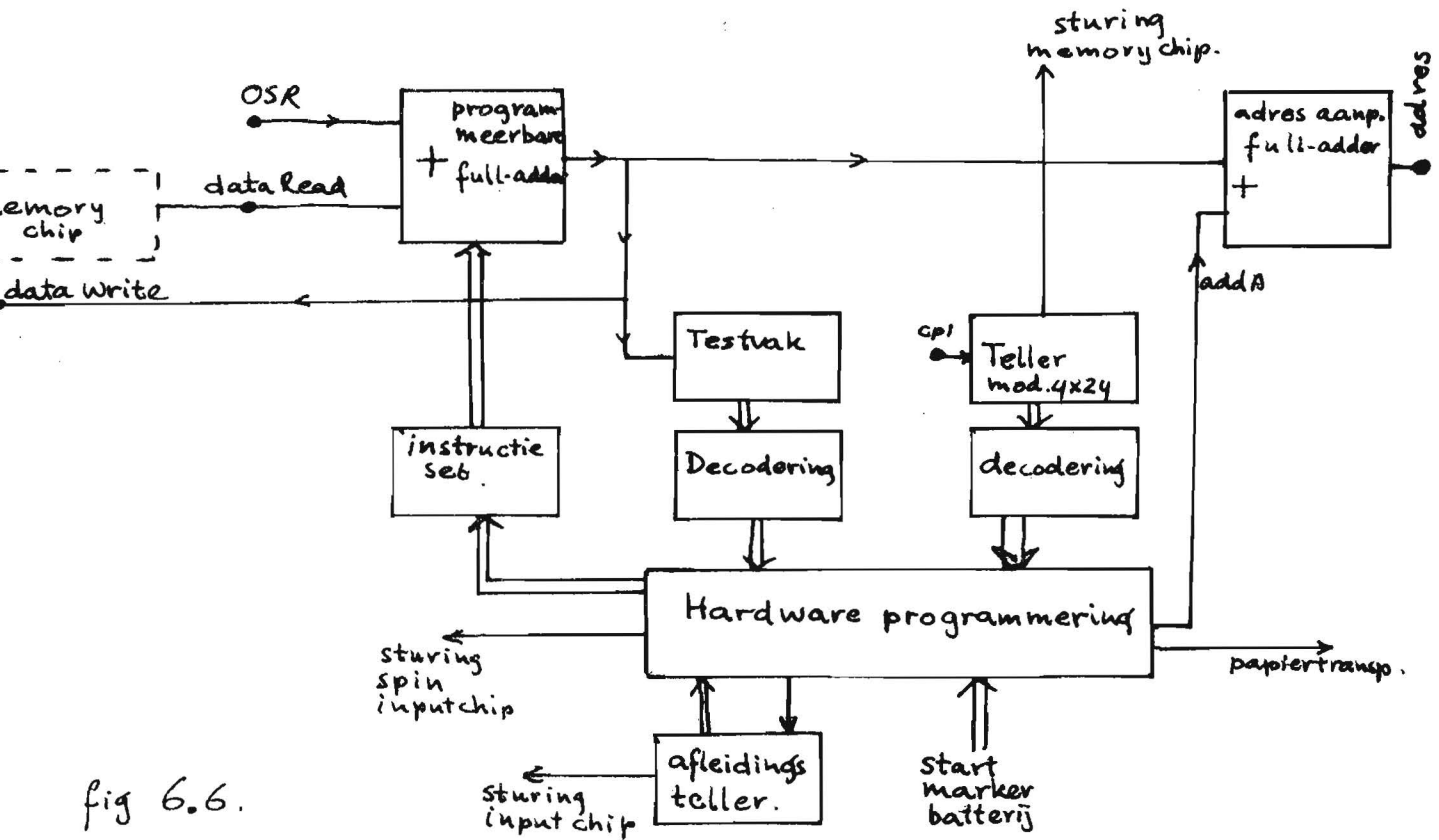


fig 6.6.

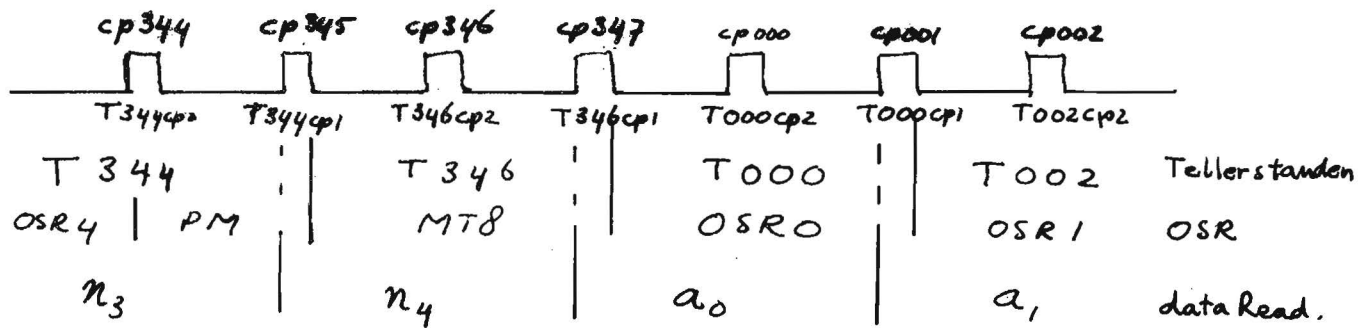


fig 6.7.

T	CP		CPOOV		Set progr.	Public READ	inbound testvak	PROG. addA	DATA READ	inbound testvak	PROG. addA	DATA READ	inbound testvak	PROG. addA	DATA READ	inbound testvak	PROG. addA	T
00	00	OSR0		R		1	a <sub>0</sub> m <sub>0</sub> n <sub>0</sub> h <sub>0</sub> g <sub>0</sub> f <sub>0</sub> e <sub>0</sub>	0	a <sub>0</sub> m <sub>0</sub> n <sub>0</sub> h <sub>0</sub> g <sub>0</sub> f <sub>0</sub> e <sub>0</sub>	0	0	a <sub>0</sub> m <sub>0</sub> n <sub>0</sub> h <sub>0</sub> g <sub>0</sub> f <sub>0</sub> e <sub>0</sub>	0	0	a <sub>0</sub> m <sub>0</sub> n <sub>0</sub> h <sub>0</sub> g <sub>0</sub> f <sub>0</sub> e <sub>0</sub>	0	0	00
02	02	OSR1		R		1	a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> n <sub>0</sub> h <sub>0</sub> n <sub>0</sub> h <sub>0</sub> g <sub>0</sub> h <sub>0</sub> z <sub>0</sub>	0	a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> n <sub>0</sub> m <sub>0</sub> g <sub>0</sub> f <sub>0</sub> e <sub>0</sub> z <sub>0</sub>	0	0	a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0</sub> o <sub>0</sub> z <sub>0</sub>	0	0	a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> m <sub>0</sub> n <sub>0</sub> h <sub>0</sub> g <sub>0</sub> f <sub>0</sub> z <sub>0</sub> z <sub>0</sub>	0	0	02
04	04	OSR2	CS	R		1	a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> n <sub>0</sub> h <sub>0</sub> n <sub>0</sub> h <sub>0</sub> g <sub>0</sub> h <sub>0</sub>	0	a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> m <sub>0</sub> m <sub>0</sub> g <sub>0</sub> f <sub>0</sub> z <sub>0</sub> z <sub>0</sub>	0	0	a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0</sub>	0	0	a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> m <sub>0</sub> g <sub>0</sub> f <sub>0</sub> z <sub>0</sub> z <sub>0</sub>	0	0	04
06	06	OSR3	CS	L	L	1	a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> n <sub>0</sub> h <sub>0</sub> n <sub>0</sub> h <sub>0</sub> g <sub>0</sub>	0	a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> m <sub>0</sub> m <sub>0</sub> g <sub>0</sub> f <sub>0</sub> z <sub>0</sub>	0	0	a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0</sub>	0	0	a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> m <sub>0</sub> g <sub>0</sub> f <sub>0</sub> z <sub>0</sub>	0	0	06
08	08	OSR4	CS	L		1	a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> n <sub>0</sub> h <sub>0</sub> n <sub>0</sub> h <sub>0</sub>	0	a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> m <sub>0</sub> m <sub>0</sub> g <sub>0</sub> f <sub>0</sub>	0	0	a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0</sub>	0	0	a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> m <sub>0</sub> g <sub>0</sub> f <sub>0</sub>	0	0	08
10	10	OSR4	CS	L		1	a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> n <sub>0</sub> h <sub>0</sub> n <sub>0</sub>	SI	a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> m <sub>0</sub> m <sub>0</sub> g <sub>0</sub>	SI	SI	a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0</sub>	SI	SI	a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> m <sub>0</sub> g <sub>0</sub>	SI	SI	10
12	12	OSR4		L		1	a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> n <sub>0</sub> h <sub>0</sub>	1	a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> m <sub>0</sub> m <sub>0</sub>	1	1	a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0</sub> t <sub>0</sub>	1	1	a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> m <sub>0</sub> m <sub>0</sub>	1	1	12
14	14	OSR4	CS	L		1	a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> n <sub>0</sub>	SI	a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> m <sub>0</sub>	SI	SI	a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> t <sub>0</sub>	SI	SI	a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub> m <sub>0</sub>	SI	SI	14
16	16	OSR4	CS	F	F	SI	a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub>	0	a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub>	0	0	a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub>	0	0	a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub> a <sub>0</sub>	0	0	16
18	18	OSR4	CS	F		0	a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub>	FP	a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub>	FP	FP	a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub>	FP	FP	a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub> a <sub>1</sub>	FP	FP	18
20	20	OSR4	CS	F		1	b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub>	0	b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub>	0	0	b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub>	0	0	b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub> a <sub>2</sub>	0	0	20
22	22	OSR4	CS	F		1	b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub>	0	b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub>	0	0	b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub>	0	0	b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub>	0	0	22
24	24	OSR4	CS	F		1	b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub>	0	b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub>	0	0	b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub>	0	0	b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub>	0	0	24
26	26	OSR4	CS	C	C	1	b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub>	0	b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub>	0	0	b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub>	0	0	b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub>	0	0	26
28	28	OSR4	CS	C		1	b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub>	0	b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub>	0	0	b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub>	0	0	b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub>	0	0	28
30	30	OSR4	CS	C		1	g <sub>0</sub> b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub>	1	g <sub>0</sub> b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub>	1	1	g <sub>0</sub> b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub>	1	1	g <sub>0</sub> b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub>	1	1	30
32	32	OSR4	CS	C	W	1	g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub>	0	g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub>	0	0	g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub>	0	0	g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub>	0	0	32
34	34	OSR4	CS	C	Z	1	g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> a <sub>9</sub>	1	g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub>	1	1	g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> a <sub>9</sub>	1	1	g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub>	1	1	34
36	36	OSR4	CS	S <sub>3</sub>		0	g <sub>3</sub> g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b <sub>0</sub>	0	g <sub>3</sub> g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub>	0	0	g <sub>3</sub> g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b <sub>0</sub>	0	0	g <sub>3</sub> g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b <sub>0</sub>	0	0	36
38	38	OSR4	CS	S <sub>4</sub>		0	g <sub>4</sub> g <sub>3</sub> g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub>	0	g <sub>4</sub> g <sub>3</sub> g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub>	0	0	g <sub>4</sub> g <sub>3</sub> g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub>	0	0	g <sub>4</sub> g <sub>3</sub> g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub>	0	0	38
40	40	OSR4	CS			0	g <sub>5</sub> g <sub>4</sub> g <sub>3</sub> g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub>	0	g <sub>5</sub> g <sub>4</sub> g <sub>3</sub> g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub>	0	0	g <sub>5</sub> g <sub>4</sub> g <sub>3</sub> g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub>	0	0	g <sub>5</sub> g <sub>4</sub> g <sub>3</sub> g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub>	0	0	40
42	42	OSR4	CS			0	g <sub>6</sub> g <sub>5</sub> g <sub>4</sub> g <sub>3</sub> g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> b <sub>4</sub> b <sub>3</sub>	0	g <sub>6</sub> g <sub>5</sub> g <sub>4</sub> g <sub>3</sub> g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub>	0	0	g <sub>6</sub> g <sub>5</sub> g <sub>4</sub> g <sub>3</sub> g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> b <sub>4</sub> b <sub>3</sub>	0	0	g <sub>6</sub> g <sub>5</sub> g <sub>4</sub> g <sub>3</sub> g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> b <sub>4</sub> b <sub>3</sub>	0	0	42
44	44	OSR4	CPOOV	R	R	0	m <sub>0</sub> g <sub>6</sub> g <sub>5</sub> g <sub>4</sub> g <sub>3</sub> g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> b <sub>4</sub>	0	m <sub>0</sub> g <sub>6</sub> g <sub>5</sub> g <sub>4</sub> g <sub>3</sub> g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub>	0	0	m <sub>0</sub> g <sub>6</sub> g <sub>5</sub> g <sub>4</sub> g <sub>3</sub> g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> b <sub>4</sub>	0	0	m <sub>0</sub> g <sub>6</sub> g <sub>5</sub> g <sub>4</sub> g <sub>3</sub> g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> b <sub>4</sub>	0	0	44
46	46	MT8		R		0	m <sub>1</sub> m <sub>0</sub> g <sub>6</sub> g <sub>5</sub> g <sub>4</sub> g <sub>3</sub> g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub>	FP	m <sub>1</sub> m <sub>0</sub> g <sub>6</sub> g <sub>5</sub> g <sub>4</sub> g <sub>3</sub> g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub> a <sub>9</sub> a <sub>8</sub> a <sub>7</sub> a <sub>6</sub> a <sub>5</sub> a <sub>4</sub> a <sub>3</sub>	FP	FP	m <sub>1</sub> m <sub>0</sub> g <sub>6</sub> g <sub>5</sub> g <sub>4</sub> g <sub>3</sub> g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub>	FP	FP	m <sub>1</sub> m <sub>0</sub> g <sub>6</sub> g <sub>5</sub> g <sub>4</sub> g <sub>3</sub> g <sub>2</sub> g <sub>1</sub> g <sub>0</sub>	FP	FP	46

fig. 6.8.

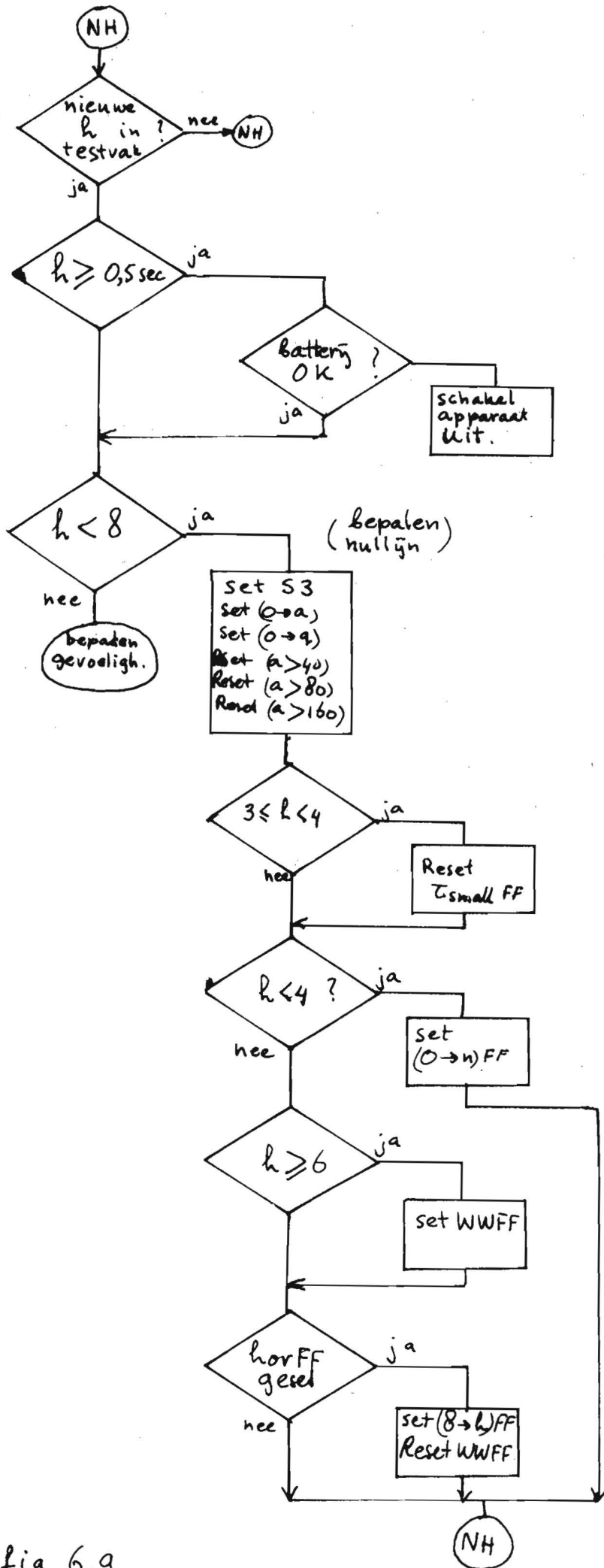


fig 6.9 Bepalen nullijn

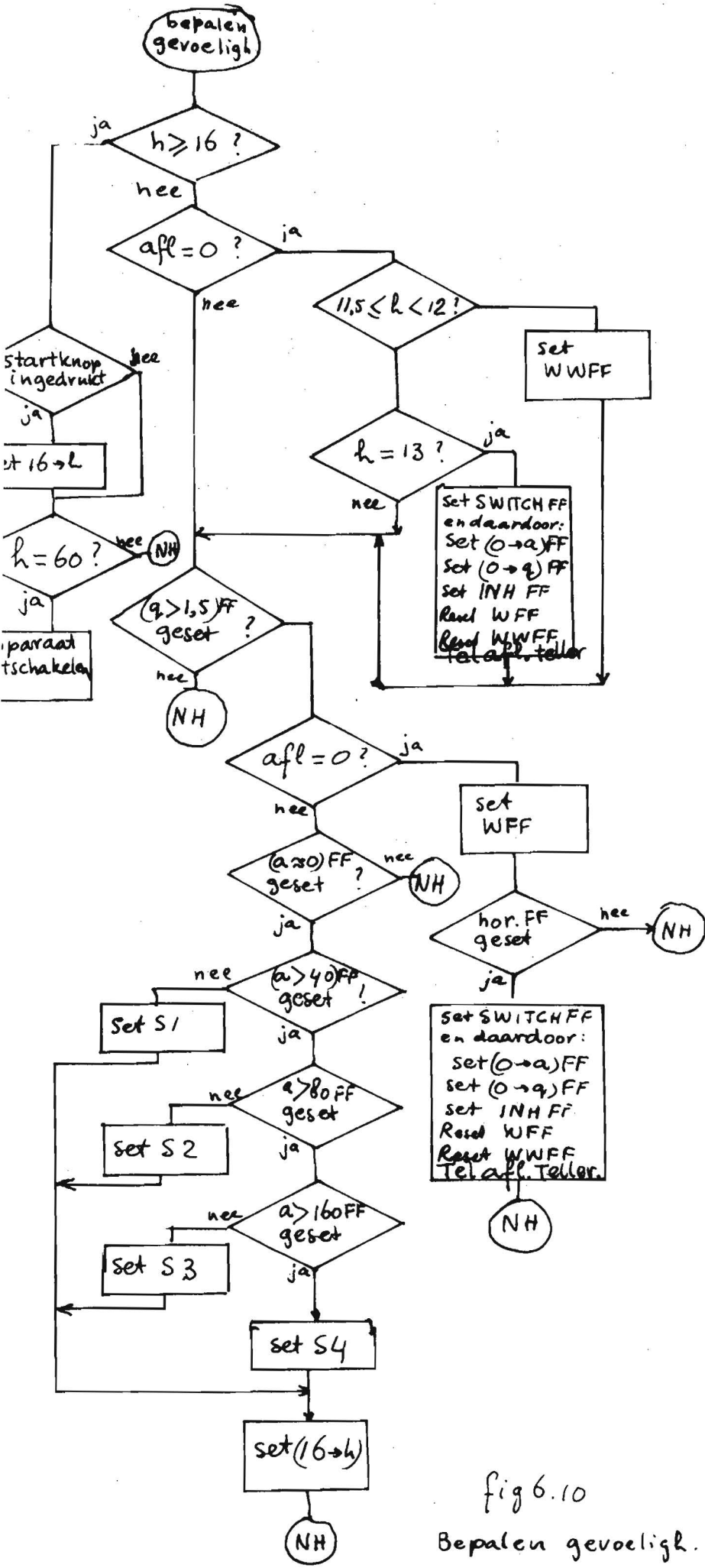


fig 6.10  
Bepalen gevoelig.

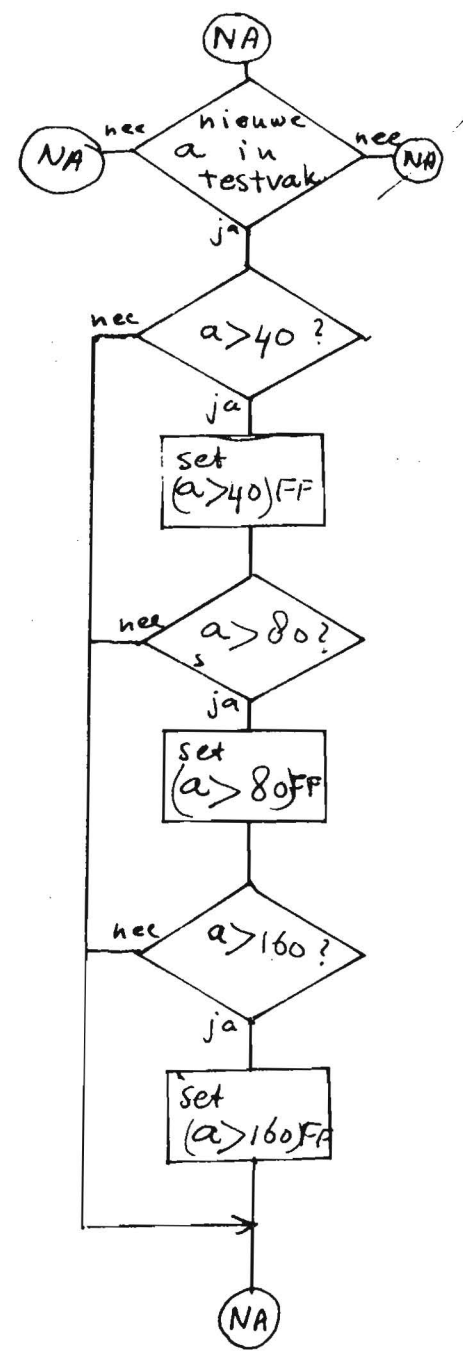


fig 6.11  
Bepalen amplitude

NQ

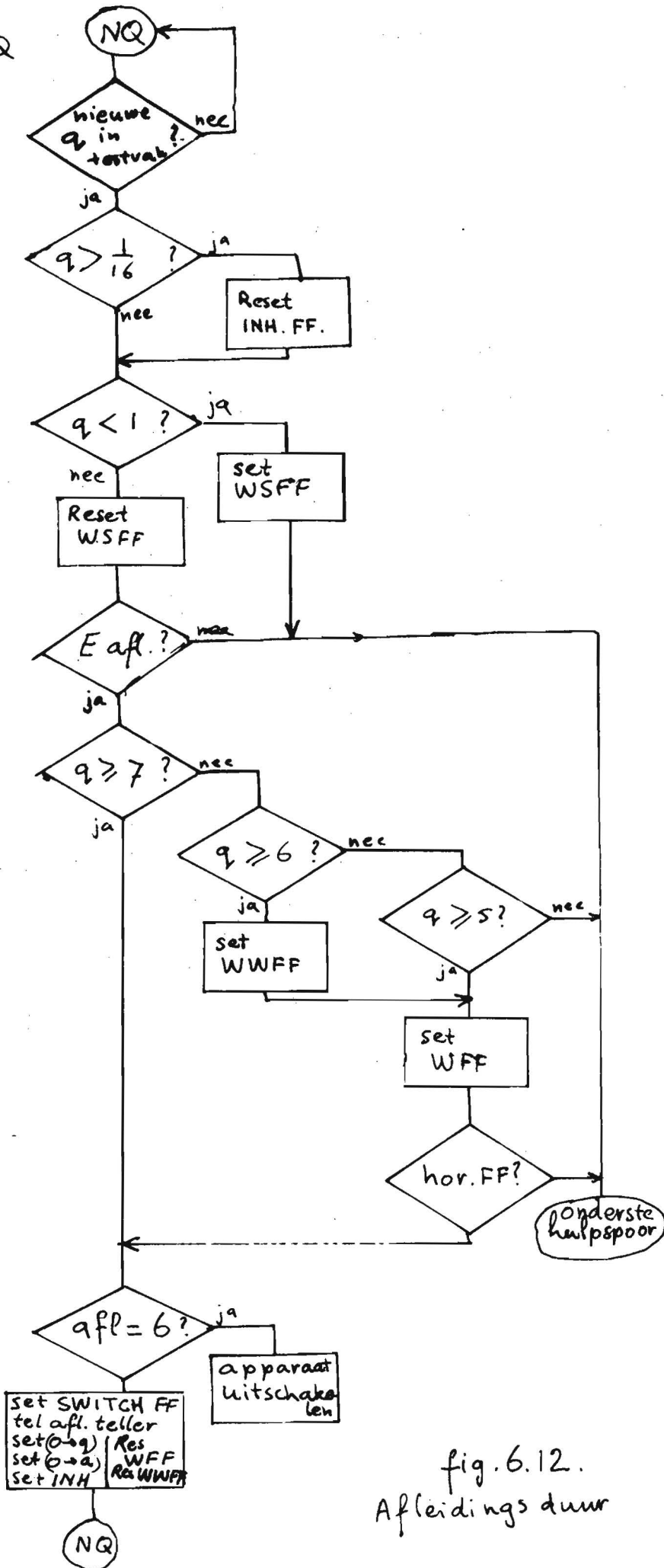


fig. 6.12.  
Afleidings duur

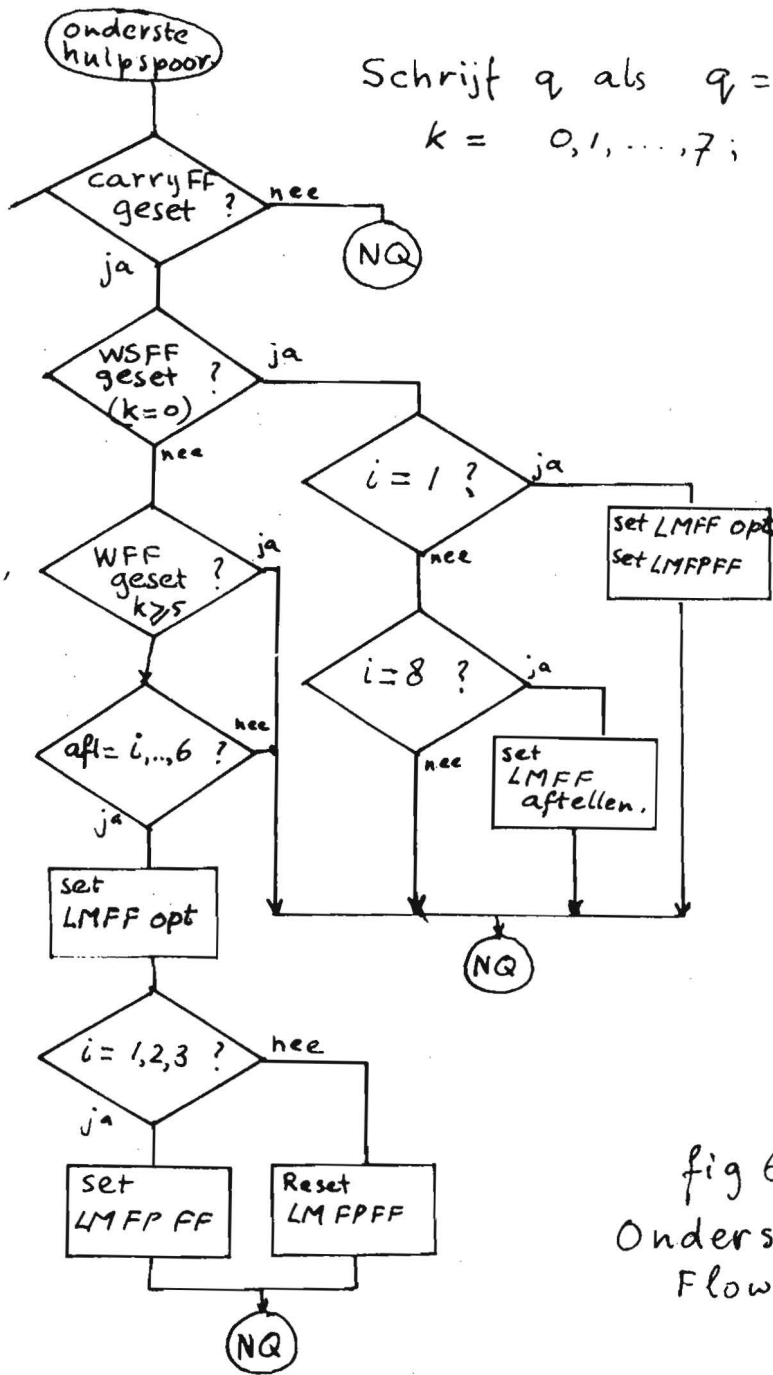


fig 6.13  
 Onderste hulpspoor  
 Flow - diagram voor  $q$

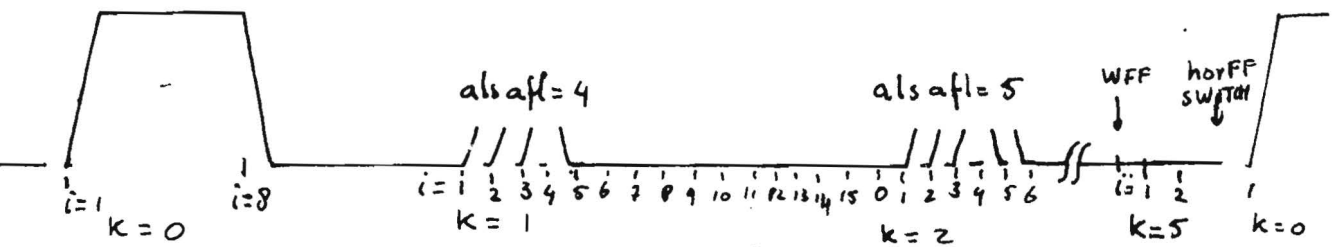


fig 6.14  
 Onderste hulpspoor  
 Registratie

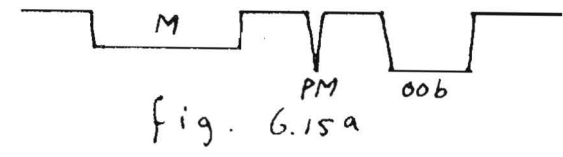
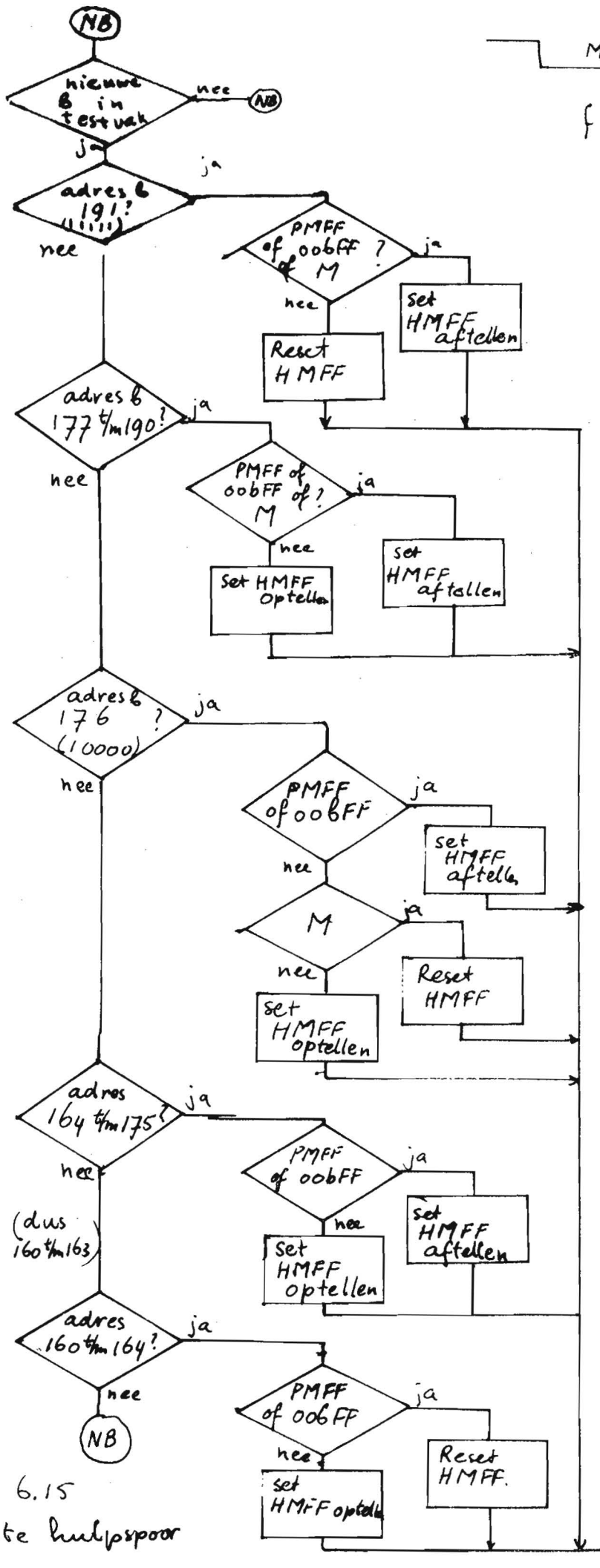


fig 6.15  
Bovenste hulpspoor



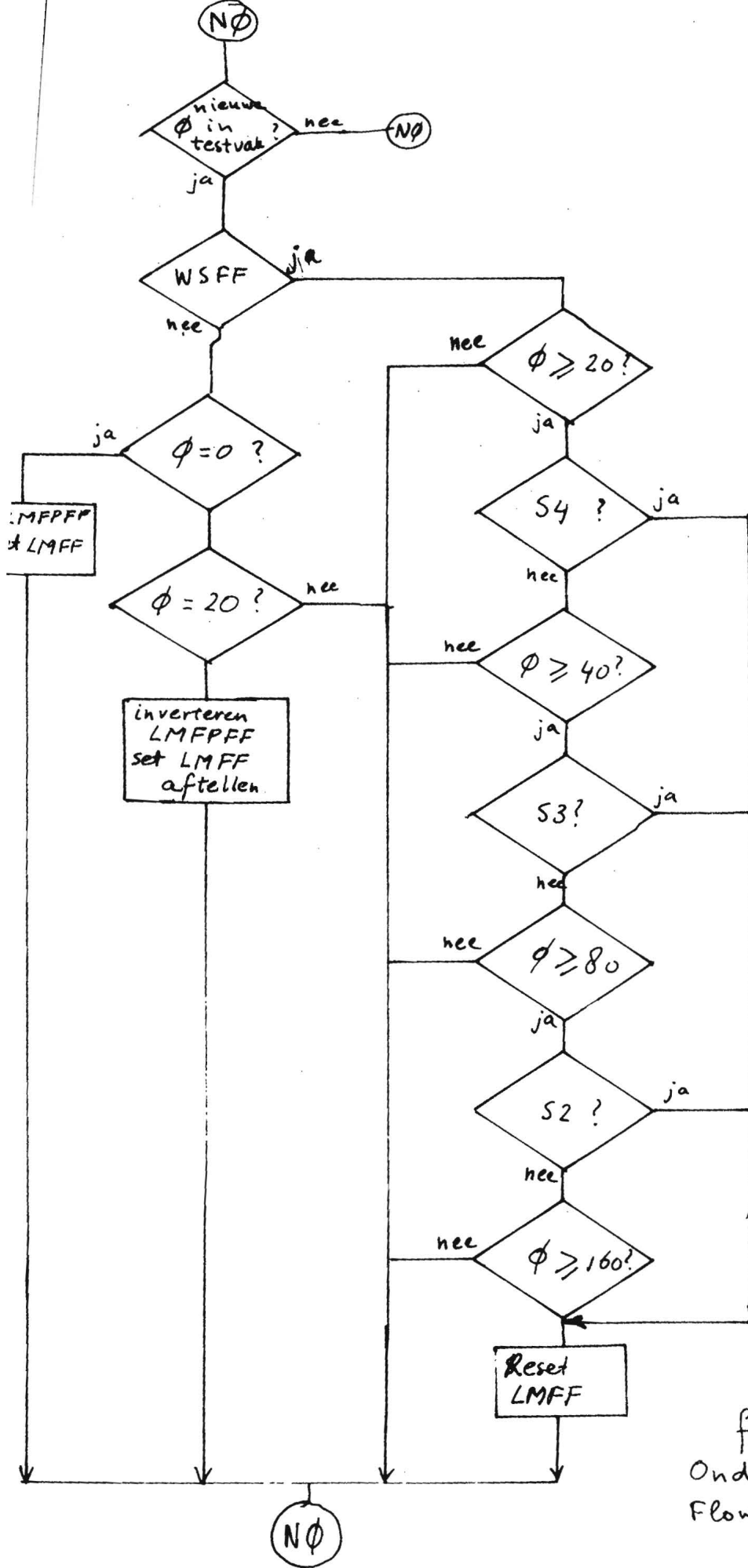


fig. 6.16  
Onderste hulpspoor  
Flow diagram voor  $\phi$

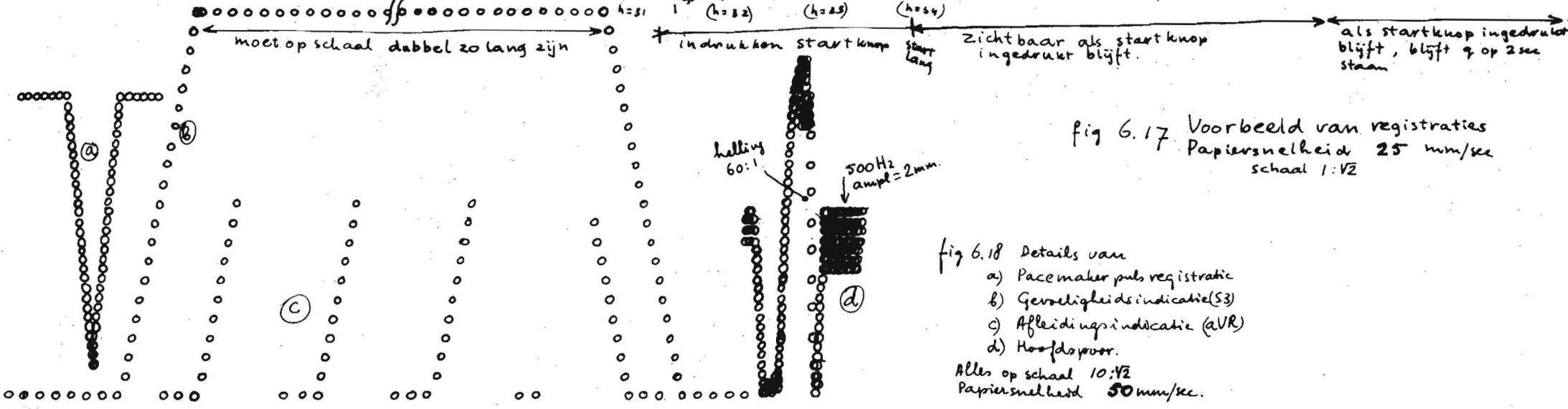
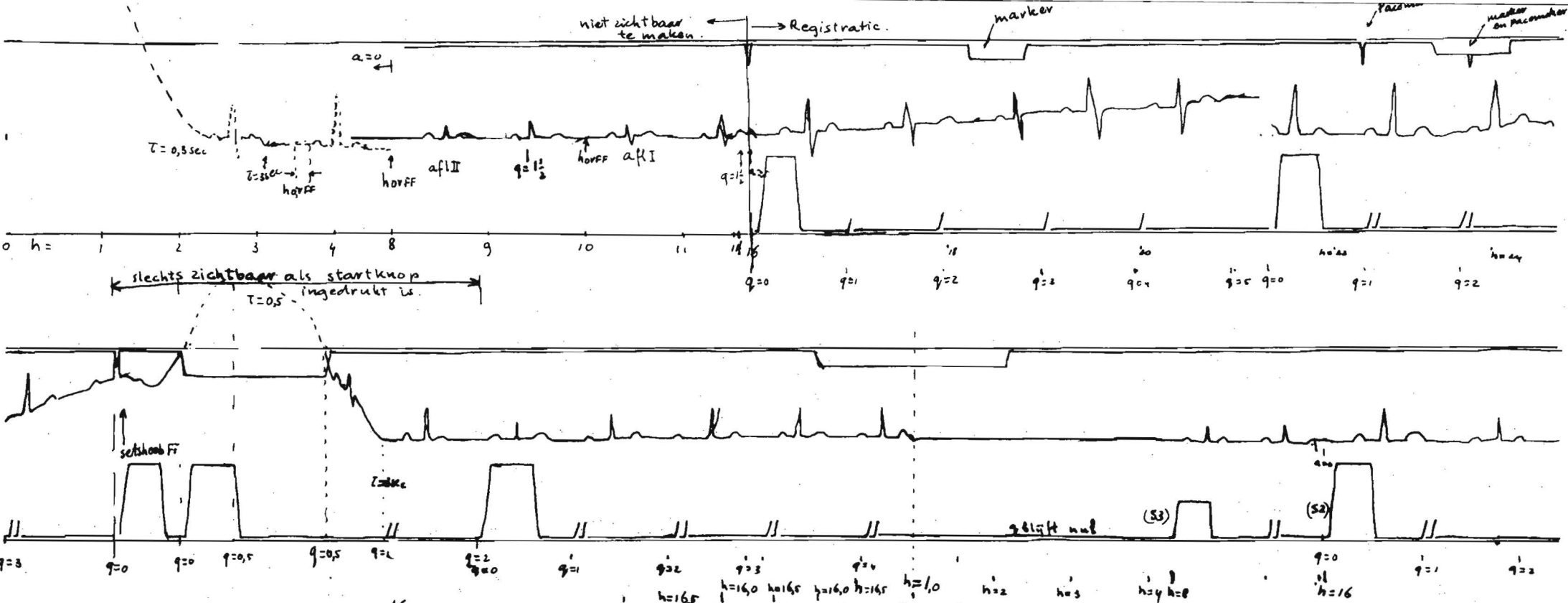


fig 6.17 Voorbeeld van registraties  
 Papiersnelheid 25 mm/sec  
 schaal 1:V2

fig 6.18 Details van  
 a) Pacemaker puls registratie  
 b) Gevoeligheidsindicatie (S3)  
 c) Afleidingsindicatie (aVR)  
 d) Hoofdspoor.  
 Alles op schaal 10:V2  
 Papiersnelheid 50 mm/sec.

## 7. Naschrift.

In dit verslag is het ontwerp van een cardiograaf besproken Ook het waarom van de keuze uit alternatieve mogelijkheden is aan de orde geweest.

Aan het ontwerp van het electronische gedeelte van de cardiograaf, zoals hier besproken is, is door een aantal mensen gewerkt: aan de ADC's door Hr. Lehman en Ir. van den Plassche, de digitale scanning, transmissie en signaalherstel zijn nog niet in detail ontworpen; aan de kamschrijver door Hr. Martin, aan de driverselection en de driverchips is gewerkt door Ir. Overgoor, de detailering van de inputchip is gedaan door Hr. Ehlers. Ir. Albarda is als projectmanager en coördinator opgetreden.

Van het ontwerp is geen prototypebouw en/of computersimulatie uitgevoerd omdat om commerciële redenen de ontwikkeling voorlopig niet wordt gecontinueerd.

8. Litteratuur en Referenties

Prof.Ir. A. Heetman: Collegedictaat Bouwstenen.

Prof.Dr. J.Wemelsfelder : Collegedictaat Technische Economie.

J. Boutkan M.D.: ABC of the EEG.

Drs. Stapper: Collegedictaat Elektrische metingen in de geneeskunde.

C.M. Hart, A. Slob, A. Schmitz, A. van Hout: Design Rules for Injection Logic, Philips Nat.Lab. Reports.

C.M. Hart, A. Slob: Integreerbare Injectielogica ( $I^2L$ )  
Philips Technisch Tijdschrift jaargang 33,  
1973, nr. 3.

Phister: Logical Design of Digital Computers.

R.M.M. Obermann: Disciplines in Combinational and Sequential Circuit Design.

H.A. van Essen: The Logic Design of the Pocket Calculator P210  
Nat.Lab. Technical Note Nr. 154/71.

A. Slob, H.A. v. Essen, C.M. Hart: Aspecten van Zakrekenmachines

H.H. Berger, S.K. Wiedemann: Merged Transistor Logic - A low Cost Bipolar Concept; Journal of Solid State Circuits Oct. 1972.

Donald R. Lewis: Microprocessor or Random Logic?

Electronic Design, nr. 18, Sept. 1, 1973.

A. Lehman, persoonlijke mededelingen (ADC)

C.M. Hart, persoonlijke mededelingen ( $I^2L$ )

A. Slob, persoonlijke mededelingen ( $I^2L$ )

Ir. B.J.M. Overgoor, persoonlijke mededelingen ( $I^2L$ )

A. Appendix AIets over  $I^2L$  logica.

- Voor L.S.I. biedt Integreerbare Injectie Logica ( $I^2L$ ) mooie eigenschappen als: compactheid, zeer lage dissipatie, laag  $\tau D$  product (product van delay time  $\tau$  en dissipatie per poort D).

Alle schema's zijn in  $I^2L$  getkend, omdat het ook de bedoeling is, het apparaat in  $I^2L$  L.S.I. te implementeren.

- In fig. A-1 is het elektrische schema van 2 poorten getekend. Een multi-collector pnp transistor levert de basisstromen voor de beide npn transistoren, deze beide npn transistoren gaan geleiden, tenzij de basisstroom afgevoerd wordt. De beide pnp collectoren hebben stroombron karakteristieken. Als A op een spanning van +0,7 V ligt (logische "1"), dat gebeurt als A niet aangesloten wordt, liggen de punten  $\bar{A}$  op + 0,1 V (logische "0").

Als A op "0" gehouden wordt door de basisstroom uit de pnp naar npn naar aarde af te voeren, trekken de collectors uit  $\bar{A}$  geen stroom, en de punten  $\bar{A}$  zullen op "1" liggen, tenzij ze door andere verbindingen op "0" gelegd worden.

Fig. A-2 en fig. A-3 tonen de opbouw van de configuratie uit fig. A-1, fig. A-4 het symbool van de poortjes.

- Om de werking van de  $I^2L$  poorten duidelijk te maken is uitgegaan van een schema in DTL poortjes, weergegeven in fig. A-6. (NAND's).

Als de uitgangen van poortjes 3 en 4 niet verbonden waren zou 3 de Booleaanse waarde  $(a+b)$  hebben en 4 de waarde  $\bar{c}$ . Door doorverbinden is een AND-poort ontstaan in de draad (wired AND). In fig. A-5 is het schema nogmaals getekend, met in elke DTL NAND gestileerd aangegeven: één of meer ingangsdiodes, evenzoveel ingangen vormend; het knooppunt van die diodes dat de eigenlijke AND-poort vormt, de transistor die als NOT-element werkt.

In fig. A-7 is hetzelfde schema voorgesteld als samenstel van logische bouwstenen (cirkels als NOT elementen, vierkantjes als AND-elementen). De gestippelde rechthoekjes geven de begrenzing van een DTL NAND poortje. Eén AND valt buiten de

poortjes.

- In fig. A-8 is, elektrisch gezien, hetzelfde schema als van fig. A-5 gegeven, echter zijn de diodes in andere hokjes getekend. In fig. A-5 waren de AND-elementen heel goed plaatsbepaald, behalve de wired AND. In fig. A-8 is de AND net zo diffuus als de wired-AND in fig. A-5.

De poortjes in fig. A-8 bestaan uit transistor en diodes.

In fig. A-11 is aangegeven dat dat hetzelfde is als twee transistoren waarvan emitters en bases doorverbonden zijn, en ook als één transistor met 2 collectors, dit is een  $I^2L$  poortje. Het schema van fig. A-8 is in fig. A-9 getekend in  $I^2L$  symbolen.

- In fig. A-10 is de logische betekenis van het schema van fig. A-8 en A-9 weergegeven. Uiteraard is dat gelijk aan fig. A-7, behalve dat een intern (in het poortje) en een extern (bedraad) AND-element uit fig. A-7 in Fig. A-10 zijn samen genomen tot één AND-element.

De fysische "poortjes" zijn nu ook weer aangegeven met gestippelde rechthoeken. Die liggen anders dan in fig. A-7.

- Fig. A-7 en fig. A-10 zijn voorstellingen van abstracte logische functies. Zien we ze echter even als een voorstelling van fysische poortjes en draden, dan is er nog meer verschil tussen beide figuren. In fig. A-7 hebben de draden die een NOT en AND-element verbinden, een potentiaal, overeenkomend met de uitgang van het NOT-element waaraan ze verbonden zijn en in fig. A-10 een potentiaal overeenkomend met de uitgang van de AND waar ze mee verbonden zijn (dit laatste geldt óók voor de wired AND in fig. A-7).

In fig. A-7 hebben draden die van eenzelfde NOT element weggaan allemaal dezelfde potentiaal, in A-10 niet, de uitgangen van de NOT's zijn geleidend in fig. A-7, de AND's zijn geleidend in fig. A-10.

De uitgang van poort 5 in fig. A-6 heeft het logische niveau  $\bar{d}$ ; in fig. A-9 is er van poortje 5 géén collector die niveau  $\bar{d}$  heeft. De 4 doorverbonden collectors van de poortjes 3, 4, 5 en 6 hebben alle 4 hetzelfde niveau:  $\bar{a} \cdot \bar{b} + c + d + e$ , die van 5 en 6 hebben niveau:  $\bar{d} \cdot \bar{e}$ .

In fig. A-6 heeft de uitgang van poortje 3 niet het niveau  $a+b$ , maar  $\bar{c} \cdot (a+b)$ . De extra collector van poortje B in fig. A-9, die nergens aan verbonden is, heeft wél niveau:  $a+b$ .

- In dit verslag is als regel aangehouden, dat de uitgangen van poortjes de naam krijgen die overeenkomt met het niveau dat die uitgangen zouden hebben als ze nergens op aangesloten zouden zijn. B.v. in fig. A-12 hebben de draden die aangegeven zijn met  $\bar{a}$  en  $\bar{b}$  in werkelijkheid een niveau  $\bar{a} \cdot \bar{b}$ .
- In DTL en ook in andere soorten logische bouwstenen hebben de poorten meestal een begrensd aantal ingangen, b.v. 1,2,3,4,8. De uitgang heeft een fan-out van b.v. 8 of 10 d.w.z. er mogen op één uitgang tot maximaal 8 of 10 ingangen van andere poorten worden aangesloten.

Voor  $I^2L$  geldt dat er een willekeurig groot aantal collectors mag worden doorverbonden, het aantal "ingangen van de NAND" is dus niet begrensd. Als dit aantal groot is zijn er wél veel collectorcapaciteiten in parallel geschakeld, als er dan één uitgang schakelt moeten deze capaciteiten worden opgeladen of ontladen; de schakeling wordt traag. Er zijn maximaal 4 collectors per poort, elke collector mag maar op één ingang worden aangesloten, de fan-out is dus 4.

- In fig. A-13 is een standaard D-FF getekend in DTL poorten. In fig. A-14 is dezelfde D-FF in  $I^2L$  poorten getekend, in fig. A-15 nogmaals dezelfde, nu is alleen de tekenwijze anders dan van A-14.

- Stel men heeft 3 poorten op verschillende chips te verbinden. In fig. A-16 is een en ander geschetst. Bij DTL (b.v. op printplaten) moeten er bij het schema van fig.a 2 uitgangen naar één ingang. Men kan daar vier overgangspunten nodig hebben. Met  $I^2L$  is hetzelfde logische schema met 3 overgangspunten te verwezenlijken.

Moet men één uitgang naar 2 verschillende ingangen verbinden dan kan dat in DTL met 3 overgangspunten (fig.c) in  $I^2L$  heeft met er dan 4 nodig (fig.d).

Eén uitgang (gevormd door 2 collectors die samen voldoende stroom kunnen trekken) naar 2 ingangen als in fig. e kan in

$I^2L$  alleen maar op dezelfde chip.

Als de twee poorten waarvan de ingangen aan elkaar liggen niet op dezelfde chip liggen, dan zullen de  $V_{be}$ 's van de npn transistoren niet gelijk zijn.

De ingangen zullen niet beide op "1" gehouden kunnen worden.

Fig. A-16e is dus niet toepasbaar.

-  $I^2L$  is tamelijk langzaam.

Het lage  $\tau D$  product van  $10^{-12}$  J geldt voor stromen  $\leq 2 \mu A$ . Zo is bij  $0,8 \mu A$  basisstroom, wat neerkomt op  $1,4 \mu A$  gemiddeld per poort (er wordt ook stroom geïnjecteerd die niet in een basis komt) bij een spanning van  $0,7$  V, dus een dissipatie van  $1 \mu W$ , de delay time  $\tau$  :  $1 \mu sec$ ,  $\tau D = 10^{-12}$  J. Bij  $I_B$  van meer dan  $3 \mu A$  wordt  $\tau$  afhankelijk van de collectorpositie, de langzaamste bereikt een minimale  $\tau$  van ongeveer  $100$  nsec bij  $50 \mu A$ , de snelste  $20$  nsec bij  $150 \mu A$ .



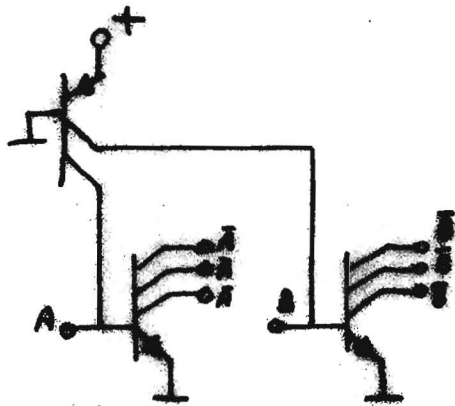


fig A-1

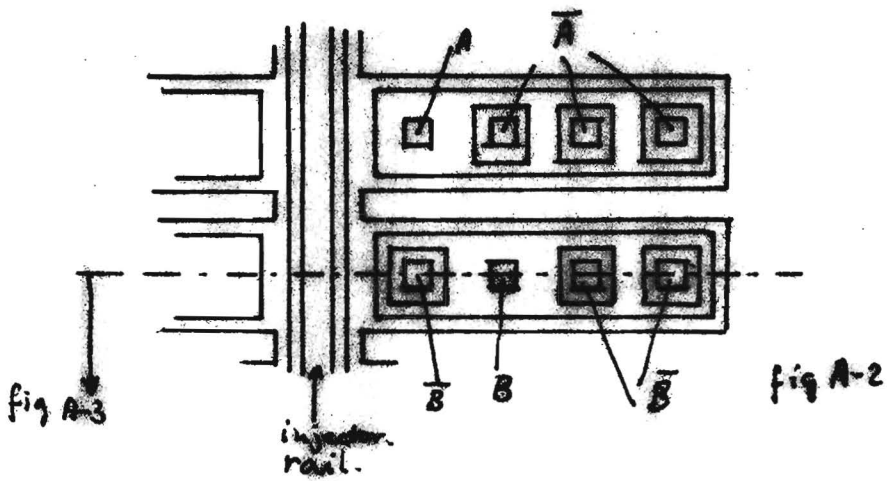
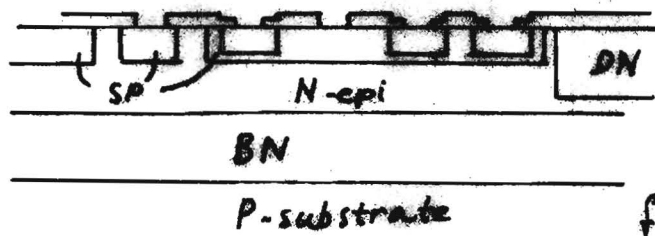


fig A-3

fig A-2



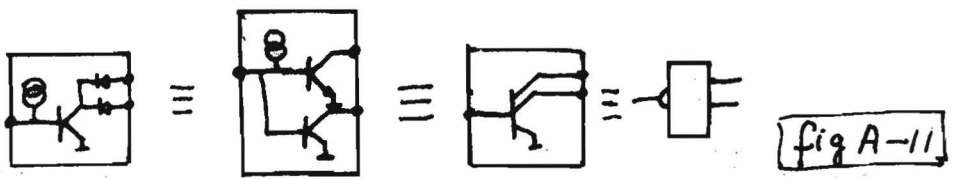
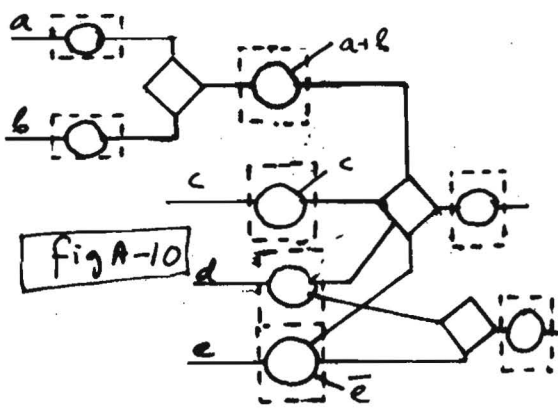
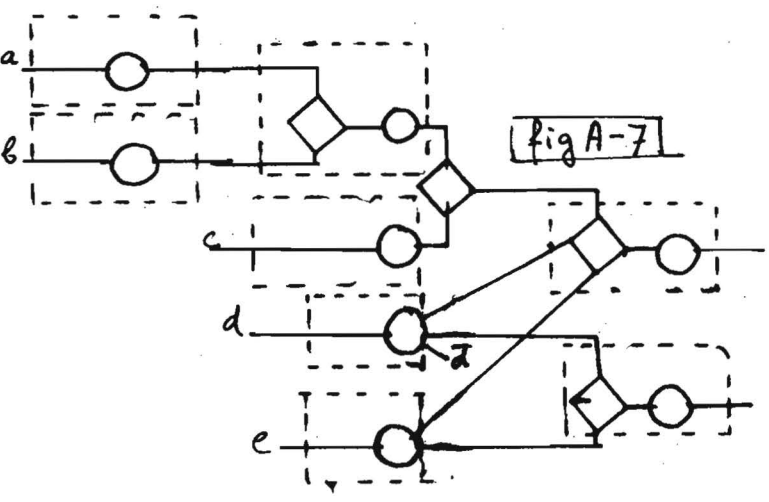
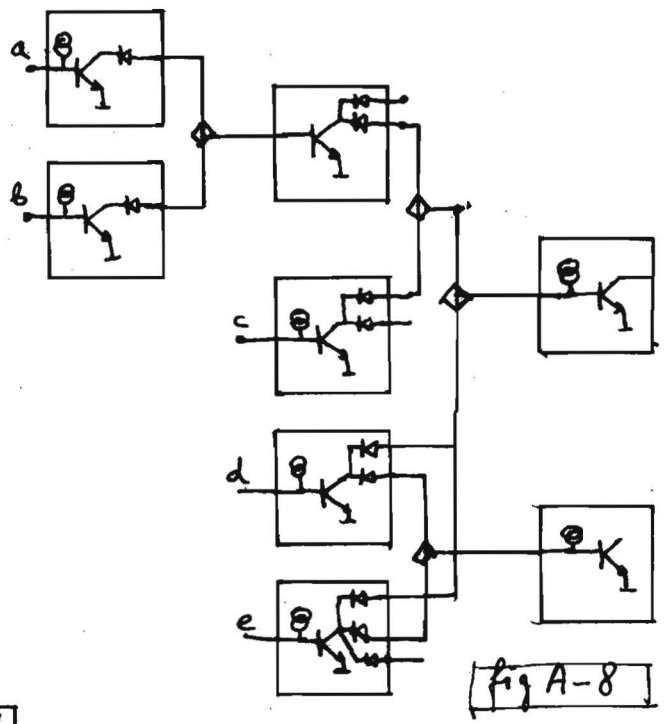
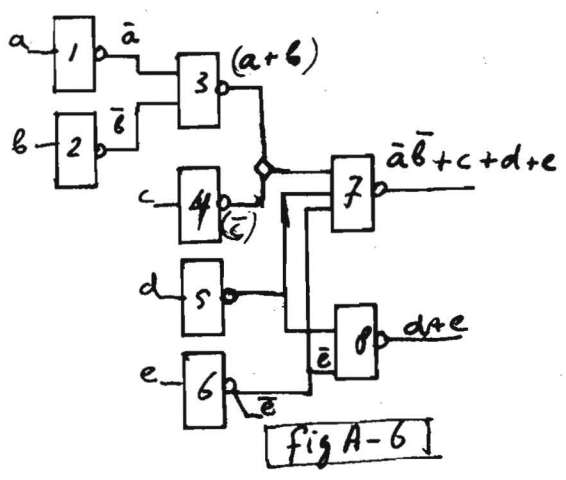
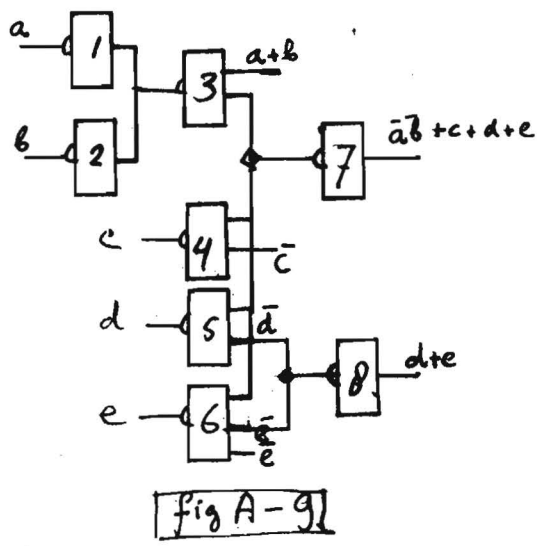
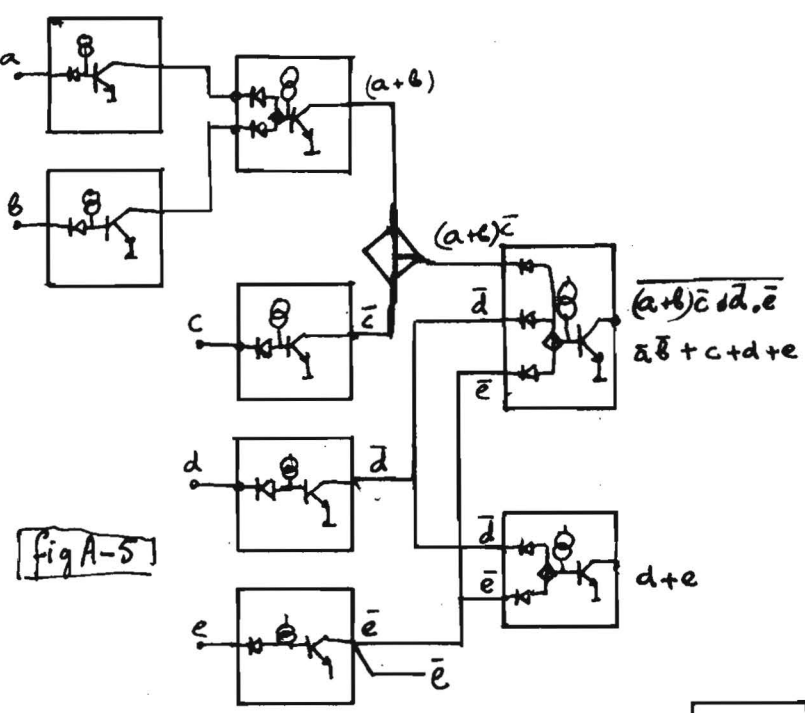
BN

P-substrate

fig A-3



fig A-4



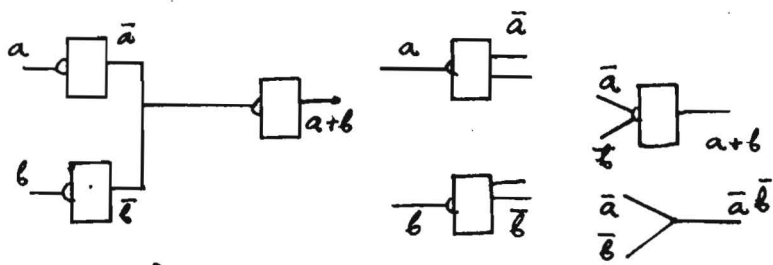
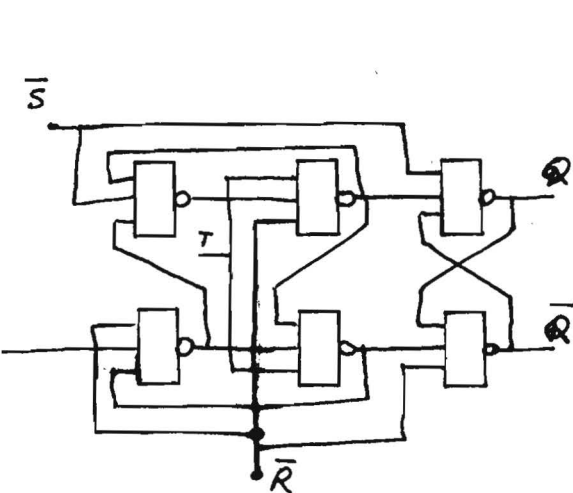
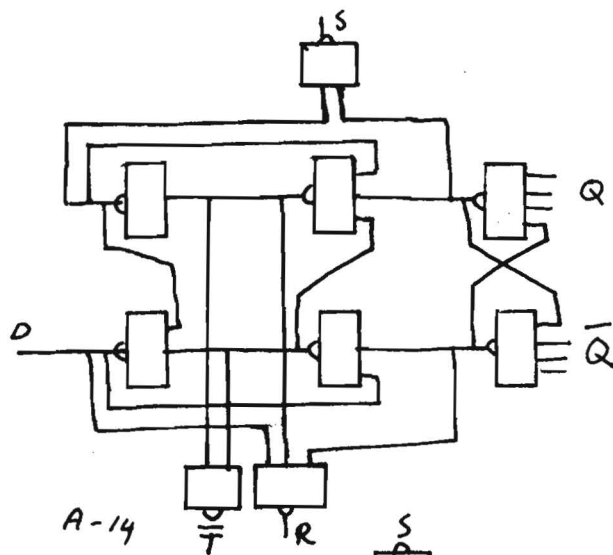


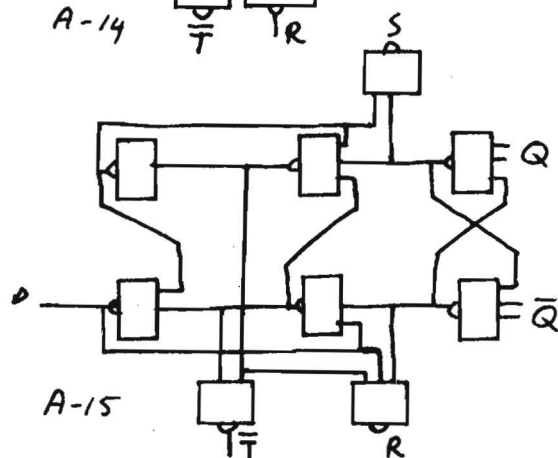
fig A-12.



A-13



A-14



A-15

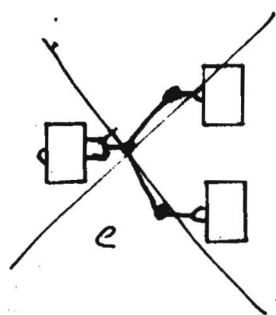
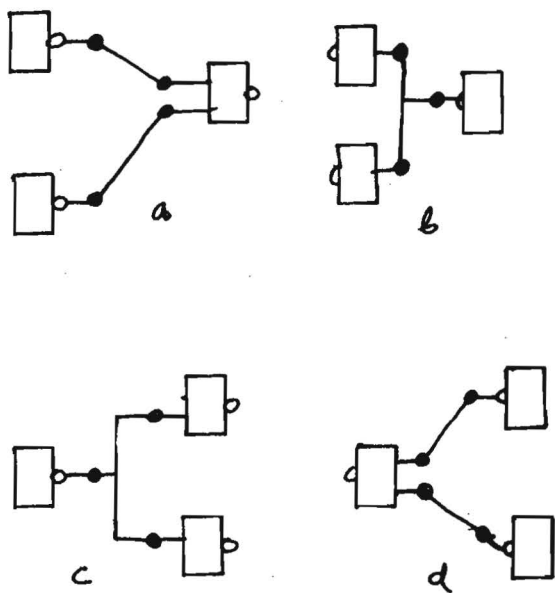


fig A-16

B. Appendix BEconomische aspecten

Economische aspecten van een electronisch ontwerp omvatten:

- Verrekenen investeringen.
- Keuze vaste versus variabele kosten afhankelijk van seriegroottes
- economisch optimale chippartitie.

B1. Verrekening investeringen

In het volgende is

$i$  de rentevoet of rentabiliteitsfractie.

$P_n$  een bedrag na  $n$  jaar

$S_n$  som van een aantal bedragen na  $n$  jaar.

$R$  een jaarlijks (vast) bedrag.

- Een bedrag  $P_0$  nu is over  $n$  jaar  $P_n = P_0 (1+i)^n$  waard. Een bedrag  $P_n$  over  $n$  jaar is nu  $P_0 = P_n / (1+i)^n$  waard, het bedrag  $P_n$  is door  $P_0$  tot zijn huidige waarde gereduceerd,  $P_0$  is de kontante waarde van  $P_n$ .
- Een serie vaste betalingen ter grootte  $R$ , eindigend over  $l$  jaar gedurende  $n$  jaar heeft een waarde

$$S_l = R \{ (1+i)^{n-1} + (1+i)^{n-2} + \dots + 1 \} = \frac{R \{ (1+i)^n - 1 \}}{i}$$

Voor de kontante waarde van deze serie betalingen vindt men

$$\bullet S_0 = \frac{S_l}{(1+i)^l} = \frac{R \{ (1+i)^n - 1 \}}{i (1+i)^l} \quad (\text{door } S_l \text{ te reduceren})$$

$$\bullet S_0 = \frac{R}{(1+i)^{l-n+1}} + \frac{R}{(1+i)^{l-n+2}} + \dots + \frac{R}{(1+i)^{l-n+n}} =$$

$$= \frac{R}{(1+i)^{l-n+1}} \left\{ \frac{\frac{1}{(1+i)^n} - 1}{\frac{1}{1+i} - 1} \right\} = \frac{R}{(1+i)^l} \left\{ \frac{(1+i)^n - 1}{i} \right\}$$

(door elke  $R$  te reduceren)

- Omgekeerd, om een bedrag  $S_0$  door een serie betalingen  $R$  te kunnen opbrengen, gedurende  $n$  jaarlijkse betalingen, eindigend over 1 jaar moet  $R$  voldoen aan:

$$R = \frac{S_0 \cdot i \cdot (1+i)^l}{(1+i)^n - 1}$$

Hierin is  $\frac{i(1+i)^l}{(1+i)^n - 1}$  een annuïteitsfactor, die

aangeeft met welke fractie jaarlijks moet worden afgeschreven. Meestal wordt met de annuïteitsfactor bovenstaande factor bedoeld, waarin dan  $l = n$ , dus de  $k$ -de betaling vindt plaats  $k$  jaar na de datum waarop  $S_0$  betrokken is.

Het bovenstaande kunnen we praktisch toepassen op investeringsbeslissingen. In onderstaande tabel is de genoemde annuïteitsformule in getalwaarden gegeven. De getallen in de tabel geven de fracties van het geïnvesteerde bedrag die jaarlijk moeten worden terugverdiend om 14% rentabiliteit te krijgen.  $n$  is het aantal jaren dat terugverdiend wordt,  $l-n$  is het aantal jaren tussen investeren en beginnen terug te verdienen. 14% is de rentabiliteitsnorm die door N.V. Philips als voorwaarde voor investeren wordt gehanteerd.

$n \backslash l-n$	0 (x1)	1 (x1,14)	2 (x1,3)	4 (x1,69)	10 (x3,70)
3	0,43	0,49	0,56	0,74	1,63
4	0,34	0,39	0,45	0,58	1,28
5	0,29	0,33	0,37	0,49	1,07
7	0,23	0,26	0,30	0,39	0,86
10	0,19	0,22	0,25	0,32	0,71
15	0,16	0,18	0,21	0,27	0,60
20	0,15	0,17	0,19	0,25	0,56
$\infty$	0,14	0,16	0,18	0,24	0,52

Toegespitst op wat er in B-2 nog behandeld wordt is de belangrijkste conclusie: Een investering nu, m.n. in ontwikkelkosten, die over een jaar vruchten begint af te werpen en dat gedurende 5 jaar konstant blijft duren, moet gedurende die 5 jaar niet  $1/5$ , maar  $1/3$  van het geïnvesteerde bedrag opleveren.

Als de tussenruimte niet 1 jaar, maar  $2\frac{1}{2}$  jaar is, moet per jaar  $2/5$  worden terugverdiend.

## B.2. Keuze I<sup>2</sup>L versus microprocessor

B.2.1. Deze keuze komt neer op kiezen tussen vaste en variabele kosten. De keuze heeft uitsluitend betrekking op de uitvoering van de verwerkingselectronica.

De alternatieven zijn:

- Microprocessor Intel (?)

Geschatte variabele kosten per apparaat: f 800,-

Geschatte ontwikkelkosten f 30.000,-

- LSI in I<sup>2</sup>L. Geschat: 6 chips à f 10,- = f 60,- aan variabele kosten. De schatting is nu, nu bekend is dat er 3 chips gemaakt worden, nog: f 60,-.

De ontwikkelkosten (ontwerp, lay-out, maskers etc).

werden geschat op f 450.000,- nu op een wat lager bedrag n.l. ongeveer f 360.000,-.

In beide gevallen rekenen we met een 5 jarige productie periode, die een jaar na het uitgeven van het geïnvesteerde bedrag zal aanlopen (een gedeelte van dat bedrag zal al eerder worden uitgegeven, een gedeelte later).

Er moet dus (zie tabel in B1) een derde van de investeringen per jaar worden terugverdiend.

In beide alternatieven worden nu (vaste kosten op jaarbasis)

- MP, variabel f 800,-            vast f 10.000,-

- LSI, variabel f 60,-            vast f 120.000,-

De kosten van deze beide alternatieven worden grafisch uitgezet in fig. B-1.

In vol-getrokken lijnen zijn uitgezet, alles als functie van de verkochte aantallen per jaar:

- Vaste kosten per stuk omgeslagen,
  - Variabele kosten per stuk,
  - Totaal van beide,
- zowel voor  $I^2L$  als voor microprocessors.

Hierbij is aangenomen dat de genoemde bedragen niet worden beïnvloed door de aantallen per jaar. Door suboptimalisatie echter zal die beïnvloeding wèl bestaan. Bij grote aantallen, b.v. 100.000 per jaar, zouden de ontwikkelkosten van f 360.000 best tot f 600.000 verhoogd mogen worden (per apparaat: van f 1,20 tot f 2,-), àls daarmee de variabele kosten van f 60,- zouden kunnen worden gedrukt tot f 50,- en dit is, gezien de opbouw van de chipprijs, vast wel mogelijk.

Omgekeerd zou het bij kleine aantallen b.v. 100 per jaar lonend zijn het ontwerp zo snel mogelijk af te hebben, waardoor de variabele kosten tot b.v. f 100 of f 200 zouden oplopen wat dan f 4000 of f 14.000 extra per jaar zou kosten, àls dat de ontwikkelkosten van f 360.000 naar f 240.000 terug zou brengen (per jaar van f 120.000 naar f 80.000).

Zo kunnen de 3 getrokken lijnen die de vaste, variabele en totale kosten voor  $I^2L$  voorstellen, worden vervangen door de 3 gestippelde lijnen, die iets lager liggen.

- B.2.2. Uit de figuur volgt, dat voor de verwachte aantallen van 5000 per jaar, de microprocessor geen kans maakt.  $I^2L$  komt op f 85,- de microprocessor nog steeds boven f 800,-.
- Het punt waarbij beide methodes even duur zijn, ligt bij 150 stuks per jaar en f 860,-. Als de correctie voor aantallen-afhankelijk-ontwerp wordt toegepast, bij 100 stuks per jaar en f 900,-.
  - Als het geschatte aantal verkoopbare apparaten per jaar

150 stuks zou zijn, en als dit aantal binnen ruime grenzen onafhankelijk van de prijs zou zijn wat het geval zou zijn als de rest van het apparaat veel meer zou kosten dan de electronica zodat voor de electronica vraag-prijs-kurve a geldt, zou dus echt de keuze tussen  $I^2L$  en microprocessor gemaakt moeten worden. Beide mogelijkheden zijn niet geheel gelijkwaardig, ook niet als de schattingen van vaste en variabele kosten precies goed zouden zijn.

De prijs van f 860,- bij 150 stuks per jaar bestaat bij MP uit f 800,- variabele kosten en f 60,- vaste kosten, bij  $I^2L$  uit f 60,- variabele kosten en f 800,- vaste kosten (d.w.z. de vaste en variabele kosten naar stuksprijs gereduceerd) (dat de bedragen gelijk zijn is toevallig). Als men het geschatte aantal van 150 stuks per jaar niet zou halen, dan zou dat voor  $I^2L$  betekenen dat bij 149 stuks f 800,- aan vaste kosten niet vergoed zullen worden en bij 151 stuks f 800,- méér aan vaste kosten vergoeding wordt ontvangen. Voor MP moeten de bedragen van f 800,- worden vervangen door f 60,-. Men maakt dezelfde gok, maar met aanmerkelijk kleinere inzet.

- Als het verkoopbare aantal niet onafhankelijk van de prijs van de electronica is, zal b.v. vraag-prijs kromme b gelden, d.w.z. bij groter te verkopen aantal moet de prijs lager liggen en bij hogere prijs daalt het verkoopbare aantal. Onder deze omstandigheden zal men niet de keuze hoeven te maken van wat te doen bij 150 stuks per jaar. Immers, de kurve die de kosten per stuk als functie van het jaarlijks verkoopbare aantal aangeeft, heeft een knik, een discontinue afgeleide; de opbrengstkurve heeft die knik niet, het verschil tussen beide heeft een minimum, althans de afgeleide heeft een minimum. De willekeurig in de figuur B-1 getrokken curve b zou met de berekende kostencurves een netto-opbrengst geven zoals links onder is aangegeven. Zowel de opbrengsten per stuk als in totaal geven duidelijk geen optimum bij 150 stuks. Het zou dom zijn, het aantal te verkopen apparaten een streefwaarde van 150 te geven.



- Juist in het geval dat men het punt van gelijke prijs moet weten, dient men er op verdacht te zijn dat er mogelijk nog een tussen vorm kan zijn in het ontwerp, een tussen vorm tussen enerzijds lage ontwikkelkosten en hoge variabele kosten en anderzijds hoge ontwikkelkosten en lage variabele kosten. Een tussen vorm met lagere vaste kosten dan  $I^2L$  en lagere variabele kosten dan microprocessors is bij 150 stuks per jaar goedkoper dan de beide anderen. In fig. B-2 is dat geschetst. Zowel printplaten met TTL SSI en MSI als Universele logische modules (dit zijn v.b. MSI chips waar één masker, n.l. die voor de aluminum verbindingen, door de individuele klant worden bepaald) komen in aanmerking om doorgerekend te worden.
- Voor elke denkbare mogelijkheid kan men een kromme opgeven die het verband tussen aantallen per jaar en prijs per stuk aangeeft. In fig. B-3 is behalve voor microprocessors (kromme A) en  $I^2L$  (kromme B) ook voor een aantal andere mogelijkheden een arbitraire kromme getekend. Als ze zouden liggen als aangegeven, zou methode A alleen tussen 11 en 12 stuks per jaar de goedkoopste zijn, en methode C zou nooit de goedkoopste zijn. De ligging van elke kromme is afhankelijk van het te ontwerpen apparaat, om de juiste ligging te weten zou men in elke methode al een tamelijk compleet ontwerp moeten maken, en dit zou de ligging al weer veranderen (door toevoegen van ontwerpkosten). Daarom zal vooral bij kleine aantallen, de ruwe schatting waar de krommen zullen liggen, de enige mogelijkheid zijn tot een optimale keuze te komen; het zeker weten heeft verlies van optimaliteit tengevolge.
- Lange ontwikkeltijden kunnen als nadeel hebben dat het apparaat te laat op de markt verschijnt en daardoor verlies aan inkomen en marktpositie veroorzaakt. Het kan soms beter zijn een apparaat iets duurder te moeten verkopen dan strikt noodzakelijk is, dan niets te verkopen.

Met deze, in het algemeen moeilijk te bepalen maar niet te verwaarlozen effecten is in het voorgaande geen rekening gehouden.

### B-3 Economisch optimale chip grootte

Om over economisch optimale chipgrootte iets te kunnen zeggen bekijken we eerst de prijsopbouw van de fabricage en de opbrengst. Nota bene: Alle in het volgende genoemde bedragen dienen slechts om te illustreren hoe de chippartitie wordt beïnvloed door de prijsopbouw. De bedragen zijn slechts in grootte orde juist.

#### B.3.1. Definieer t.b.v. de prijsopbouw

a = seriegrootte

b = voormetopbrengst

c = visuele inspectie opbrengst

d = kras en breek opbrengst

e = eindmeetopbrengst

g = totaal aantal te fabriceren kristallen

h = totaal aantal te fabriceren plakken

i = kosten per kristal

j = kosten van het voormeten

k = kosten van de visuele inspectie

l = kosten krassen en breken

m = kosten van montage en omhulling

n = kosten voor eindmeting

y = inverse van overall opbrengst

} opbrengsten in fracties

Dan is:

$$y = \frac{1}{b} \times \frac{1}{c} \times \frac{1}{d} \times \frac{1}{e} \times \frac{1}{f}$$

g = a.y.

h =  $\frac{g \cdot A}{2000}$  naar boven afgerond op gehele veelvoud van 12.

i =  $\frac{f \cdot 120 \times h}{a}$  (f 120,- per plak)

j = (bedrag afhankelijk soort chip).y. + vast bedrag per serie

k = f 0,03.y.b. + vast bedrag per serie.

$l = f \begin{cases} 10 \text{ per plak als } h > 24 \\ 15 \text{ per plak als } h \leq 24 \end{cases} \quad \left. \vphantom{l = f} \right\} \text{ per kristal } l=f10 \times$

$m = \text{bedrag per bolletje} + \text{arbeidsloon}$

$n = \text{vast bedrag per serie} + \frac{f 0,15}{f}$

Totale kosten te verhogen met 33% voor kwaliteitslab, fabricagehulp enz.

Vereenvoudigingen: De vaste bedragen per serie worden verwaarloosd want deze zijn groote-orde kleiner dan de ontwikkelkosten.

Voor de toepassingen in de cardiograaf, waar de chips niet worden ingebouwd in omhullingen, worden montagekosten  $m$  en eindmeetkosten niet gezien als chipkosten en hier verwaarloosd.

$c, d, e, f$  zijn elk ongeveer 90%,  $\frac{1}{cxdxexf}$  wordt afgerond op 1,4.

De serie wordt geacht voldoende groot te zijn om de gehele veelvouden van 12 voor het aantal plakken en ook het juiste aantal chips geen aandacht geven.

De kosten van voormeten, visuele inspectie, krassen en breken worden per plak berekend:

Fabricagekosten (i) per plak	f 120,-
Voormeetkosten (j) per plak	f 20,- à f 140,-
voor regelmatige tot wilde structuren	
visuele inspectie (k)	f 5,-
kras- en breek (l)	f 10,-

Voor wilde logica: f 272 per plak

Voor regelmatige structuren: f 155 per plak

(Het testen van b.v. de Memory-chip met alleen shiftregisters is veel eenvoudiger dan b.v. de control chip).

Er moet nog een toeslag van 33% opgeteld worden.

Wilde logica: f 367,- per plak.

Regelmatige structuren f 207,- per plak.

De prijs van een chip bedraagt:

$$S \times \frac{A}{2000} \times y = S \times \frac{A}{2000} \times \frac{1,4}{8} = \frac{S}{1400} \times \frac{A}{8}$$

Waarin A de oppervlakte van de chip en b de voormeetopbrengst.

S is de prijs per plak van 2000 mm<sup>2</sup>.

Kristalfouten treden op dezelfde wijze ruimtelijk op als in Poisson processen de gebeurtenissen in de tijd.

De kans op een chip met oppervlakte A zonder fouten is dan te vergelijken met de kans dat een gebeurtenis in een bepaalde tijdsinterval niet optreedt.

De opbrengst b wordt bepaald door

$$b = 0,92 \times 2^{-A/uca} \quad , \quad 1/b = \frac{2^{+A/uca}}{0,92} = K$$

UCA = Unit chip area. Dit is het chip oppervlak dat 50% van 92% opbrengst geeft.

Prijs per chip wordt:

$$P = \frac{S}{1400} \times \frac{A}{b} = \frac{S}{1400} \times A \times \frac{2^{A/uca}}{0,92}$$

$$\frac{\partial P}{\partial A} = \frac{S}{1400} \times \left\{ \frac{2^{A/uca}}{0,92} + \frac{A \cdot 2^{A/uca} \cdot \ln 2}{0,92 \cdot uca} \right\}$$

$$= \frac{S}{1400} \times \left\{ \frac{2^{A/uca}}{0,92} + \frac{0,7}{uca} \cdot A \cdot \frac{2^{A/uca}}{0,92} \right\}$$

$$= \frac{S}{1400} \times \left\{ K + \frac{0,7}{uca} \cdot A \cdot K \right\}$$

$K = 1/b$  is het aantal  $\text{mm}^2$  dat geprocessed moet worden voor elke benodigde  $\text{mm}^2$ , allen rekeninghoudend met de voormeetuitval. In de volgende tabel is voor verschillende waarden van A, en voor verschillende waarden van UCA opgenomen:

- de factor  $K = 1/b$

- de factor  $AK = 1/b$ , d.i. het aantal  $\text{mm}^2$  dat geprocessed moet worden voor elke benodigde chip, alleen rekening houdend met voormeetuitval.

-  $\frac{\partial(AK)}{\partial A} = \left\{ K + \frac{0,7}{uca} K \cdot A \right\}$ , het aantal  $\text{mm}^2$  dat extra moet worden geprocessed per  $\text{mm}^2$  uitbreiding van de chip, alleen rekening houdend met voormeetuitval. (alle ander uitval is al meegerekend in de factor  $S/1400$  want voor S wordt niet 1400, maar 2000  $\text{mm}^2$  geleverd.)



In fig. B-4 is de factor A/b uitgezet, voor de verschillende waarden van UCA.

Op dit ogenblik is de UCA =  $3,1 \text{ mm}^2$ . Het is goed in te denken dat een verbetering van het proces de UCA tot  $4 \text{ mm}^2$  zal opvoeren, en in nog verdere toekomst naar  $5 \text{ mm}^2$ .

De figuur is als volgt te lezen:

Een chip van  $10 \text{ mm}^2$  heeft bij een UCA van  $3,1 \text{ mm}^2$  een prijs van 100 (vertikale as) x  $\frac{100}{1400}$ . Er moet  $\frac{100}{1400}$  van een plak voor worden geprocessed. De oppervlaktengegeven langs de horizontale as stellen effectieve oppervlakten voor, voor als het lay-out een goed gebruik van de oppervlakte maakt, d.w.z. als de lay-out met de hand gemaakt is.

We mogen dan rekenen met 100 poorten per  $\text{mm}^2$  voor regelmatige structuren, 70 à 75 voor wilde logica.

Als CAD (computer aided design) wordt toegepast moet met een extra benodigd oppervlak gerekend worden, die echter de opbrengst niet nadelig beïnvloed.

De redenering wordt als volgt: voor 750 poorten zijn 10 à 11  $\text{mm}^2$  nodig als de lay-out met de hand wordt gemaakt en daarvoor moet volgens fig. B-3  $\frac{100 \text{ à } 140}{1400}$  van een plak geprocessed worden en de prijs van een chip wordt  $\frac{100 \text{ à } 140}{1400}$  x S. Wordt CAD toegepast dan wordt de chipoppervlakte de te processen plakken en de prijs ong. 20% hoger, dus ongeveer  $125 \text{ mm}^2$ ,  $\frac{145}{1400}$  x plak per chip te processen,  $\frac{145}{1400}$  x S als prijs.

### B.3.2. Toepassing van de prijsopbouw op de chippartitie

Als alles van de verwerkingselectronica van de cardiograaf op één chip opgebouwd had moeten worden, was daarvoor misschien  $15 \text{ mm}^2$  nodig geweest, en een prijs van  $\frac{480}{1400}$  S.

Nu is een Memory chip afgesplitst met ongeveer 400 poorten, regelmatige structuur, met 4 à 5  $\text{mm}^2$  en ongeveer  $\frac{15}{1400}$  S kost en een Input chip van ongeveer 450 poorten, bijna 7  $\text{mm}^2$ , die ongeveer  $\frac{35}{1400}$  S kost. De rest, de control chip kost ongeveer  $10,5 \text{ mm}^2$ , ofwel ongeveer 120 S. Totaal  $\frac{165}{1400}$  S voor  $21,5 \text{ mm}^2$ .

In prijzen uitgedrukt:

Memory Chip	:	$\frac{15}{1400}$	x S	S = f 207,-	=	f 4,-
Input Chip	:	$\frac{35}{1400}$	x S	S = f 367,-	=	f 10,-
Control Chip	:	$\frac{120}{1400}$	x S	S = f 367,-	=	f 32,-

Wegens CAD kan de input chip en de control chip nog wat extra oppervlak kosten: resp. f 12,- en f 40,-, wat het totaal op ongeveer f 60,- brengt.

- Overwogen is mg de control chip op te splitsen in kleinere chips. Immers, bij de huidige stand van techniek (zie grafiek voor UCA =  $3,1 \text{ mm}^2$ ) is één chip van  $10 \text{ mm}^2$  net zo duur als 2 stuks van  $8 \text{ mm}^2$ , althans in de fabricage. Echter wat er op de control chip zit vormt een geheel, van de hele verwerkingselectronica ontbreken alleen die stukken (op memory chip en input chip) die slechts met zeer weinig verbindingen met die control chip verbonden zijn. Elke opsplitsing in tweeën zal veel moeilijkheden geven met extra bonding pads; om het aantal bonding pads binnen aanvaardbare grenzen te krijgen zullen diverse functies op beide chips moeten voorkomen.

Als beide chips  $7,5 \text{ mm}^2$  groot zouden zijn, zou voor deze beide  $\frac{90}{1400}$  plak nodig zijn i.p.v.  $\frac{120}{1400}$ , een besparing van 25%, ofwel ongeveer f 10,- per apparaat, = f 40.000 per jaar, en daarvoor kan f 120.000 extra geïnvesteerd worden.

Een zó grote extra investering zal vermoedelijk niet nodig zijn, maar anderzijds is het bepaald niet zeker dat de control chip kan worden vervangen door 2 stuks van  $7,5 \text{ mm}^2$ .

In de naaste toekomst zal vermoedelijk UCA groter zijn dan nu. zodat één chip van  $10,5 \text{ mm}^2$  steeds minder duurder of zelfs goedkoper kan worden dan twee van  $7,5 \text{ mm}^2$ .

- Nog een toepassing van B.3.1.:

Bij input chip  $6 \text{ mm}^2$ , control chip is  $10 \text{ mm}^2$ ,  $\frac{\partial(KA)}{\partial A}$  voor beide is resp. 10,0 en 33,0

Een kleine toename van het oppervlak, b.v. met 1 poort, kost voor de ene 10x, voor de ander 33x zoveel extra te processen oppervlak als er werkelijk extra bijgekomen is.

Voor het verplaatsen van functies is dit van belang: het is lonend op de control chip wat poorten te sparen ook al zouden er daarvoor op de input chip dubbel zo veel moeten worden toegevoegd.

Een optimale partitie maakt alle chips even groot in oppervlak.



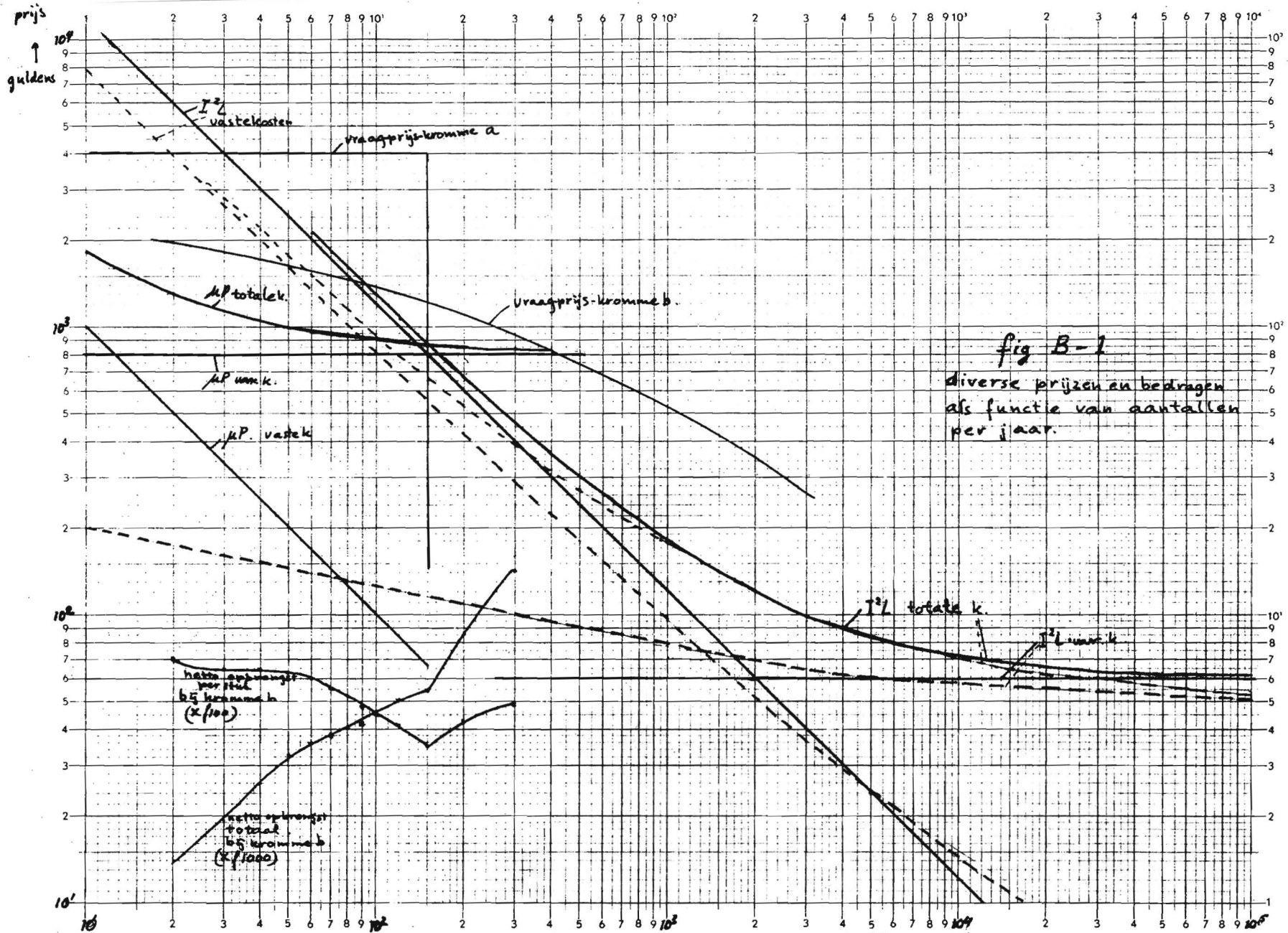


fig B-1  
diverse prijzen en bedragen  
als functie van aantallen  
per jaar.

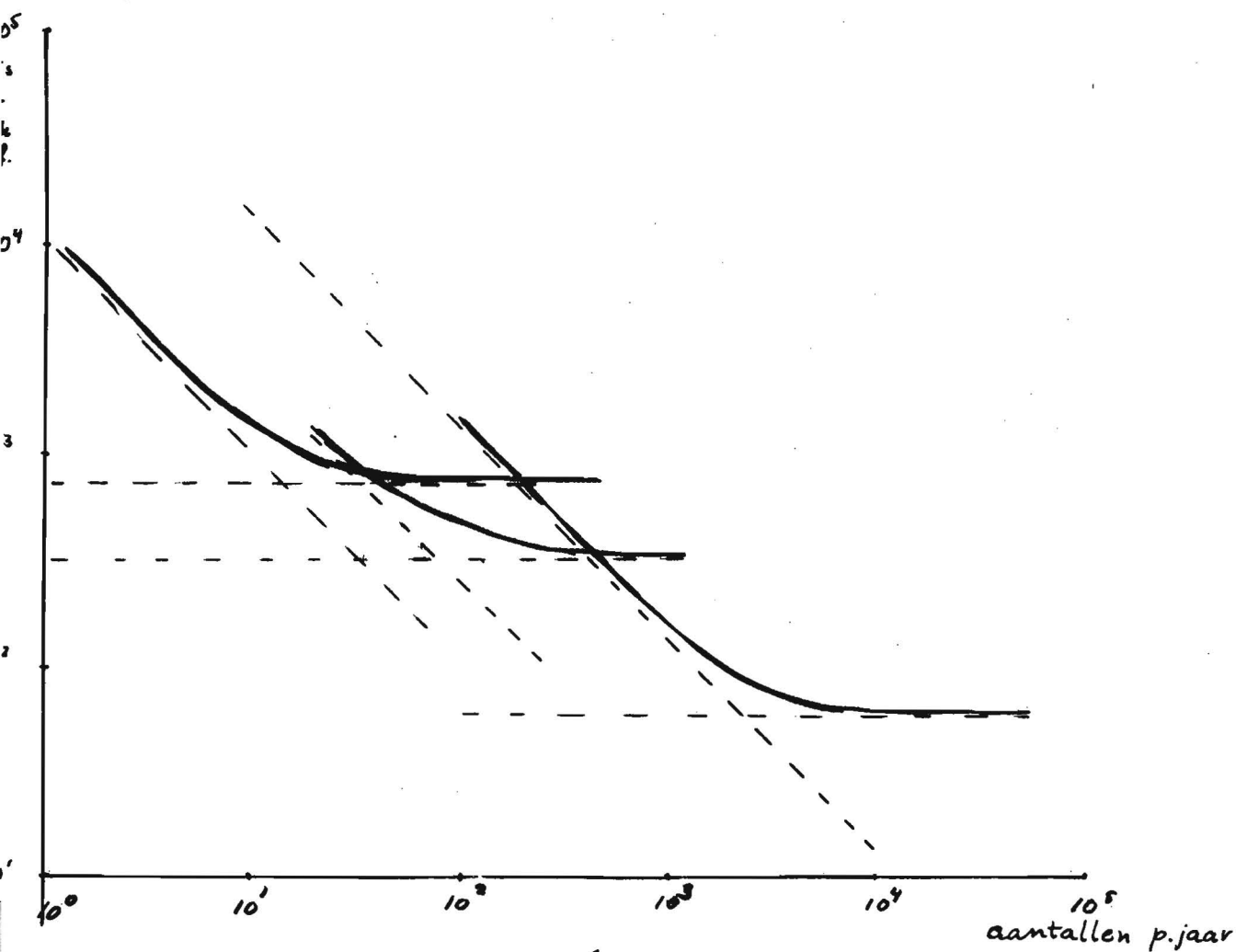


fig-B-2.

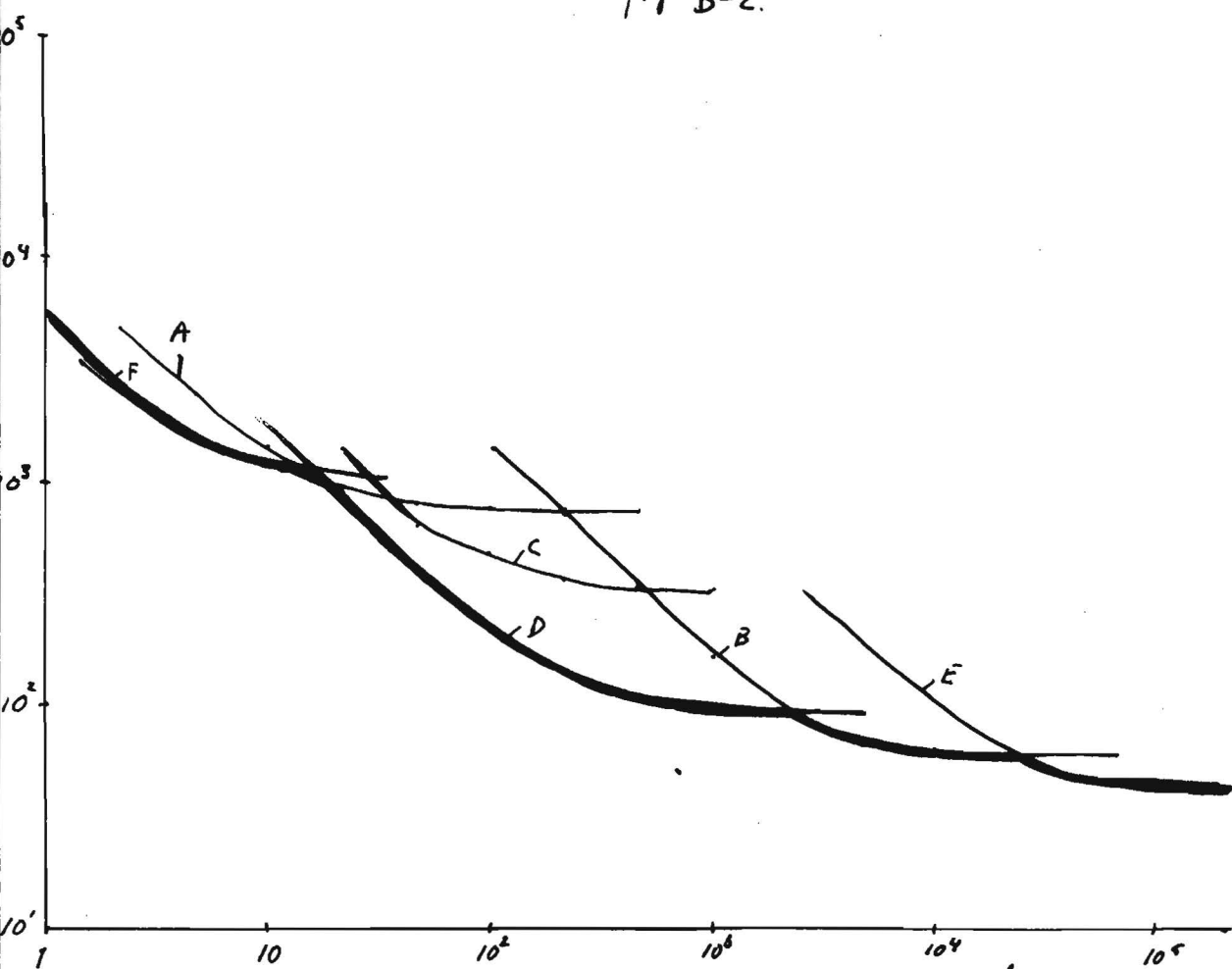


fig B-3

Benodigde mm<sup>2</sup> per chip t.c.v. overall  
 Benodigde mm<sup>2</sup> per chip t.c.v. Voor

420	300
392	280
364	260
336	240
308	220
280	200
252	180
224	160
196	140
168	120
140	100
112	80
84	60
56	40
28	20

(S is prijs per plak van 2000 mm<sup>2</sup>.)

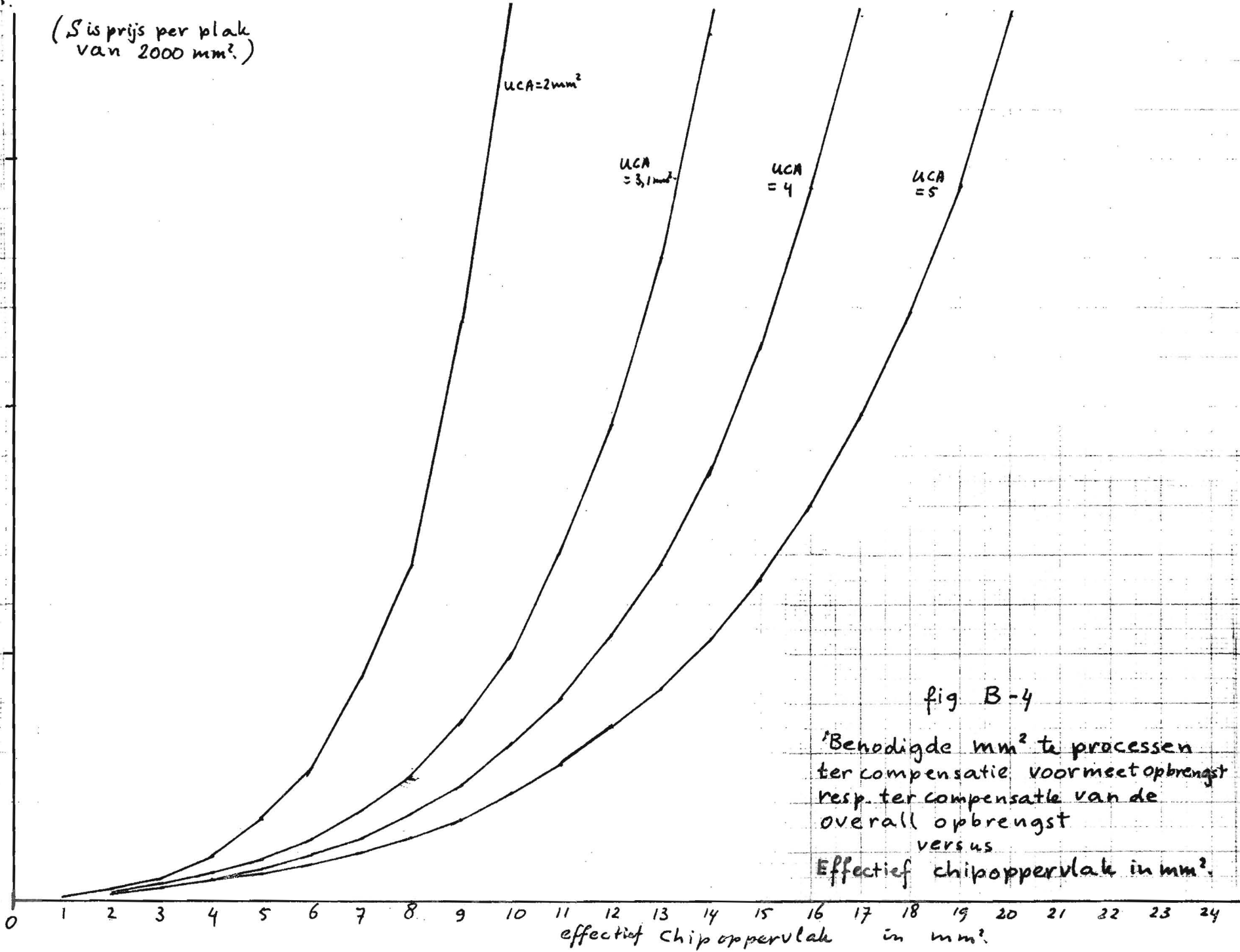


fig. B-4

'Benodigde mm<sup>2</sup> te processen ter compensatie voormet opbrengst resp. ter compensatie van de overall opbrengst versus Effectief chipoppervlak in mm<sup>2</sup>.