

KONINKLIJK NEDERLANDS  
METEOROLOGISCH INSTITUUT

D e B i l t

WETENSCHAPPELIJK RAPPORT

W.R. 76-2

J.J.M. van Gorp

Een numerieke data opslag automaat

De Bilt, 1976

Publikationsnummer: K.N.M.I. W.R. 76-2 (INSA).

U.D.C.: 681.3

## INHOUDSOPGAVE

---

### Samenvatting

	blz.
1. Inleiding, globale beschrijving van het systeem	7
2. Indeling en codering van de gegevens op de opslagmedia	13
2.1. Coderingsmogelijkheden van de karakters	13
2.2. De woord- en blok lengte	20
2.3. Ponsband versus magneetbandregistratie	22
3. Verwerkingssnelheid en opslagcapaciteit van het systeem	26
3.1. Definitie verwerkingssnelheid	26
3.1.1. Snelheid van analoog-digitaal conversie	26
3.1.2. Snelheid van ponsbanduitvoer	27
3.1.3. Snelheid van synchronisatieklokpuls	28
3.1.4. Uitsteltijden t.g.v. klokpulsperioden	29
3.1.5. Vertragingstijden van de componenten	30
3.2. Verwerkingssnelheid bij magneetbandregistratie	31
3.3. Opslagcapaciteit van de opslagmedia	32
4. Bemonsterfrequentie en filtering van de analoge meetsignalen	36
4.1. Intrinsieke middeling door de meetvoeler	36
4.2. Energiespectra	37
4.3. Bemonstertheorema	37
4.4. Invloed van het "vouweffect" op energiespectra	40
4.5. "Aliasing" fout verminderen door filteren vooraf	42
4.6. Toegepaste bemonsterfrequentie en realisering van de analoge filtering	45
5. Beveiliging van het systeem tegen storingen	49
5.1. Startpositie van het systeem	51
5.2. Blokkeren of vertragen van commandosignalen	51
5.3. Automatische overschakeling bij de ponsers	52
5.4. Automatische overschakeling bij de ponsers en magneetbandrecorders	54
5.5. Prioriteit van magneetbandregistratie boven ponsbandregistratie	55

		blz.
6. Conclusies en aanbevelingen		63
Appendix I	Mens-machinecodes	65
Appendix II	Foutendetectie en correctie	75
Appendix III	Beschrijving magneetband recorder: Racal T 5000	88
Appendix IV	Weergave van de registraties en voorbewerking	97
Literatuuropgave		102

## SAMENVATTING

Ter bestudering van de meteorologische processen in de onderste laag van de dampkring (grenslaag) beschikt het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut over een 200 meter hoge meetmast te Cabauw. Hier worden doorlopend, eens per 2 minuten, diverse meteorologische parameters gemeten, zoals windsnelheid, windrichting, temperatuur, straling, zicht, enz.

Ter verkrijging van een numerieke registratie, welke per computer verwerkt kan worden, is een volledig automatisch werkend data-opslagsysteem voor 50 kanalen ontwikkeld en gebouwd binnen de Instrumentele Afdeling van het K.N.M.I.

In dit rapport worden de ontwerpcriteria en de mogelijkheden van dit systeem behandeld.

Er wordt daarbij uitvoeriger ingegaan op de onderwerpen:

- binaire codering en data formaat
- magneetbandregistratie karakteristieken
- bemonsteringstheorema en vouweffect
- beveiliging tegen externe storingen
- fouten detectie- en correctiemethode voor de magneetbandregistratie

SUMMARY

The Royal Netherlands Meteorological Institute is performing experimental research on the meteorological processes in the planetary boundary layer, using a 200 meter high meteorological mast at Cabauw. Continuous measurements are recorded of wind speed and direction, temperature, radiation, visibility, etcetera, at two minute intervals. For computer compatible registration purposes a 50 channel automatic data acquisition system has been designed and built by the Instrument Division of the R.N.M.I.

The design principles and the possibilities of this system are reported here.

The following topics are described in more detail:

- binary coding and data format
- magnetic recording principles
- sample theorem and aliasing effect
- response to external interference
- detection and correction of magnetic registration errors

GEBRUIKTE SYMBOLEN EN BEGRIPPEN

$\nu$	= frequentie
$\nu_c$	= breuk- of kantelpunt in filter ("cut-off")
$\nu_s$	= bemonsterfrequentie ("sample")
$\nu_\alpha$	= klokpulsfrequentie ( $\alpha$ = klokpulssignaal)
$\nu_m$	= maximale frequentie (bandbreedte W)
$\nu_N$	= nyquist of vouwfrequentie
$\bar{H}(\nu)$	= overdrachtsfunctie
$L(\nu)$	= $ \bar{H}(\nu) $ = laag doorlaatfilter energieoverdracht
$\bar{X}(\nu)$	= frequentiespectrum
$P(\nu)$	= $ \bar{X}(\nu) $ = spectrale energiedichtheid
$t$	= tijd
$T$	= meetduur
$\tau$	= vertragingstijd van componenten
$\Delta t$	= tijdsduur tussen twee bemonsteringen
$x(t)$	= meetsignaal
$p(t)$	= pulstrein ("Dirac" pulsen)
$x^*(t)$	= $x(t) \cdot p(t)$ = bemonsterd meetsignaal
$X^*(\nu)$	= fourier getransformeerde van $x^*(t)$
$\eta$	= rendement (magneetbandcapaciteit)
$f$	= overslaan commando, volgend op fout detectie
$N(x)$	= karakterpolynoom
$N_o(x)$	= "geschoven som" karakter
$G(x)$	= generatorpolynoom
$E(x)$	= fouten patroonpolynoom
$F(x)$	= foutenpolynoom
$b_{ij}$	= bitposities, $i$ = karakter, $j$ = spoor
$\oplus$	= "halve opteller" of "exclusive or" schakeling

analoog	= weergave van gegevens door middel van continu variabele fysische grootheden
digitaal	= weergave van gegevens in discrete numerieke vorm
a - d conversie	= bemonstering en kwantisering van een analoogsignaal
multiplexer	= schakelaar die meervoudige kanalen opeenvolgend doorverbindt naar één kanaal
démultiplexer	= schakelaar in omgekeerde richting (vanaf één naar meerdere punten)
combinatorische schakeling	= uitgang hangt alleen af van een combinatie van de momentane ingangen
sequentiële schakeling	= uitgang wordt tevens bepaald door de voorgaande uitgang, "geheugen werking"
statussignaal	= geeft interne toestand van systeem weer bijvoorbeeld opdracht in uitvoering
commandosignaal	= iniëert nieuwe opdrachten
"intelligent" systeem	= actief systeem: generatie van commando's uit een verzameling statussignalen
hardware	= fysieke apparatuur
software	= programmatuur
interface	= raakvlak tussen apparatuur en programmatuur

In dit rapport zijn nog een aantal afkortingen en Engelse uitdrukkingen gebruikt, waarvan de betekenis ter plaatse is aangegeven.



## 1. INLEIDING, GLOBALE BESCHRIJVING VAN HET SYSTEEM

Aan de hand van een zeer vereenvoudigd blokschema - zie figuur 1 - willen wij hieronder enkele aspecten toelichten.

- 1.1. De meetsensoren zetten de meteorologische meetwaarde om in een elektrische spanning. Na versterking, transport en RC-filtering worden deze continu variërende meetspanningen aan de ingang van het systeem aangeboden, zoals  $ff$  = windsnelheid,  $dd$  = windrichting,  $T$  = temperatuur en  $x$  in figuur 1.
- 1.2. Op vaste tijdstippen - in dit geval telkens op de even minuut - worden de meetsignalen afgetast. Dit gebeurt met behulp van een meervoudige schakelaar, ook wel multiplexer genoemd. Omdat er met deze schakelaar ( $S_1$  in figuur 1) analoge spanningen geschakeld worden, spreken wij van een analoge multiplexer.
- 1.3. Op één centraal punt wordt de geschakelde analoge spanning geconverteerd naar een numerieke waarde: Analoog - Digitaal omzetter in figuur 1. De meetwaarde, 0 tot  $\pm 10$  Volt, wordt in het beschreven systeem gekwanticeerd in drie decaden voor zowel positieve als negatieve meetwaarden, waardoor een meetbereik van  $-999$  t/m  $+999$  ontstaat. Ook de polariteit wordt als digitale informatie door het systeem verwerkt.
- 1.4. Naast deze meetwaarden worden een ruim aantal identificatie grootheden meegegeven:
  - a. De stand van de analoge multiplexer wordt geïdentificeerd in de vorm van een kanaalnummer (0 t/m 99).
  - b. De starttijd van deze meetwaarde-aftasting wordt verzorgd door een digitale klok. De tijdsaanduiding hiervan - in de vorm van dag, uur en minuut - wordt voorafgaande aan de meetwaardereeks opgenomen en doorgegeven naar het opslagmedium.
  - c. Ook is het mogelijk een of andere extra informatie aan een meetcyclus (iedere twee minuten) toe te voegen.

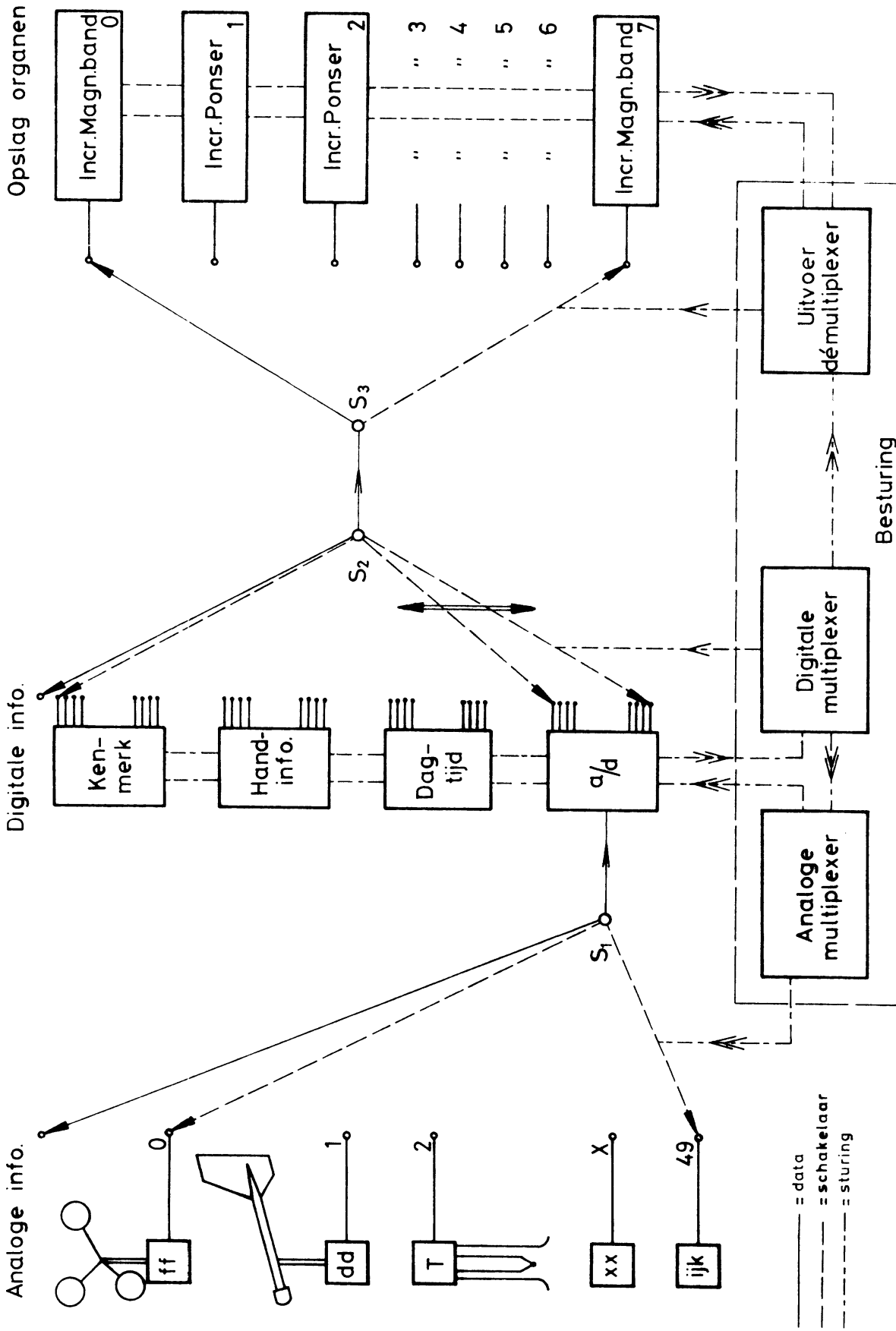


fig. 1: Data opslag automaat voor 200m. mast

Hiertoe zijn een aantal instelbare "duimwielschakelaars" op de apparatuur aanwezig. Omdat deze informatie met de hand geïnitieerd moeten worden, spreken wij van de hand info. Als voorbeeld hiervan is te noemen het gecodeerd aangeven van extra meteorologische gegevens, welke op dit moment nog niet automatisch gemeten worden, zoals bijvoorbeeld de relatieve vochtigheid. Ook kunnen tijdsafhankelijke gegevens over de sensoren of signaaltransport gecodeerd meegegeven worden. Te denken is hierbij aan het opklappen van de meetarmen (tegen de mast), terwijl de registratie van de op deze "uithouder" aanwezige instrumenten doorgaat. Ook kunnen bepaalde tijds- of weersafhankelijke ijkwaarden hierdoor vastgelegd worden.

- d. Tenslotte is het voor de archivering van de opslagmedia nuttig enige administratie aan te brengen. Het begin van iedere pons- of magneetband wordt voorzien van een identificatiekenmerk ("Header"). Hierin zijn op dit moment opgenomen:
- een codeherkendend teken ("Lower Case")
  - stationsnummer (200)
  - uitvoer orgaannummer (0 t/m 7)

1.5. Door middel van een tweede meervoudige schakelaar ( $S_2$  in figuur 1) worden de numerieke- of digitale waarden afgetast: digitale multiplexer. Bij iedere start van een meetcyclus tast deze de onder elkaar getekende blokken in figuur 1 af. Gelijktijdig schakelt  $S_1$  van zijn rustpositie (gestippeld in figuur 1) naar kanaal 0 en wordt de A.D.-omzetter gestart. Iedere stap van de analoge multiplexer wordt gevolgd door aftasting van de uitgangen van de voltmeter (polariteit en 3 cijfers).

1.6. Daarna vindt opslag van deze gegevens op een uitvoerorgaan plaats. Door de grote datastroom en de beperkte capaciteit van de opslagmedia zijn er meerdere opslagorganen nodig. Een meervoudige schakelaar ( $S_3$  in figuur 1) verdeelt de gegevens over de beschikbare uitvoerorganen. Doordat deze vanuit (in plaats van naar) één punt schakelt, noemen wij deze elektronische combinatieschakeling: de uitvoerdémultiplexer (ofwel verdeler).

- 1.7. Als opslagmedium is in eerste instantie gekozen voor ponsband. De werking van de ponsmachine is incrementeel, dat wil zeggen telkens na aanbieding van een symbool wordt de ponsmachine gestart, waardoor de ponsband over een korte afstand ( $\approx 2,5$  mm) verplaatst wordt en een aantal gaten, overeenkomstig de gebruikte code, in de papierband geponst wordt. Nadat deze handeling verricht is, schakelt de digitale multiplexer over naar het volgende cijfer (of symbool) dat dan vastgelegd kan worden.
- 1.8. Nu bestaan er magneetbandrecorders, die eveneens incrementeel werken. De stapsgewijze verplaatsing van de magneetband bedraagt hierbij slechts  $\approx 0,01$  mm. Door deze overeenkomst in de besturing van deze typen uitvoerorganen, kunnen beiden in het opslagsysteem gebruikt worden.
- 1.9. Het hart van de dataopslagautomaat wordt gevormd door de besturing. Deze is opgebouwd uit o.a. 3 identieke multiplexerbesturingen.
- 1.9.1. De "analoge multiplexerbesturing" verzorgt de aftasting van maximaal 100 meetkanalen. Het ontwerp is zodanig gerealiseerd, dat ieder kanaal, naar wens (omzetten schakelaars) overgeslagen kan worden. Dit is van toepassing indien een bepaalde sensor geijkt, verwisseld of gerepareerd moet worden en dus tijdelijk geen "normale" meetwaarde levert. Dit overslaan gaat in een zodanig hoog tempo, dat de overschakeling naar het volgende, wel te meten, kanaal praktisch even snel verloopt als de normale schakelsnelheid tussen twee opeenvolgende kanalen (in 100  $\mu$ sec kunnen alle 100 kanalen overgeslagen worden).
- 1.9.2. De "digitale multiplexerbesturing" verzorgt de aftasting van maximaal 16 karakters. Indien het aangeboden symbool de binaire waarde  $(1111)_2$ , d.i. decimale  $(15)_{10}$ , vertegenwoordigt, wordt dit eveneens in hoog tempo overgeslagen. Dit wordt o.a. toegepast bij de besproken duimwielschakelaars, waardoor de "handinfo" ingevoerd kan worden. Deze duimwielen bezitten 16 standen met de codering 0 t/m 15. Zet men deze op 15, dan schakelt de digitale multiplexer in een versneld tempo door naar het volgende karakter. Hierdoor blijft opslag van deze duimwielschakelaarinformatie achterwege.

- 1.9.3. De "centrale multiplexerbesturing" verzorgt de volgorde van de vier "woorden", aangegeven in figuur 1, als kenmerk, hand-info, dag-tijd en a/d-omzetting. Ook hier wordt het overslaanprincipe toegepast en wel wordt het "kenmerkwoord" telkens overgeslagen behalve na de overschakeling naar een ander uitvoerorgaan. Hierdoor komt er een identificatie uitsluitend aan het begin van een pons- of magneetband.
- 1.9.4. Naast deze drie vrijwel identieke multiplexerbesturingen is er nog een uitvoerdémultiplexerbesturing in het systeem aanwezig. Ook deze bedient een meervoudige schakelaar, echter op andere wijze dan in de besproken drie multiplexers. Het verschil zit in de cycluslengte van de "besturingsteller" d.i.: het aantal stappen dat de teller maakt na gestart te zijn. Bij de drie multiplexers is deze cycluslengte eindig, terwijl bij de uitvoerdémultiplexer deze oneindig is. Wij kunnen dit verschil ook typeren door een lineaire - t.o.v. een circulaire verdeling. De uitvoerorganen zitten als het ware in een cirkel aan de uitvoerdémultiplexer gekoppeld. Op een bepaald tijdstip is een van de ponsers of magneetbandrecorders met het data inwinnend systeem verbonden. Zodra de capaciteit van het opslagmedium overschreden wordt, of het opslagorgaan defect raakt, vindt onmiddellijk en automatisch overschakeling plaats naar een volgend uitvoerorgaan. Ook hier is weer het overslaanprincipe toegepast: door middel van een uitwendig signaal (omzetten van schakelaar) kan een uitvoerorgaan buiten werking gehouden worden. Indien om een of andere reden een aangesloten ponsers of magneetbandrecorder defect is, wordt deze ook in snel tempo overgeslagen. Om de verwerking van de gegevens te vereenvoudigen is in de démultiplexer nog een instelbare uren c.q. dagenteller ingebouwd. Na inschakeling van een ponsers wordt de urenteller gestart, terwijl na inschakeling van de magneetbandrecorder de dagenteller gestart wordt. Door de urenteller bijvoorbeeld op 21 in te stellen wordt na 21 uur registratie op de ponsers overgeschakeld naar een volgend uitvoerorgaan.

- 1.10. Zowel in de ponsers als bij de magneetbandrecorder is nog een aanpasschakeling nodig gebleken.

Bij de ponser wordt, voor en na de overschakeling via de uitvoerdémultiplexer, nog een extra signaal gegenereerd. Dit verzorgt een stuk "blanke band" (gedeelte zonder data maar met transportgaten) als voor- en uitloop op de registratie ponsingen.

De magneetbandrecorder moet met een magneetband geladen ("load") klaar staan ("standby"). Alleen dan kan hij door middel van een startpuls (uit de démultiplexer afkomstig bij overschakeling) in werking gezet worden ("in-operate"). Tenslotte moet na stoppen van de magneetbandregistratie nog een "afsluitwoord" op de band gegenereerd worden, waarna de magneetbandrecorder weer automatisch buiten werking gesteld wordt. Dit alles wordt verzorgd door een extra "magneetband interface".

In de démultiplexerbesturing is een combinatorische schakeling opgenomen waardoor de magneetbandregistratie een hogere prioriteit krijgt toegekend dan een toch nog onontbeerlijke reserve ponsbandregistratie. Na netstoring moet namelijk de magneetbandrecorder opnieuw met de hand geladen worden. Er is tevens voorzien in een foutmelding naar De Bilt, indien geen magneetbandregistratie meer plaats vindt.

Tenslotte is er nog de mogelijkheid een uitvoerorgaan (bijvoorbeeld ponser of regeldrukker) parallel aan de normale uitvoer aan te sluiten.

## 2. INDELING EN CODERING VAN DE GEGEVENS OP DE OPSLAGMEDIA

De grote stroom aan informatie wordt in een bepaalde volgorde op pons- of magneetband vastgelegd. Men spreekt daarbij van een dataformaat. Dit is een rangschikking van de gegevens in respectievelijk blokken, woorden, karakters en bits.

Om een digitaal opslagsysteem efficiënt te kunnen gebruiken is het nuttig de betekenis van deze begrippen te kennen. Vandaar dat wij hierop dieper ingaan.

- "Bit" is de afkorting voor "binary digit", d.i. een tweetallig cijfer, "0" of "1".
- "Karakter" is een symbool, letter of cijfer gekarakteriseerd door een bepaalde opeenvolging van bits. De combinatie van het aantal nullen en enen wordt vastgelegd in een bepaalde code.
- "Woord" is een groep bij elkaar horende opeenvolging van karakters.
- "Blok" is een groep bij elkaar horende opeenvolging van woorden.

Zowel het aantal karakters in een woord als het aantal woorden in een blok zijn in zoverre vrij te kiezen dat er een bovengrens aangehouden moet worden afhankelijk van o.a. de geheugencapaciteit van systeem of rekenmachine. De betekenis van deze onderverdeling is administratief en te vergelijken met de indeling van een boek. In de techniek van het coderen wordt van deze onderverdeling gebruik gemaakt voor het controleren en eventueel corrigeren van de opgeslagen informatie. Dit verifiëren gebeurt dan per karakter, woord en/of blok.

### 2.1. Coderingsmogelijkheden van de karakters.

In het data-opslagsysteem worden, op dit moment, 3 soorten codes gebruikt:

- a. B.C.D.-code voor invoer naar systeem
- b. Flexowritercode bij ponsband als uitvoer
- c. E.B.C.D.I.C.-code bij magneetband als uitvoer

ad a. De aangeboden numerieke gegevens (van bijvoorbeeld digitale voltmeter en klok) zijn in "Binary Coded Decimal"; d.i.: een getal N wordt voor iedere decimale waarde  $d_n$  binair gecodeerd, volgens:

$$N = \sum_{i=0}^{n-1} d_i \cdot 10^i = d_0 \cdot 10^0 + d_1 \cdot 10^1 + \dots + d_{n-1} \cdot 10^{n-1} \quad (2.1.)$$

$$d = \sum_{j=0}^3 a_j 2^j = a_0 \cdot 2^0 + a_1 \cdot 2^1 + a_2 \cdot 2^2 + a_3 \cdot 2^3 \quad (2.2.)$$

waarin de coëfficiënten de volgende betekenis hebben:

$d_i$  = decimale waarde = 0 t/m 9

$a_j$  = binaire waarde = "0" of "1"

Voor de "gewichtsfactoren" is in formule (2.2.) gekozen voor de "zuiver binaire" combinatie: 1-2-4-8.

De coëfficiënten  $a_j$  vertegenwoordigen de hierboven gedefinieerde "bits". De verzameling coëfficiënten geeft men aan in een matrix, waarbij het "hoogstwaardige bit" links en het "laagstwaardige bit" rechts:  $a_3, a_2, a_1, a_0$ .

Zo is:  $(0000)_2 = 0_{10} =$  decimale 0

$(1001)_2 = 9_{10} =$  decimale 9

$(1111)_2 = 15_{10} =$  decimale 15

hierin geeft de index het getalstelsel aan.

Met behulp van een n-bits "zuiver binaire" code zijn  $2^n$  combinaties mogelijk, in ons geval dus 16 mogelijke coderingen. Het zal duidelijk zijn dat voor de vastlegging van meetwaarden de decimale cijfers voldoende zijn, dit betekent dat wij 6 coderingen over hebben. Deze zijn nu juist goed te gebruiken om in het data-opslagsysteem een hoeveelheid extra informatie mee te geven, zoals: polariteit, code-herkennend teken (L.C.) en scheidingstekens (s en t).



Op dit moment zijn de volgende symbolen in gebruik:

Tabel 2.1 De toegepaste code-omzetting vanuit de 1-2-4-8 code.

Hexa- decimaal	Binair				Betekenis	Flexowritercode				E.B.C.D.I.C.-code													
	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$		$2^5$	$2^4$	P	$2^3$	T	$2^2$	$2^1$	$2^0$	$2^7$	$2^6$	$2^5$	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$	P	
0	0	0	0	0	0		•		.														
1	0	0	0	1	1				.			•											
2	0	0	1	0	2				.		•												
3	0	0	1	1	3		•		.		•	•											
4	0	1	0	0	4				.	•													
5	0	1	0	1	5		•		.	•		•											
6	0	1	1	0	6		•		.	•	•												
7	0	1	1	1	7				.	•	•	•											
8	1	0	0	0	8				•	.													
9	1	0	0	1	9		•	•	.			•											
A	1	0	1	0	+	•	•	•		.													
B	1	0	1	1	-	•			.														
C	1	1	0	0	L.C.	•	•	•	•	.		•											
D	1	1	0	1	s	•	•		.		•												
E	1	1	1	0	t	•			.		•	•											
F	1	1	1	1	over- slaan				.														
SPOREN						7	6	5	4	T	3	2	1	7	6	5	3	9	1	8	2	4	
DATA						7	6	5	4		3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

In de tabel wordt de eerste kolom aangegeven als "hexa-decimaal", omdat wij hier in het 16-tallig stelsel werken. Er zijn dan 16 verschillende symbolen nodig bijvoorbeeld de cijfers 0 t/m 9 aangevuld met de letters A t/m F (F komt overeen met 15). De B.C.D.-code gaat niet zover, vandaar de horizontale stippellijn in de tabel. In de derde kolom is de gekozen symboliek aangegeven voor respectievelijk pons- en magneetband. De afkorting L.C. staat voor "Lower Case" en wordt gebruikt bij de "Flexowriter" (= type machine werkend op genoemde code) om kleine letters en cijfers af te drukken.

Zoals wij reeds eerder opmerkten, wordt de codering  $(1111)_2$  gebruikt om snel door te stappen naar het volgende karakter. Zou er echter door een of andere storing toch een start van pons- of magneetbandrecorder optreden, dan komt erop beide opslagmedia een "blanke bandsymbool".

Een zwarte stip in kolom 4 duidt een (groot) gat in de ponsband aan en stelt een binaire "1" voor (blank is dus "0"). Tijdens iedere ponsing wordt er ook een kleiner gat in de band geslagen, dit is in kolom 4 aangegeven door T van "transportgat" ("sprocket hole"). Dit dient om het uitlezen van de ponsband te synchroniseren.

Voor de dataverwerking op magneetband wordt - in ons systeem - gebruik gemaakt van het N.R.Z.I.-principe. Dit is een "Non return to zero inverse" magnetisatie, de gehele magneetband is dus gemagnetiseerd en wel in volledig positieve of negatieve verzadiging. Bij het "laden" van de magneetband in de recorder, worden alle magneetjes naar één kant gericht: "0"-magnetisatie. Worden er daarna "nullen" aangeboden dan gebeurt er niets: de magnetisatierichting blijft dezelfde. Zodra echter "enen" geschreven moeten worden, keert de magnetisatierichting om. Dit betekent dat "enen" een magnetisatie flux veroorzaken, "nullen" niet.

Bij de karaktercodering op de magneetband komt de datavolgorde niet overeen met de spoor ("track") indeling op de band, zie tabel 2.1. Een magneetband laat men bij schrijven van links naar rechts bewegen, aan de bovenkant ligt dan spoor 1 (spoor 9 aan onderkant).

Het pariteitsbit ligt in het midden op de band en heeft dus de kleinste kans op beschadiging tijdens transport.

Een ponsband laat men daarentegen van rechts naar links bewegen, aan de bovenkant ligt dan spoor 7.

De beide registraties vertonen de volgende overeenkomst:

- door aanbieding van een "0" gebeurt er niets.
- door aanbieding van een "1" wordt er in de ponsband een gat geslagen en op de magneetband de aanwezige magnetisatie-richting omgekeerd. Ook is er in de codering, althans wat het B.C.D.-gedeelte betreft, een grote mate van overeenkomst. Ook het pariteitsbit (P) is hetzelfde, dit komt bij de ponsband in spoor 5 en bij de magneetband op spoor 4. Dit is een extra toegevoegd ("redundantie") bit om fouten te herkennen. Deze foutencontrole berust op het even of oneven zijn van het aantal enen in een karakter (inclusief het P-bit). In dit geval is een "oneven pariteit" gebruikt dat wil zeggen door toevoeging van het pariteitsbit is het totale aantal "enen" (in een kolom) oneven geworden.

Zowel de meetgegevens als de kanaalnummers zijn numerieke waarden. Indien nu in een meetreeks deze getallen zonder meer achter elkaar gezet zouden worden is er geen enkele aanduiding wat de cijfers voorstellen. Er doet zich echter een gelukkige omstandigheid voor dat de meetwaarden ook nog een polariteit vertonen (bijvoorbeeld positieve en negatieve temperatuurverschillen), waardoor het noodzakelijk is dit mee te nemen. Dit levert dan tevens een eerste scheiding op. Als extra foutenherkenning en eventuele correctie hebben wij het nuttig gevonden het kanaalnummer van een herkenningsteken te voorzien. Dit levert de tweede scheiding op. Door in de beide codes een tweetal bits te inverteren gaat een cijfer over naar overeenkomstige letter: 1 t/m 9 wordt respectievelijk a t/m i. De decimale nul heeft geen partner in de lettercodering, wel in de rij van symbolen. Voor een nadere uitleg en coderingsmethoden verwijzen wij naar Appendix I.

De kanaalaanduiding is nu gekenmerkt door de omzetting van het eerste cijfer, dit zijn de tientallen, naar een van de volgende symbolen:

Betekenis	Flexowriter							Betekenis	E.B.C.D.I.C.-code								Decimaal		
	$2^5$	$2^4$	P	$2^3$	T	$2^2$	$2^1$		$2^0$	$2^7$	$2^6$	$2^5$	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$		$2^0$	P
<		•	•		.			•	^	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
a	•	•			.			•	A	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1
b	•	•			.		•		B	1	1	0	0	0	0	1	0	0	2
c	•	•	•		.		•	•	C	1	1	0	0	0	0	1	1	1	3
d	•	•			.	•			D	1	1	0	0	0	1	0	0	0	4
e	•	•	•		.	•		•	E	1	1	0	0	0	1	0	1	1	5
f	•	•	•		.	•	•		F	1	1	0	0	0	1	1	0	1	6
g	•	•			.	•	•	•	G	1	1	0	0	0	1	1	1	0	7
h	•	•		•	.				H	1	1	0	0	1	0	0	0	0	8
i	•	•	•	•	.			•	I	1	1	0	0	1	0	0	1	1	9
SPOOR:	7	6	5	4	T	3	2	1	SPOOR:	7	6	5	3	9	1	8	2	4	
DATA :	7	6	5	4		3	2	1	DATA :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

Tabel 2.2. De toegepaste codering voor de kanaalaanduiding.

In tabel 2.2. zijn voor de ponsband kleine letters en voor de magneetbandcodering hoofdletters genomen. Bij afdraaien van de ponsband op een Flexowriter ontstaan inderdaad kleine letters, doordat "Lower Case" (op typemachine kleine letter), als eerste symbool op de band gezet is. Meer gebruikelijk is echter de grote stroom aan informatie door middel van een "regeldrukker" (behorend bij Electrologica X-8 rekenmachine) zichtbaar te maken. Voor beide opslagmedia ontstaan daarbij hoofdletters.

Een vergelijking van de tabellen 2.1. en 2.2. levert de volgende conclusies op:

De cijfers 1 t/m 9 zijn bij ponsband omgezet naar een letter door middel van een extra "1" bit in spoor 6 en 7, terwijl bij de magneetband het omgekeerde is gebeurd, namelijk de weglating van het "1" bit in spoor 3 en 5. Het cijfer 0 is omgezet naar het symbool < op de ponsband door extra "enen" in spoor 1 en 5. Bij de magneetband ontstaat dan het symbool ^ (behorend bij Algol-programmering op X-8), door weglating van "enen" in spoor 5 en 7. Tenslotte blijkt het pariteits-bit alleen voor de decimale nul op de ponsband te veranderen. Voor de rest worden altijd twee "databits" toegevoegd of weggelaten, waardoor de oneven pariteit onaangetast blijft.

Tabel 2.1. en 2.2. geven slechts een klein aantal symboolcoderingen aan. De "Flexowriter" code is een 6-bits (met P erbij maximaal 7 gaten) code en de E.B.C.D.I.C.-code is 8-bits. De gebruikte afkorting staat voor: "Extended Binary Coded Decimal Interchange Code" en is dus een met letters en symbolen uitgebreide B.C.D.-code. Met behulp van 6-bits zijn  $2^6 = 64$  verschillende symbolen te definiëren en met 8-bits  $2^8 = 256$ . Vandaar dat bij de laatste code de gewone en hoofdletters een aparte codering toegewezen hebben gekregen. Tenslotte bestaan er nog diverse andere codevormen, zoals de A.S.C.I.I. - "American Standard Code for Information Interchange", deze is 7-bits, waardoor  $2^7 = 128$  combinatiemogelijkheden. Voor een vereenvoudigde weergave van codevormen, zoals de oktale (8-tallig) en hexadecimale (16-tallig) schrijfwijze, verwijzen wij naar Appendix I.

In de data-opslagautomaat wordt gewerkt met de coderingen uit tabel 2.1. en 2.2. Op eenvoudige wijze is in dit systeem over te gaan naar een andere codevorm, dit door middel van een daartoe geschikte codematrix. De beide codevormen, zijn in het systeem parallel uitgevoerd. Het aantal gebruikte symbolen in het systeem is nu 26. Dit aantal is, in principe, uit te breiden maar dit vergt dan wel een ingreep in de systeemapparatuur ("hardware"). Op het systeem kan een "Flexowriter" of ander type "letterdrukker" aangesloten worden. Hiervoor is het nuttig een signaal te genereren waardoor de informatie in woorden onder elkaar afgedrukt worden. Dit signaal ontstaat door C.R.N.L. (= "Carriage Return and New Line") d.i. de opdracht: ga terug naar begin van een nieuwe regel.

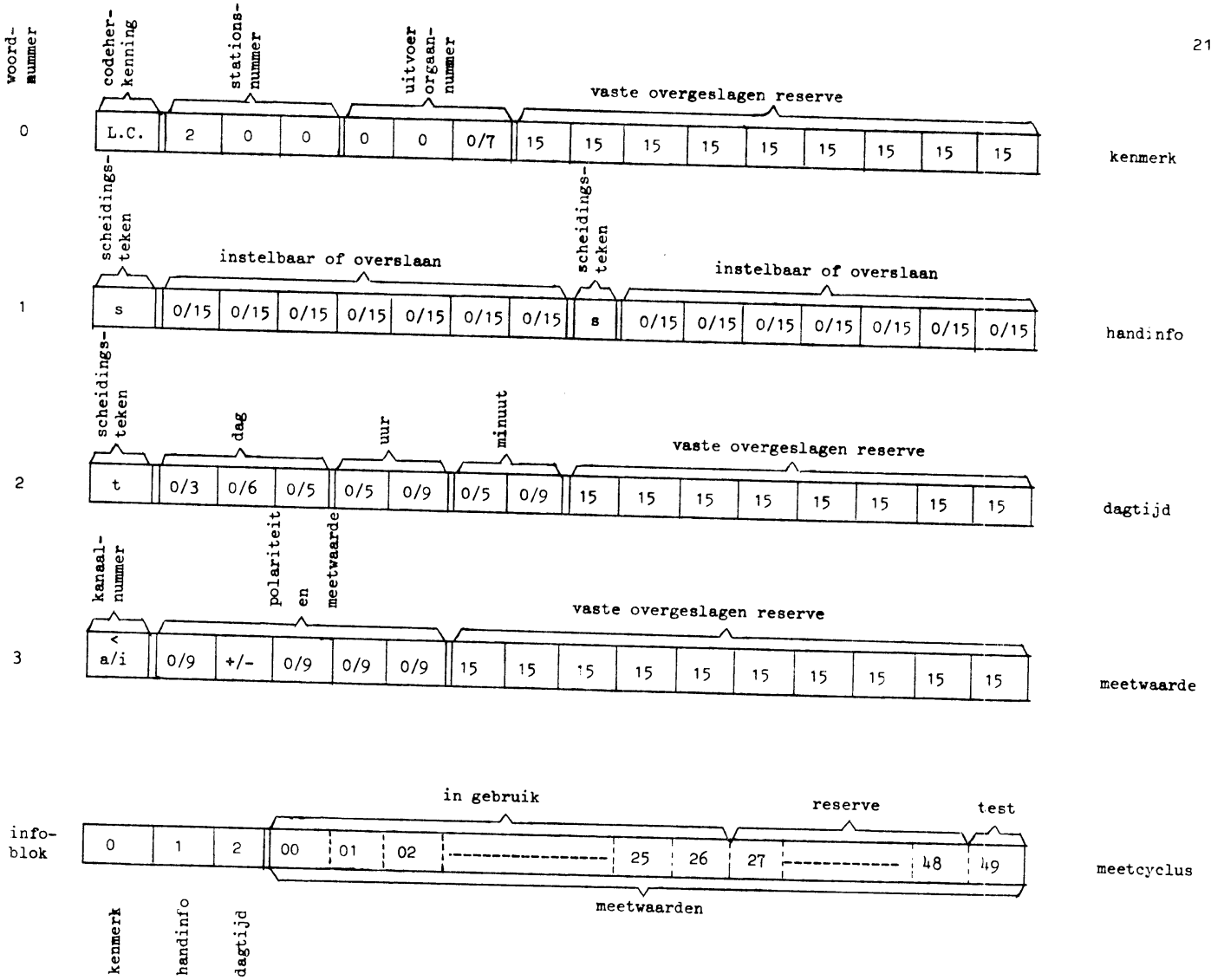
De codering hiervoor is in Flexo, resp. E.B.C.D.I.C.-code, gelijk aan  $(012)_8$  en  $(025)_8$  in de octale schrijfwijze, zie Appendix I. Tijdens de uitvoering van deze opdracht moet de aanbieding van informatie geblokkeerd worden, dit gebeurt in de digitale multiplexer. Het aantal karakters dat op een regel past, bepaalt het tijdstip waarop genoemd symbool gegenereerd zou moeten worden. Dit is de reden dat het C.R.-symbool extern aan de codematrix is toegevoegd, als 27e symbool.

## 2.2. De woord- en bloklengte.

Vanwege het B.C.D.-karakter waarin de meetwaarden worden aangeboden, is in het systeem voor de "bit-matrix" de lengte 4 gekozen:  $a_3, a_2, a_1, a_0$  in formule 2.2. Deze 4-bits leveren  $2^4 = 16$  verschillende combinaties, vandaar de reeds in tabel 2.1. besproken 16 coderingen van een 4-bits karakter. Om dezelfde reden is de woordlengte in het data-opslagsysteem 16. Door het besproken overslaanprincipe, hebben wij hier te doen met een variabele woordlengte: ieder woord bestaat uit maximaal 16 karakters.

Iedere even minuut wordt een meetcyclus gestart. De totale informatie in zo'n cyclus nemen wij samen tot een blok (= "Record"). Doordat ook hier het overslaan (= "Skip") principe wordt toegepast, is er sprake van een variabele bloklengte.

Het uiteindelijke dataformaat is in tabel 2.3. weergegeven. Leder "infoblok" bestaat uit maximaal 53 woorden, namelijk de woorden nr. 0, 1 en 2 en 50 maal woord nr. 3. Dit zijn achtereenvolgens: het kenmerk, de handinfo, de dagtijdaanduiding en de 50 meetwaarden. Hiervan komt het kenmerkwoord slechts eenmaal op een pons- of magneetband voor en wel aan het begin van de band.



Tabel 2.3. Het toegepaste dataformaat.

In de tabel zijn zowel de gebruikte (per juli 1973) als ook de ongebruikte (reserve) plaatsen aangegeven: het systeem is ruim gedimensioneerd. Er worden 26 meetgegevens opgeslagen, ieder in 3 decaden met daaraan voorafgaande de polariteit. Het laatste kanaal wordt benut om de analoog-digitale omzetting te controleren. Daartoe is op kanaal 49 een "ijkstandaard" aangesloten namelijk een Weston Hg-cel van  $+ 1,01919 \pm 0,00002$  Volt. Bij niet constante omgevingstemperatuur moet hierbij nog  $3 \text{ uV}/^{\circ}\text{C}$  genomen worden, bij een  $\Delta T = 10^{\circ}\text{C}$  is dus:  $V_{ijk} = + 1,01919 \pm 0,00005$  Volt. In het systeem is een digitale voltmeter opgenomen waarvan de resolutie en nauwkeurigheid  $0,1\%$  bedragen. Dit betekent voor de meetwaarden, die in 3 decaden zijn vastgelegd, een betrouwbare registratie. De weergave van een 4e decimaal fluctueert echter met één eenheid. De ijkspanning wordt dus weergegeven als  $(+ 1,019 \pm 0,001)$  Volt, wat neerkomt op een numerieke registratie van 101 of 102!

### 2.3. Ponsband versus magneetbandregistratie.

Het onderscheid tussen beide opslagmedia ligt in het psychologische vlak: de mens heeft van nature meer vertrouwen in wat hij met zijn eigen zintuigen kan waarnemen. Hetzelfde doet zich voor bij de overgang van analoge naar digitale meetmethoden. De "mens-machine relatie" blijft daardoor problematisch en gebrekkig.

Op een ponsband worden de karakters in een aaneengesloten rij achter elkaar gezet. Wil men in deze grote hoeveelheid informatie nog enige ordening aanbrengen, dan moet men dit zoeken in de codering van karakters zelf. In ons geval het toepassen van andere symbolen dan de noodzakelijke numerieke waarden, zie de tabellen 2.1., 2 en 3. De machine kan daardoor verifiëren of het aantal cijfers, tussen twee (scheidings) symbolen in, klopt met de opgegeven woordlengte. Aan ieder karakter is een "oneven pariteitsbit" toegevoegd. Dit maakt de som van het aantal bits in een karakter oneven. Deze pariteit per kolom, dat wil zeggen dwars of verticaal op de band, wordt ook wel aangeduid als: dwars- of verticale pariteit ("V.R.C. = vertical redundancy check"). Hiermee is de informatie per karakter op fouten te controleren.



Bij de magneetbandregistratie worden naast deze dwarspariteit nog een of twee extra pariteitscontroles toegepast. Op een magneetband wordt de informatie verdeeld in blokken ("records"), van elkaar gescheiden door een zogenaamde blokhiaat ("I.R.G. = Inter Record Gap"). Zo'n onderbreking is nodig om bloksgewijze opslag mogelijk te maken: binnen één blokhiaat van >15 mm (0,5 inch) lengte kan gestopt en opnieuw gestart worden. Als afsluiting van een blok worden twee foutcontroles opgenomen, waarmee de informatie gecontroleerd kan worden bij het lezen. Dit zijn twee extra karakters, geschreven binnen het blokhiaat, op detecteerbare afstand van elkaar en van het informatieblok (4-bitsposities)

Achtereenvolgens zijn dit:

- het geschoven somsymbool ("C.R.C.C. = Cyclic Redundancy Check Character"). Dit is het resultaat van een polynomische bewerking op alle bits in het voorafgaande informatieblok. Ter detaillering, zie Appendix II.
- de langspariteit ("L.R.C.C. = Longitudinal Redundancy Check Character, ook wel : "L.P.C. = Longitudinal Parity Check"). Dit is het resultaat van het vergelijken van de informatie in één spoor bit voor bit. De langspariteit is per definitie even dat wil zeggen dit toegevoegde karakter maakt het aantal "enen" in één spoor even.

De dwarspariteit is daarentegen oneven. Dit laatste is noodzakelijk om uit het bitpatroon altijd een synchronisatie klokpuls af te kunnen leiden bij het lezen van de magneetband. In het geval er namelijk op de 8 informatiesporen een "0" aangeboden wordt, genereert een schakeling in de magneetbandrecorder een extra oneven pariteitsbit. Dit is bij de octale informatie  $(000)_8$  een "1" (zie tabel 2.1.). Door het N.R.Z.I. registratie principe ontstaat er in dit 4e spoor een magnetische flux verandering op de band. De leesdetector zet dit om in een spannings-sprong en op deze "klokpulsflank" wordt de informatie,  $(000)_8 =$  "blank" symbool, gelezen.

Bij een blokhiaat worden - ter onderscheiding van dit "blank symbool" - op alle 9 sporen een "0" geschreven, door een vaste magnetisatierichting (reset van de magnetisatie flip-flops). Op geen van de sporen ontstaat dus een fluxverandering, waardoor de "nullen" op de 8 informatiesporen niet gelezen kunnen worden. Wij kunnen hier spreken over een "fysisch blanke band".

De aandachtige lezer zal wellicht opgevallen zijn dat er in tabel 2.1. voor  $(1111)_2 = (15)_{10}$  bij de ponsbandcode geen - en bij de magneetbandcode wel een extra pariteitsbit (P) aangegeven is. In de magneetbandrecorder wordt dit P-bit dan ook gegenereerd uit de ontvangen 2-bits informatie, terwijl dit bij de ponsband achterwege gelaten is (in de codematrix van de zender).

Uit deze uitvoerige toelichting volgt dat er bij magneetbandregistratie een strengere controle toegepast kan worden dan bij ponsbanden. De machine neemt hier duidelijk de taak over van de mens. Of geconstateerde fouten ook hersteld worden hangt mede af van de geavanceerdheid van het bedrijfssysteem - d.i. het besturingsprogramma - van de toegepaste rekenmachine bij het lezen van de banden.

Het grote voordeel van magneetband als data-opslag is de grote verwerkingssnelheid en opslagcapaciteit, hierover meer in par. 3. Door de blokindeling kan het selecteren van informatie sneller verlopen. Tenslotte vermelden wij hier nog dat op een magneetband een willekeurig aantal blokken samengenomen wordt tot een bestand of dossier ("File") dat afgesloten wordt met een bijzonder kenmerk (E.O.F. = "End Of File"). Ook deze dossiers kunnen weer genummerd en geteld worden, waardoor de datastroom nog beter geordend kan worden.

Zoals uit fig. 1 en tabel 2.3. blijkt verenigt de digitale multiplexer de karakters tot woorden. De vier woordtypen worden achter elkaar gezet door de centrale multiplexer, die tevens de woorden in een blok verzamelt. De meetcyclus die iedere 2 minuten gestart worden, zijn op de magneetband van elkaar gescheiden door middel van de blokhiaat.

Voorafgaande aan de overschakeling naar een ander uitvoerorgaan, wordt een "E.O.F.-signaal" gegenereerd. Hierdoor ontstaat een blanke band ("File Gap") van ongeveer 90 mm (3,5 inch). Hierin bevinden zich weer de twee fout detectiekarakters en daarachter nog twee symbolen die een dossier afsluiten. Vandaar de benaming "E.O.F.-mark" of kortweg "Tapemark", octaal weergegeven door 023.

Tenslotte lijkt het ons nuttig hier te vermelden dat door de toepassing van het N.R.Z.-magnetisatieprincipe, de magneetband niet vooraf "gewist" (magnetisch schoonvegen) hoeft te worden: de nieuwe informatie wordt over de oude heen geschreven. Dit kan natuurlijk gemakkelijk tot het verlies van nuttige informatie leiden. Ook hierop is een beveiliging bedacht: op iedere magneetbandspoel of haspel zit een "File protect" ring. Door deze te verwijderen - nadat de gewenste informatie is geschreven - kan de band niet meer "overschreven" worden. Het opgeslagen dossier is dan beschermd opgeborgen.

Een beschrijving van de toegepaste "Racal T5000" incrementele magneetbandrecorder is in Appendix III opgenomen. Voor nog meer informatie, over magnetische registratieprincipes wordt verwezen naar een handboek [3].

### 3. VERWERKINGSSNELHEID EN OPSLAGCAPACITEIT VAN HET SYSTEEM

- 3.1. Als verwerkingssnelheid definiëren wij hier: het aantal meetwaarden dat per tijdseenheid gedigitaliseerd en opgeslagen kan worden, inclusief de noodzakelijke adressering, zoals tijd- en kanaalaanduiding. Deze snelheid wordt bepaald door de keuze van:
1. Het analoog-digitaal conversieprincipe.
  2. Het uitvoerorgaantype.
  3. De klokpulsfrequentie, die het gehele systeem synchroniseert.
  4. Het aantal klokpulsperioden waarover een opdracht wordt vertraagd.
  5. De schakelcomponenten, met specifieke schakeltijden.

Het systeem is, in eerste instantie, ontworpen voor ponsbandregistratie. Daarom zullen wij eerst de systeemtijden bespreken bij deze "langzame" registratie. Bij de toepassing van magneetregistratie zijn de tijden (1 en 2) niet meer optimaal aan elkaar aangepast.

#### 3.1.1. Snelheid analoog-digitaal conversie.

Voor de a - d omzetting [2] is gebruik gemaakt van een integrende digitale voltmeter. Deze zijn niet snel, maar garanderen wel een hoge nauwkeurigheid. Er vindt een middeling plaats van het analoge meetsignaal gedurende een vaste integratietijd van 20 msec. Deze periodeduur is gekozen om storingen die veroorzaakt worden door de lichtnetfrequentie (50 Hz) te onderdrukken. Daarna vindt een telling plaats, waarbij de meetduur lineair afhankelijk is van de meetspanning. De meettijd varieert tussen 0 - 20 msec, overeenkomstig een meetwaardegebied 0,000 - 9,999 Volt. Tenslotte moet na het aanbieden van de analoge spanning nog minimaal 10 msec. gewacht worden, voordat de digitale voltmeter (d.v.m.) gestart mag worden. Dit is nodig om de gevoelige versterkers in de voltmeter de gelegenheid te geven zich in te stellen in verband met de responsie op ongelijke ingangssignalen ("settling-time"). De totale "meetduur" varieert dus tussen 30 - 50 msec. De maximale verwerkingssnelheid van de a - d omzetting is daarom 20 Hz, d.i. 20 metingen per seconde.

Opmerking. Er bestaan allerlei analoog-digitaal conversieprincipes die hogere snelheden opleveren, zoals de successieve approximatie methoden met behulp van weerstandsladdernetwerken.

Ter onderdrukking van stoorsignalen is hierbij echter wel een extra filtering aan te raden. Hierdoor neemt de effectieve verwerkingssnelheid weer aanzienlijk af.

### 3.1.2. Snelheid ponsbanduitvoer.

Na iedere a - d omzetting moet de numerieke meetwaarde opgeslagen worden. Zoals in tabel 2.3 is opgegeven wordt de meetwaarde in 3 decaden samen met polariteit en kanaalaanduiding, in één woord, weergegeven. Deze 6 karakters worden sekventiëel (d.i. in volgorde achter elkaar) en incrementeel (d.i. stapsgewijs per karakter) door de ponsmachine op de ponsband vastgelegd.

Bij deze registratie is 10 msec. nodig voor het bandtransport, waarna binnen ongeveer 3 msec. de ponsing van een karakter optreedt. De maximale verwerkingssnelheid van de gebruikte ponsmachine is dus 75 Hz, d.i. 75 karakters/sec. Voor de opslag van een meetwaarde is:  $6 \times 13,3 \text{ msec.} \approx 80 \text{ msec.}$  nodig.

Nadat de  $n^e$  meetwaarde op de ponsband is opgeslagen, kan de a - d omzetting van de  $(n + 1)^e$  meetspanning gestart worden. In dat geval kost de digitalisering en opslag van de 27 meetwaarden uit tabel 2.3:  $27 \times (50 + 80) \text{ msec.} \approx 3,5 \text{ seconden.}$  Door echter de numerieke waarden (afkomstig van de a - d omzetting) in een sneller toegankelijk geheugen te "bufferen" is een hogere verwerkingssnelheid mogelijk. In de digitale voltmeter zijn daartoe "buffergeheugens" aanwezig, die een "access" (= toegangs) tijd bezitten van ongeveer 50  $\mu\text{sec.}$

Hierdoor kan tijdens de ponsing van de  $n^e$  meetwaarde een volledige a - d conversie plaatsvinden van de volgende  $(n + 1)^e$  meetspanning. Daarbij blijft de  $n^e$  numerieke waarde in het extra buffergeheugen aanwezig totdat dit volledig op de ponsband is overgenomen.

Dit "meten tijdens ponsen" principe is in de opslagautomaat toegepast en levert voor de opslag van de meetwaarden een relatieve tijdwinst op van 40%.

In iedere "2 minuten cyclus" worden 10 - 24 karakters extra verwerkt op de ponsband. Er zijn namelijk 14 instelbare duimwielchakelaars op de apparatuur aanwezig, zie tabel 2.3.

Zoals wij reeds eerder opmerkten kost het overslaan van karakters praktisch geen registratietijd: binnen 100  $\mu$ sec. kunnen alle karakters  $(1111)_2$  worden overgeslagen. Het registreren van "nuttige informatie" afkomstig van de instelbare duimwielchakelaars vergt maximaal 14 msec. per karakter. De totale registratietijd, per meetcyclus, ligt dus tussen 2,6 en 2,8 seconden. Aan het begin van iedere nieuwe ponsband wordt binnen 0,1 sec. nog een extra kenmerkwoord vastgelegd.

### 3.1.3. Snelheid van "synchronisatieklokpuls".

In het systeem is een centrale klokpuls toegepast met een frequentie van 10 kHz. Dit is een **symmetrische en rechthoekig** spanningsverloop ("kanteelspanning"). De flanksteelheden van opgaande - en neergaande flank bedragen ongeveer 20 nsec., terwijl de afstand tussen overeenkomstige flanken 100  $\mu$ sec. bedraagt.

Het systeem moet een groot aantal opdrachten of commando's "sekwentieel" (in een reeks achter elkaar) uitvoeren. Deze opdrachten worden in het systeem vertolkt door logische spanningsniveaus (bijvoorbeeld "0" = 0 Volt, "1" = +5 Volt).

Het in werking zijn van een bepaald onderdeel van de apparatuur (bijvoorbeeld ponsing van een karakter) wordt in het volgende aangegeven door een "0" van een "statussignaal". Dit is dus een indicatie voor: opdracht in uitvoering. Zodra de opdracht beëindigd is, gaat dit signaal naar "1". Men geeft dit ook wel aan met de termen: "lag" (vlag), "Busy" (bezet) of "Ready" (klaar voor volgende opdracht). Hierna kan een nieuwe opdracht gegeven worden.

Het is de "centrale klokpuls" die de uitvoering van de opeenvolgende opdrachten harmoniseert. Een opdracht kan een complex karakter vormen, dat wil zeggen afkomstig van diverse opdrachtgevers. Door nu deze opdrachten door één onafhankelijke instantie te laten honoreren krijgen wij een harmonisch proces. Dit nu is de functie van het centrale klokpulssignaal, dat om de 100  $\mu$ sec. de indicatiesignalen (zoals statussignaal) bemonstert.

Dit betekent tevens dat signalen, met kortere levensduur dan 100  $\mu\text{sec.}$  en buiten het bemonsteringsinterval (duur ongeveer 20 nsec.) vallende, niet herkend worden. Externe stoorsignalen hebben als eigenschap dat zij kortdurend ( $< 10 \mu\text{sec.}$ ) zijn en willekeurig in de tijd optreden ("Randomverdeling"). Door klokpulssturing is er dus tevens een scheiding aanwezig tussen stuur- en stoorsignalen. Men spreekt in dit verband over: digitaal filteren.

Doordat opdrachten via verschillende wegen samen komen, onder- vinden zij verschillende vertragingen. Apparatuur technisch betekent dit dat er zeer kortdurende tussentoestanden optreden: interne stoorsignalen. In de schakeltechniek spreekt men daarom van risico's (of "Hazards"), ook het effect hiervan wordt door een volledig klokgestuurd ontwerp geëlimineerd.

#### 3.1.4. Uitsteltijden ten gevolge van klokpulsperioden.

In het klokgestuurde systeem treden veranderingen op kort na (en ten gevolge van) een van de klokpulsflanken. De hierop volgende flank detecteert deze verandering, er ontstaat daardoor een maximale uitsteltijd van de opdracht over één klokpulsperiode. Dit is de inverse van de klokpulsfrequentie:  $\nu_{\alpha}$ . De maximale totale vertraging  $\tau_{\text{max}}$  in het systeem bedraagt (zie par. 3.1.5.) ongeveer 1  $\mu\text{sec.}$ , terwijl de minimale verwerkingstijd  $T_v$  (zie par. 3.1.1. en 2) op 10 msec. afgerond kan worden. De optimale klokpulsfrequentie ligt hier tussen in:

$$\frac{1}{\tau} \ll \nu_{\alpha} \ll \frac{1}{T_v} \quad (3.1.)$$

Wij kiezen daarom  $\nu_{\alpha} = 10 \text{ kHz}$ , waardoor een "minimale uitsteltijd" van 100  $\mu\text{sec.}$  In sommige deelschakelingen van het opslag-systeem zijn uitsteltijden toegepast die een veelvoud zijn van een klokpulsperiode ( $\alpha$ ). In de multiplexers is bijvoorbeeld de opdracht "startponser" over één extra  $\alpha$  uitgesteld om het overslaanprincipe te kunnen realiseren.

Uit formule (3.1.) zal duidelijk zijn dat de uitsteltijden (ten gevolge van klokpulssturing) en de schakeltijden (ten gevolge van vertraging in de componenten) te verwaarlozen zijn t.o.v. de verwerkingstijden van a - d omzetting en uitvoer.

### 3.1.5. Vertragingstijden van de componenten.

Een digitale schakeling behoort met behulp van de Boole-algebra ontworpen te worden [1]. De keuze van de toe te passen componenten wordt bepaald door de verlangde snelheid, betrouwbaarheid en kostprijs.

De data-automaat bestaat voornamelijk uit digitale geïntegreerde schakelingen (I.C. = "Integrated Circuit"). Dit is een verzamelnaam voor logische schakelingen, die in één omhulling (2 x 1 x 0,5 cm), met behulp van een groot aantal transistors zijn opgebouwd (T.T.L. = Transistor - Transistor - Logica van de 7400 serie). Er is in de I.C.'s een zeer snelle ontwikkeling gaande: er komen steeds complexere geïntegreerde deelschakelingen op de markt. Daarbij worden tevens de fabricageprincipes aangepast: de transistor wordt vervangen door "Mosfets".

De basiseenheid in een T.T.L.-schakeling bezit een schakeltijd van 10 - 20 nsec. Bij complexe schakelingen (bijvoorbeeld veel poorten achter elkaar) ontstaan vertragingstijden ( $\tau$ ) van 500 - 1000 nsec. Deze waarden zijn verwaarloosbaar klein t.o.v. de verwerkingstijden van de toegepaste a - d conversie en data-opslag (zie formule 3.1.).

De enige mechanische componenten in de apparatuur bestaan uit schakelaars en "reed-contacten". Bij een mechanische schakelaar moet rekening gehouden worden met het denderen ("bouncing") van de contacten. Met behulp van een digitaal geheugen (rs - flipflop) is het effect hiervan te elimineren [1]. De "reed-contacten" zijn toegepast om de analoge spanningen te verschakelen (zie fig. 1). Dit zijn mechanische contacten (in een hermetisch afgesloten omhulsel), die door een magnetisch veld geschakeld worden. De maximale schakeleenheid, waarbij zij nog betrouwbaar werken, is te stellen op 200 Hz. In het systeem worden zij iedere 2 minuten eenmaal in- en uitgeschakeld. De tijd tussen in- en uitschakelen bedraagt daarbij ongeveer 100 msec. Om overlapping van twee analoge spanningen te voorkomen is het noodzakelijk de contacten in een "verbreek voor maak" volgorde te laten werken. Dit betekent een snellere afval- dan inschakeltijd.



Bij de gebruikte "reed-relais" (reed-contacten in een spoel) betekende dit vertragingstijden in de orde van 0,5  $\mu$ sec. (door een onderspanning van 8 Volt). Voor de "dendertijd" van de contacten moet nog eens 1 - 2 msec. in rekening gebracht worden.

Bij de overschakeling naar een volgende meetwaarde is hiermee rekening gehouden: de start van de a - d conversie wordt 10 msec. uitgesteld (par. 3.1.1.).

### 3.2. Verwerkingssnelheid bij magneetbandregistratie.

De data-opslag verloopt bij een magneetband sneller dan bij de ponsband, ook de pakkingsdichtheid (zie par. 3.3.) is veel hoger. De maximale verwerkingssnelheid van de gebruikte incrementele magneetbandrecorder bedraagt 1 kHz, dat is 1000 karakters/sec. Voor de opslag van een meetwaarde is slechts: 6 msec. nodig. Omdat de "integrerende a - d conversie" veel langer duurt (par. 3.1.1.), verzorgt de besturing in de opslagautomaat een "opslag tijdens meten" principe. Dit betekent dat de a - d conversie het tijdbepalende element wordt (in het vorige geval was dit de ponser). De registratie van een 2 minuten meetcyclus verloopt dan binnen 1,4 seconden.

Het toepassen van een sneller a - d conversieprincipe (< 5 msec.), zou een optimale magneetbandregistratie tijd opleveren van 0,2 sec. per meetcyclus. Zoals, reeds opgemerkt, is de apparatuur in beginsel ontworpen voor ponsbandregistratie, waarbij zo'n snellere digitale voltmeter geen tijdwinst zou opleveren. Alleen bij een drastische verhoging van het aantal kanalen of van de bemonsterfrequentie, zou dit in overweging genomen kunnen worden (zie par. 4.6.). Doordat er voorafgaande aan de a - d conversie op ieder meetsignaal een analoge filtering wordt toegepast is er weinig bezwaar tegen een snellere digitale voltmeter. De besproken "storingsonderdrukking" (par. 3.1.1.), wordt dan overgenomen door de "bemonster en houd" schakeling, zie par. 4.6.

Ieder meetcyclus wordt op de magneetband afgesloten door een blokhaat (par. 2.3.). De vorming hiervan kost ongeveer 37 msec., gedurende deze tijd is de magneetbandrecorder geblokkeerd voor data-opslag.

### 3.3. Opslagcapaciteit van de uitvoermedia.

Aan de data-opslagautomaat zijn twee typen uitvoerorganen gekoppeld: de ponsmachine (Facit 4070) en de incrementele magneetrecorder (Racal T5000). Voor beiden zijn de opslagmedia internationaal gestandariseerd: rollen band van vastgestelde afmetingen binnen scherpe toleranties. Hieronder volgen de kenmerkende verschillen tussen beide opslagmedia:

	ponsband	magneetband	
verwerkingssnelheid	75	1000	karacters/sec.
pakkingsdichtheid	0,395	31,5	karacters/mm.
pakkingsdichtheid	10	800	b.p.i.
karacterafstand	25,4	0,0317	mm.
karacterafstand	0,1	0,00125	inch
bandlengte	300	720	m.
capaciteit zonder blokhiaat	12 . 10 <sup>4</sup>	22 . 10 <sup>6</sup>	karacters
lengte blokhiaat	----	15 à 16	mm.
bloklengte	186	186	karacters
bloklengte	472	5,9	mm.
meetcycli met blokhiaat	638	33 . 10 <sup>3</sup>	blokken
registratieduur	21,2	46	uur/etmaal

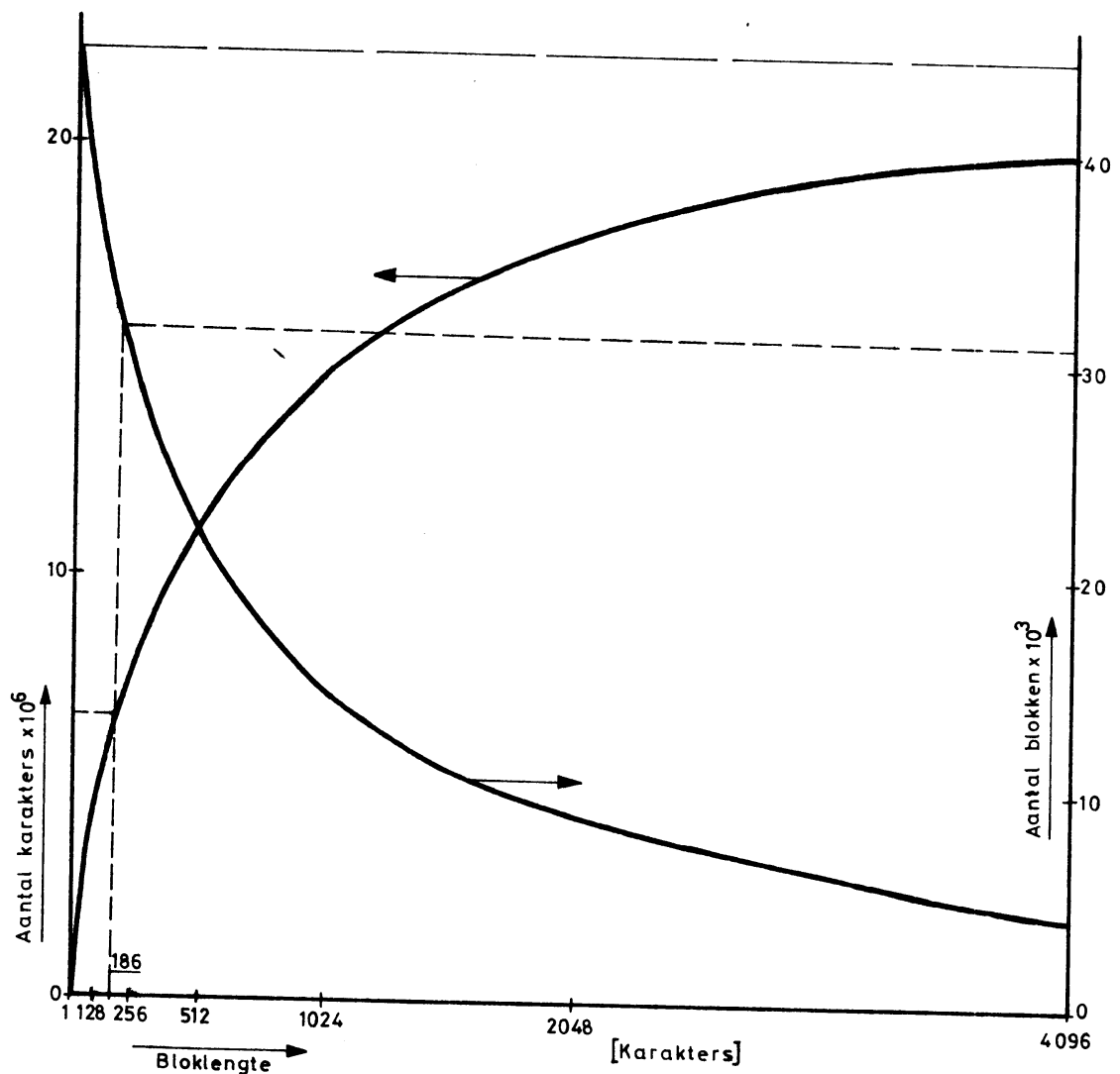
Tabel 3.1. Uitvoermedia: pons versus magneetband in de opslagautomaat.

De dimensie voor de pakkingsdichtheid is nogal eens verwarrend; met 800 b.p.i. wordt bedoeld dat er 800 bits per inch op één spoor van de magneetband passen. Soms is men duidelijker en spreekt van 800 "rows per inch" (= kolommen). Vermoedelijk heeft b.p.i. echter een andere herkomst: I.B.M. noemt een 8-bits karakter een "byte", vandaar 800 "bytes per inch".

Een algemene definitie zou zijn: het totale aantal databits per lengte-eenheid. Het aantal sporen op de band en coderingskeuze bepaalt dan hoeveel karacters er op een lengte-eenheid passen. Ter illustratie: de hoogste dichtheid voor decimalen wordt bereikt door 2 B.C.D.-waarden per 8 bits in één kolom op te nemen ("packed decimal").

Daardoor kunnen zelfs 1600 cijfers per inch opgeslagen worden (zonder het modulatieprincipe te wijzigen).

De bloklengte - in tabel 3.1. - is niet optimaal, de magneetband is meer "leeg dan vol". De keuze ervan is een compromis tussen een zo hoog mogelijke opslagcapaciteit en een zo efficiënt mogelijke foutendetectie. Bij niet al te grote bloklengte zijn zelfs fouten te verbeteren, zie par. 2.3. De opslagcapaciteit neemt daarentegen toe met vergroting van de bloklengte, zie fig. 3.1.

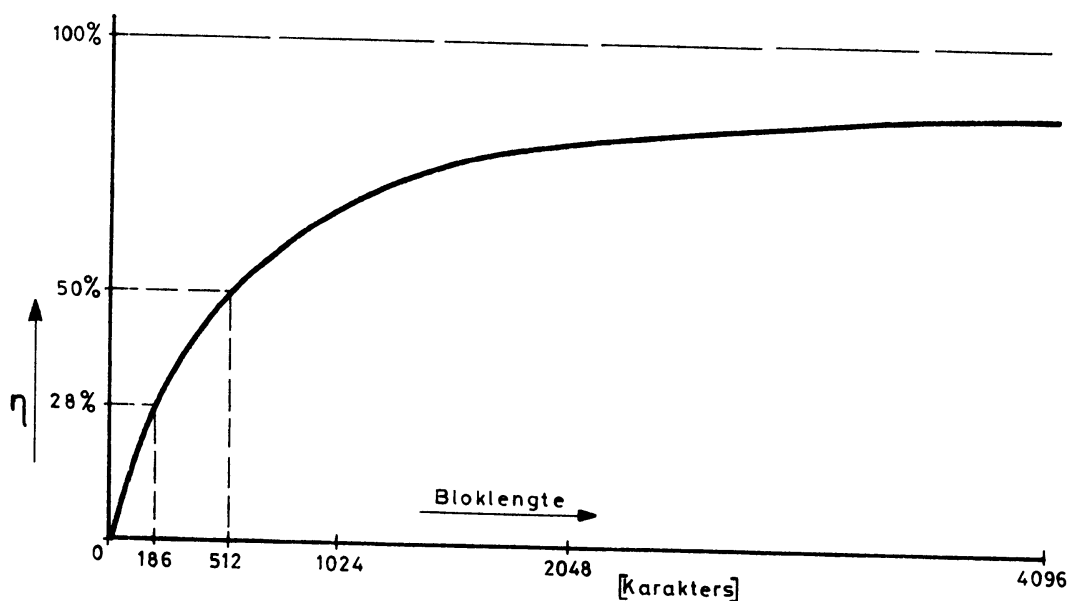


figuur 3.1. De opslagcapaciteit van de magneetband als functie van de bloklengte.

De minimale opslagcapaciteit is  $\approx 45 \cdot 10^3$  karakters en wordt bereikt door slechts één karakter per blok te kiezen; in dat geval is de foutendetectie mogelijkheid 100%.

De maximale opslagcapaciteit bedraagt  $\approx 22 \cdot 10^6$  karakters en ontstaat door de band in één blok volledig vol te schrijven. Van een foutendetectie moet in dat geval niet veel meer verwacht worden!

In de figuur is eveneens aangegeven hoeveel meetcycli (blokken) er nog op de magneetband passen, indien het aantal meetwaarden per meetcycli opgevoerd wordt. De 26 meetwaarden leveren, samen met de achtergrondinformatie, 186 karakters per blok. Op de magneetband kunnen daardoor  $16 \cdot 10^6$  karakters in  $33 \cdot 10^3$  blokken geschreven worden. Bij het registreren van 50 metingen ontstaan 330 karakters per blok. De totale capaciteit, van de magneetband, wordt dan  $9 \cdot 10^6$  karakters in  $28 \cdot 10^3$  blokken. Dit betekent dan een registratieduur van 39 etmalen. De opslagcapaciteit neemt dus met 50% toe, terwijl de registratieduur slechts met 17% afneemt. Men spreekt in dit verband over een "opslagrendement" ( $\eta$ ) dat gelijk is aan de verhouding tussen de opslagcapaciteit met - en zonder blokideling. Een volledig beschreven band kan  $22 \cdot 10^6$  karakters bevatten. Bij een bloklengthe van 186 karakters is dan  $\eta = 28\%$ , terwijl bij 330 karakters  $\eta = 40\%$  en bij 512 karakters  $\eta = 50\%$ , zie fig. 3.2.



Figuur 3.2. Magneetbandrendement.  $\eta$ .

(tek17-2-054)

Zolang er met ponsbandregistratie gewerkt wordt, is het aantal meetwaarden (wat nu 26 bedraagt) praktisch niet op te voeren. Met behulp van de 5 ponsers is een weekeinde ruim te overbruggen, men moet echter de 5e ponsers als mechanische reserve beschouwen. Pas zodra er van magneetbandregistratie gebruik gemaakt wordt, door de aanwezigheid van 1 of 2 incrementele magneetbandrecorders, kan aan een verhoging van het aantal metingen gedacht worden. Of dit echter wenselijk is, hangt zeker niet alleen af van de opslagcapaciteit.

#### 4. BEMONSTERFREQUENTIE EN FILTERING VAN DE ANALOGE MEETSIGNALLEN

##### 4.1. Intrinsieke middeling door meetvoeler.

Ieder instrument bezit een zekere traagheid in het reageren op fluctuerende meetgegevens [2]. Of dit in een voor- of nadelig effect resulteert hangt af van de intentie van de meting. De reactietijd ( $\tau$ ) veroorzaakt een verzwakking van vooral de hoogste fluctuatiefrequenties ( $\nu$ ). Indien men alleen geïnteresseerd is in gemiddelden (macrostructuur van de atmosfeer) dan is deze afvlakking van het meetgegeven gunstig. Hierbij moet echter wel in aanmerking genomen worden dat de meeste instrumenten een exponentiële middelling opleveren. Dit is niet hetzelfde als een lineair gemiddelde. Het verschil zit in de gewichtsfactoren, die respectievelijk  $\exp. (-t/\tau)$  en 1 zijn. In een  $\tau = RC$  gemiddelde is de bijdrage van het verre verleden kleiner dan van het nabije verleden. Daarnaast zijn de reponsietijden meestal geen constante factoren, zo neemt bijvoorbeeld voor de anemometers en windvanen de  $\tau$  af bij toenemende windsnelheid.

Is men daarentegen meer geïnteresseerd in de energieverdeling van de fluctuatiefrequenties (microstructuur) dan kan de enige responsietijd van een instrument storend werken. De meeste instrumenten zijn namelijk te beschouwen als "1e orde filters". Deze bezitten een zogenaamde breuk- of kantelpunt  $\nu_c$  (c van "cut-off") in het frequentiedomein. Frequenties  $\nu \ll \nu_c$  ondervinden praktisch geen verzwakking. Voor  $\nu = \nu_c$  is de verzwakking 3dB ( $= \frac{1}{\sqrt{2}}$ ) in amplitude. Is  $\nu > \nu_c$  dan neemt de verzwakking toe met een factor 6n dB/octaaf. Hierin is n de orde van het filter en betekent octaaf een verdubbeling van de frequenties.

Het frequentiespectrum  $|X(\nu)|$  (= amplitude als functie van de frequentie) geeft voor  $\nu > \nu_c$  een "verzwakte" weergave van de werkelijkheid.

Conclusie: Het vergelijken van (exp.) gemiddelden stelt eisen aan de gelijkvormigheid van de gebruikte instrumenten namelijk identieke  $\nu$ .

Bij spectraal onderzoek moet, vooral in het hoog frequente deel van het spectrum, rekening gehouden worden met de eindige reactietijd van de gebruikte instrumenten: sensor, overdracht en registratie.

#### 4.2. Energiespectra.

De data-opslagautomaat is in gebruik om het meteorologisch onderzoek in de grenslaag mogelijk te maken. Onder anderen worden de grof- en fijnstructuur van meteorologische tijdreeksen  $x(t)$  bestudeerd. Hierbij gaat het om onderzoek op verschillende tijdschalen van snelle turbulente verschijnselen tot vele uren, bijvoorbeeld de dagelijkse gang.

Een effectief hulpmiddel vormen hierbij energiespectra, deze geven de energieverdeling over de fluctuatiefrequenties van de meteorologische parameters. Als voorbeeld is het voor windgevoelige constructies van belang te weten in welke frequentieband de hoogste windenergieën voorkomen. Bij een ontwerp is hier in verband met resonantiefrequenties rekening mee te houden.

Uit de door instrumenten verkregen analoge spanning is met behulp van de klassieke fouriertransformatie het energiespectrum te berekenen. Wil men de gehele frequentieband bestrijken dan is het noodzakelijk om snel reagerende instrumenten (kleine  $\tau$ ) te kiezen. Vooral bij een eerste opzet is dit van belang, indien geen apriori-informatie over het meetgegeven aanwezig is, zie par. 4.5.

#### 4.3. Bemonstertheorema.

Voor het verwerken van de meteorologische metingen op een digitale rekenmachine is het verkrijgen van numerieke gegevens een vereiste: kwantisering van meettijd en signaalgrootte [2]. De signaalgrootte wordt gekwantiseerd door middel van een a - d conversie, zie par. 3.1.1. De kwantisering in de tijd wordt verkregen door het analoge signaal op bepaalde (al of niet equidistante) tijdstippen te bemonsteren.

Shannon heeft aangetoond dat voor het bemonsteren van een tijdsignaal  $x(t)$  een eindig aantal bemonsteringen per tijdseenheid kan volstaan opdat het oorspronkelijke signaal exact gereconstrueerd kan worden.

Het signaal  $x(t)$  moet daartoe wel in bandbreedte begrensd zijn, dat wil zeggen er moet een maximale frequentie  $W$  zijn. Nemen wij aan dat het meteorologische meetgegeven geen hogere frequenties vertoont dan  $W$ -fluctuaties per seconde, dan is het signaal  $x(t)$ , binnen het tijdsinterval  $0 < t < T$ , volledig bepaald door  $2WT$ -bemonsteringen. Dit is te realiseren door het signaal  $x(t)$  op tijdstippen met onderlinge afstand  $\Delta t$  te bemonsteren, waarbij  $\Delta t$  moet voldoen aan:

$$\frac{T}{\Delta t} + 1 = 2WT \quad (4.3.1)$$

$$\Delta t \approx \frac{1}{2W}, \text{ indien } \Delta t \ll T \quad (4.3.2)$$

Door in het gegeven tijd- en frequentiegebied aan bovenstaande relatie te voldoen gaat geen selectieve informatie verloren. Hieronder verstaan wij de twijfel die opgeheven wordt door een keuze of selectie. Deze twijfel is vanzelfsprekend des te groter naarmate minder van het te meten signaal a-priori (vooraf) bekend is, zie par. 4.5.

Formule (4.3.2.) is een gelijkheidseis, wat is het gevolg als hieraan niet voldaan wordt? Het antwoord hierop vergt enige toelichting van het bemonsteringstheorema. Men kan het bemonsteren van analoge meetsignalen beschouwen als een vermenigvuldiging van het signaal  $x(t)$  met een pulstrein  $p(t)$  met herhalingsfrequentie gelijk aan de bemonsterfrequentie  $\nu_s (= 1/\Delta t)$  en  $s$  van "sample" en oppervlakte van de pulsen 1. Het bemonsterde signaal is dan - voorzien van een ster - gelijk aan:

$$x^*(t) = x(t) \cdot p(t) \quad (4.3.3)$$

Indien  $x(t)$  absoluut convergeert, (wat alleen mogelijk is binnen een eindige meetduur  $T$ ) levert fouriertransformatie in het frequentiedomein het volgende spectrum op:

$$\bar{X}^*(\nu) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \bar{X}(n\nu_s - \nu) = \bar{X}(\nu) + \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \bar{X}(n\nu_s - \nu) + \bar{X}(n\nu_s + \nu) \right] \quad (4.3.4)$$

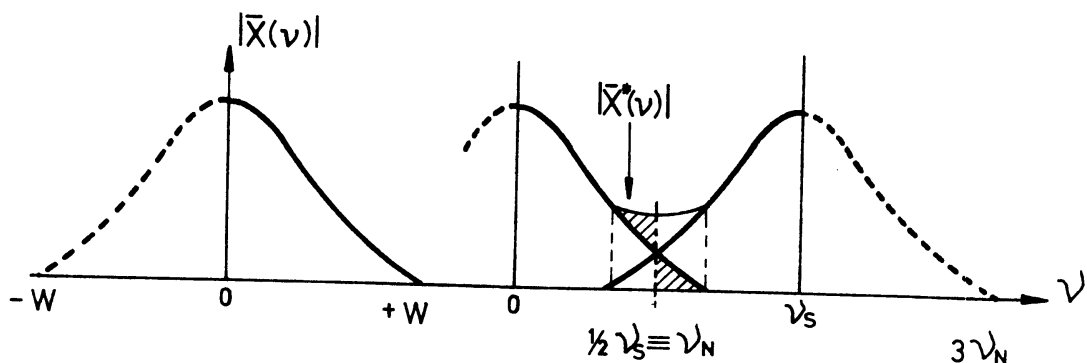
Naast het oorspronkelijke spectrum  $\bar{X}(\nu)$  ontstaat er door het bemonsteren extra spectra van dezelfde gedaante maar over  $\nu_s$ ,  $2\nu_s$ ,  $3\nu_s$  etc. naar rechts en links verschoven, "zijbanden".



Wij nemen weer aan dat aan de eis van Shannon voldaan is namelijk  $\bar{X}(\nu)$  is in bandbreedte  $W$  begrensd. Dit betekent dat de amplitude  $|X(\nu)|$  boven een bepaalde frequentie  $W$  verwaarloosd kan worden: alleen binnen het venster  $W$  (= "window") is energie  $|X(\nu)|^2$  aanwezig.

Bij het kwantiseren in de tijd (= bemonsteren) kunnen wij drie gevallen onderscheiden:

- $\nu_s > 2W$ , dan ontstaan door het bemonsteringsproces elkaar niet overlappende zijbanden. In dat geval worden meer bemonsteringen van het signaal genomen dan strikt nodig is. Hierdoor treedt "redundantie" (= overvloedigheid) op; vergelijk hiermee het feit dat in de spreektaal onverstanebare woorden of letters nog te raden zijn door hun statistische volgorde.
- $\nu_s = 2W$ , dan sluiten de zijbanden juist aan elkaar en is exact aan "Shannon eis" in formule 4.3.2 voldaan.
- $\nu_s < 2W$ , hierdoor ontstaan elkaar overlappende zijbanden. Dit levert problemen op, omdat er bij het oorspronkelijke spectrum deze overlappende gedeelten opgeteld worden, zie fig. 4.3.1.



Figuur 4.3.1. Het "vouweffect" t.g.v. te lage bemonsteringsfrequentie.

In bovenstaande figuur is alleen de eerste zijband genomen, dan is:  $\bar{X}^*(\nu) = \bar{X}(\nu) + \bar{X}(\nu_s - \nu)$ . Het overlappen van de frequentiebanden heeft het grootste effect in de buurt van de "vouw- of Nyquist" frequentie  $\nu_N$ , die per definitie gelijk is aan de helft van de bemonsterfrequentie  $\nu_s$ .

Doordat nu de zijbanden gespiegeld zijn t.o.v.  $\nu_N$  is het door bemonsteren verkregen spectrum  $\bar{X}^*(\nu)$  als het ware ontstaan door het oorspronkelijke spectrum  $X(\nu)$  te vouwen om  $\nu_N$ . Dit omgevouwen gedeelte is afkomstig van de frequentiebijdrage boven  $\nu_N$  en wordt opgeteld bij de frequentiespectrum beneden  $\nu_N$ . Indien nu het oorspronkelijke signaal (eventueel ruis van) hogere frequenties dan  $\nu_N$  zou bevatten komen deze door het vouwen bij lagere frequenties terecht: vouweffect of aliasing. Dit verschijnsel is ook wel bekend bij rotatiemetingen: stroboscopisch effect.

#### 4.4. Invloed van het "vouweffect" op energiespectra.

De intensiteit of "spectrale energiedichtheid" wordt weergegeven door de reële grootte  $P(\nu) = |\bar{X}(\nu)|^2$ . Dit geeft dus de energieverdeling (P van "Power") in het frequentiedomein.

Formule (4.3.4.) gaat dan over in:

$$P(\nu)^* = P(\nu) + \sum_{k=1}^{\infty} P(2k\nu_N \pm \nu) \quad (4.4.1)$$

De 2e term in het rechterlid vormt de "aliasing" fout: door het terugvouwen om de Nyquistfrequentie wordt de energiebijdrage boven  $\nu_N$  opgeteld bij de frequenties beneden  $\nu_N$  ("alias" = letterlijk op andere plaats). De "bemonsterings" fout is des te groter naarmate meer energie in het spectrum aanwezig is, boven  $\nu_N$ . Het terugvouweffect treedt periodiek op bij  $\nu_N$ ,  $2\nu_N$ ,  $3\nu_N$  etc. en is cumulatief.

Wij kunnen bovenstaande formule vereenvoudigen, door te stellen dat de fluctuatiefrequentie  $\nu_k$ , die de bemonsteringsfout oplevert, gelijk is aan:

$$\nu_k = 2k\nu_N \pm \nu \quad (4.4.2)$$

Hierin ligt  $\nu$  in het ongestoorde frequentie-interval  $0 \leq \nu \leq \nu_N$ , terwijl  $\nu_k$  zich juist daarbuiten bevindt  $\nu_k \geq \nu_N$ .  $P(\nu_k)$  is dus een werkelijk optredende fluctuatie-energie die boven  $\nu_N$  in het spectrum aanwezig is. Door het bemonsteringsproces wordt deze energie terruggevouwen naar de frequentie  $\nu$ , bepaald door formule 4.4.2.

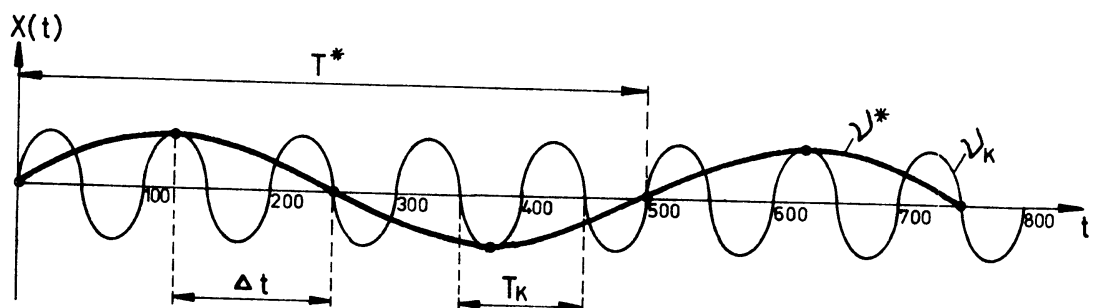
Ook al is er in het meetsignaal geen fluctuatie aanwezig op frequentie  $\nu$ , toch kan er door het kwantiseren in de tijd een frequentiebijdrage op  $\nu = \nu^*$  ontstaan, vandaar de benaming "illusionnaire" fluctuatiefrequentie. De steraanduiding staat weer voor bemonsteringseffect.

In de data-opslagautomaat is een bemonsterperiode ( $\Delta t$ ) van 2 minuten gekozen. Dit levert  $\nu_N = \frac{1}{2} \nu_s \approx 0,004$  Hz.

Als illustratie van het bovenstaande nemen wij aan dat de meetwaarde enkel en alleen bestaat uit een sinusvormig signaal met een periodeduur van 100 sec., dat wil zeggen  $\nu_k = 0,01$  Hz. Deze frequentie zit links van  $3\nu_N$  in de eerste zijband van figuur 4.3.1, met andere woorden  $k = 1$ . Doordat  $\nu_k > 2\nu_N$  treedt het terugvouweffect tweemaal op (cumulatief karakter).

De "illusionnaire" frequentie, die ontstaat door het bemonsteringsproces, volgt nu uit formule (4.4.2) en bedraagt:  $\nu^* = 0,002$  Hz.

Hoe zo'n lager frequent signaal ontstaat uit een hoger frequent signaal is geïllustreerd in figuur 4.4.1.

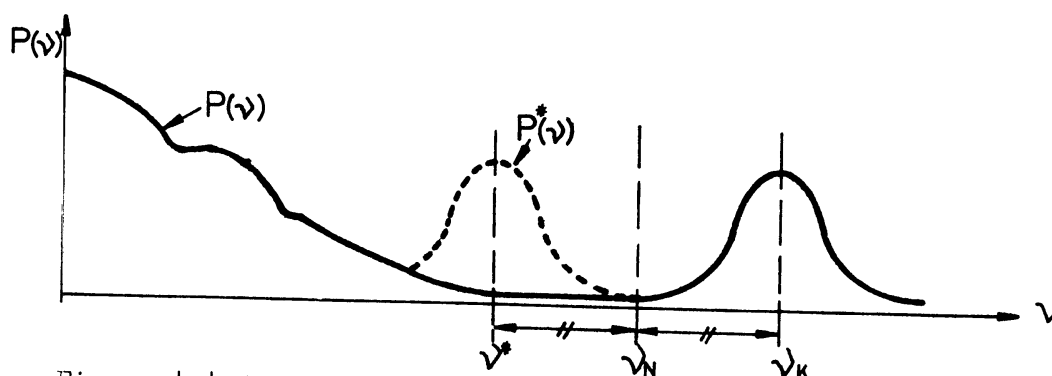


Figuur 4.4.1. Het ontstaan van "illusionnaire" frequenties ten gevolge van te langzaam bemonsteren.

$t$	= periode tussen bemonsteren	= 125 sec.
$T_k$	= periode van meetsignaal	= 100 sec.
$T^*$	= periode van illusionair signaal	= 500 sec.

Door het periodieke karakter ( $k = 1, 2, 3 \dots$ ) van het (cumulatieve) terugvouweffect ontstaat deze "illusionaire" fluctuatiefrequentie ook door andere frequenties, die in het meetsignaal aanwezig zijn. In dit geval ontstaat  $\nu^* = 0,002$  Hz door  $\nu_k = 0,01$  Hz, maar ook door  $\nu_k = 0,006; 0,014; 0,018; 0,022; 0,026 \dots$  Hz. Door het bemonsteringsproces zien wij geen verschil tussen harmonische signalen met frequenties  $\nu, 2\nu_N - \nu, 2\nu_N + \nu, 4\nu_N - \nu, \text{etc.}$ ; het bemonsteren functioneert als een frequentietransformator.

In figuur 4.4.2 is tenslotte dit extreme geval aangegeven namelijk het ontstaan van toppen in het energiespectrum die in het werkelijke spectrum bij een hogere frequentie horen.



Figuur 4.4.2. Het "terugvouwen" van energiën boven de Nyquist-frequentie.

$P(\nu)$  = spectrum van het meetgegeven

$P^*(\nu)$  = spectrum ontstaan door bemonsteren

#### 4.5. "Aliasing" fout verminderen door filteren vooraf.

Is er in het meetsignaal nog energie aanwezig boven de Nyquist-frequentie dan vervormt dit het spectrum beneden  $\nu_N$ , volgens formule 4.4.1. Er zijn dan ook twee - moeilijk te realiseren - methoden om deze vervorming tot een minimum te beperken:

- kies de bemonsterfrequentie  $\nu_s$  zo hoog dat er zich boven  $\nu_N (= \frac{1}{2}\nu_s)$  geen energie bevindt.
- zorg ervoor dat alle energie boven  $\nu_N$  weggefilterd wordt voor het bemonsteren.

In het eerste geval is veel geheugen- en/of verwerkingscapaciteit nodig om het grote aantal numerieke bemonsterwaarden te verwerken.

In het tweede geval zou men moeten beschikken over een ideaal rechthoekig filter, dit is echter fysisch niet realiseerbaar.

In beide gevallen moet men bedenken dat ook het instrument al een zekere filtering op het tijdssignaal uitoefent, zie par. 4.1. Dit laatste betekent dat de optimale bemonsteringsfrequentie begrensd wordt door de traagheid van de gebruikte instrumenten.

Voornameijk vanwege de beperkte opslagcapaciteit van het uitvoermedium ponsband is een bemonsterperiode gekozen van 2 minuten. Met behulp van de aanwezige 4 ponsmachines, in de data-opslagautomaat, kunnen 3 à 4 dagen overbrugd worden voordat de ponsbanden verwisseld moeten worden.

De bemonster- en Nyquistfrequentie bedraagt daarmee resp.

$$\nu_s = 0,0083 \text{ Hz en } \nu_N = 0,00415 \text{ Hz } (\approx 0,004 \text{ Hz}).$$

Omdat er boven deze frequentie nog energie in het meteorologisch gegeven aanwezig is, moet dit vooraf gefilterd worden. Men zou deze filtering kunnen zoeken in de keuze van de instrumenten. Zoals reeds aangegeven is dit moeilijk realiseerbaar doordat de reactietijden daarvan variabel zijn. De keuze is daarom gevallen op een eenvoudige (1e orde) RC-netwerk. Omdat het de opzet is om hogere frequenties te verzwakken is hier sprake van een laagdoorlaatfilter (L van "low-pass"). De energie-overdracht van zo'n 1e orde filter wordt gedefiniëerd door:

$$L(\nu) = \left| \frac{\bar{H}(\nu)}{H_0(\nu)} \right|^2 = \frac{P_1(\nu)}{P_0(\nu)} = \frac{1}{1 + (\omega\tau)^2} \quad (4.5.1)$$

Hierin zijn  $P_0$  en  $P_1$  de energieën aan resp. in- en uitgang van het filter en  $\omega = 2\pi\nu$ . Op de kantelpuntfrequentie ( $\nu_c$ , zie par. 4.1.) wordt de energie tot de helft teruggebracht. Uit figuur 4.3.1 is op te maken dat op de Nyquistfrequentie de energie door het terugvouweffect verdubbeld wordt.

Dit betekent dat voor dit geval - energie tot in eerste zijband - de "aliasing" fout exact door het filter opgeheven wordt als wij  $\nu_c = \nu_N$  kiezen. Dit geldt uiteraard alleen voor de frequentie  $\nu_N$ . De correcties voor andere frequenties is alleen te schatten, indien men reeds een a-priori kennis bezit over het te meten (berekenen) energiespectrum.

De aan de bemonstering voorafgaande analoge filtering  $L(\nu)$  is namelijk in rekening te brengen, doordat:

$$\overline{P(\nu)}^* = P(\nu) \cdot L(\nu) + \sum_{k=1}^{\infty} P(2k\nu_N + \nu) \cdot L(2k\nu_N + \nu) \quad (4.5.2)$$

Hierin is de exponentiële middeling die het filterproces teweeg brengt aangegeven, door de horizontale streep boven  $P$ . Al naar gelang meer bekend is over het turbulente gedrag van het meetgegeven kan deze formule meer of minder vereenvoudigd worden. Ook is vanzelfsprekend de nauwkeurigheidseis, die men aan het te berekenen energiespectrum stelt, van invloed op een toe te passen benaderingsformule. Zo gaat Kaimal [4] er vanuit dat boven  $2\nu_N$  geen energie meer in het spectrum voorkomt, terwijl Sabinin [5] voorzichtiger is en rekent tot  $3\nu_N$ . Hierbij moet nog wel vermeld worden dat de eerste onderzoeker een speciaal geval behandelt, terwijl de tweede een algemeen nomogram opstelt voor de toe te laten benadering. Stellen wij ons nu voor dat er inderdaad praktisch geen energie aanwezig is boven  $2\nu_N$  dan gaat formule (4.5.2) over in:

$$\overline{P(\nu)}^* = P(\nu) \cdot L(\nu) + P(2\nu_N - \nu) \cdot L(2\nu_N - \nu) \quad (4.5.3)$$

Maken wij tevens gebruik van een 1e orde filter - volgens formule 4.5.1 - en bekijken wij het spectrum op  $\nu = \nu_N = \nu_c$  dan blijkt hiervoor de correctie exact te zijn. In dat geval is namelijk  $L(\nu) = L(\nu_N) = \frac{1}{2}$ , waardoor  $\overline{P(\nu)}^* = P(\nu)$ . Kaimal is verder in staat geweest om het spectrum te berekenen met een bemonsteringsfrequentie van ongeveer 1 Hz. Bij deze frequentie blijkt het energiespectrum volgens de  $(-5/3)$  macht van de frequentie af te nemen (machtwet van Kolmogorov - Obukhov). Boven de Nyquist frequentie vertoont  $P(\nu)$  van nature dus al een dalend karakter, door gebruik te maken van een 1e orde filter komt hier nog eens een verzwakking bij van 6 dB/octaaf. Dit betekent dat er van het oorspronkelijke spectrum op bijvoorbeeld  $2\nu_N$  een kwart is overgebleven om teruggevouwen te worden. Ook voor frequenties beneden  $\nu_N$  treedt natuurlijk een verzwakking op van de in het oorspronkelijke meetsignaal aanwezige energie.

Deze is voor bijvoorbeeld  $0,5 v_N$  gelijk aan  $L(0,5 v_N) = 0,9$ . Om een optimaal filter te ontwerpen is het dus noodzakelijk te specificeren welke nog resulterende vervorming in het signaal beneden  $v_N$  toegestaan kan worden t.o.v. de te bereiken vermindering van het terugvouweffect.

Hiervoor heeft Sabinin [5] een nomogram opgesteld. Ook hij gaat uit van een 1e orde analogefilter, maar laat turbulentie-energie toe tot  $3 v_N$ . Formule (4.5.2) is hierbij benaderd tot 2 correctietermen. In dat geval is niet meer eenvoudig  $v_N = v_c$  te nemen, doordat de extra correctie  $P(3v_N) \cdot L(3v_N)$  niet zondermeer gelijk nul gesteld kan worden. Sabinin lost dit op door, zoals reeds opgemerkt, de toegestane bijdrage van deze term te specificeren.

Het toepassen van hogere orde filters lijkt een betere remedie doordat daarbij de hogere frequenties sterker gefilterd worden. Dit voordeel wordt weer voor een deel te niet gedaan doordat tevens de lagere frequenties sterker afgezwakt worden. Een  $n^e$  ordefilter (dit is te realiseren met  $n$  eerste ordefilters in serie) levert een verzwakking van  $6n$  dB/octaaf boven  $v_c$  en op  $v_c$  is verzwakking  $2^n$ . Ook dit is echter weer in rekening te brengen door te eisen dat de energie, op  $v_N$ , tot de helft teruggebracht wordt. Hiervoor is, zoals reeds meerdere malen opgemerkt, een a-priorikennis van het spectrum noodzakelijk. M.i. is de opvatting van Sabinin het meest realistisch: zowel aan de traagheid ( $\tau$ ) van het instrument als aan de keuze van de bemonsterfrequentie ( $v_s$ ) moeten, door de intentie van het onderzoek, kritische eisen gesteld worden.

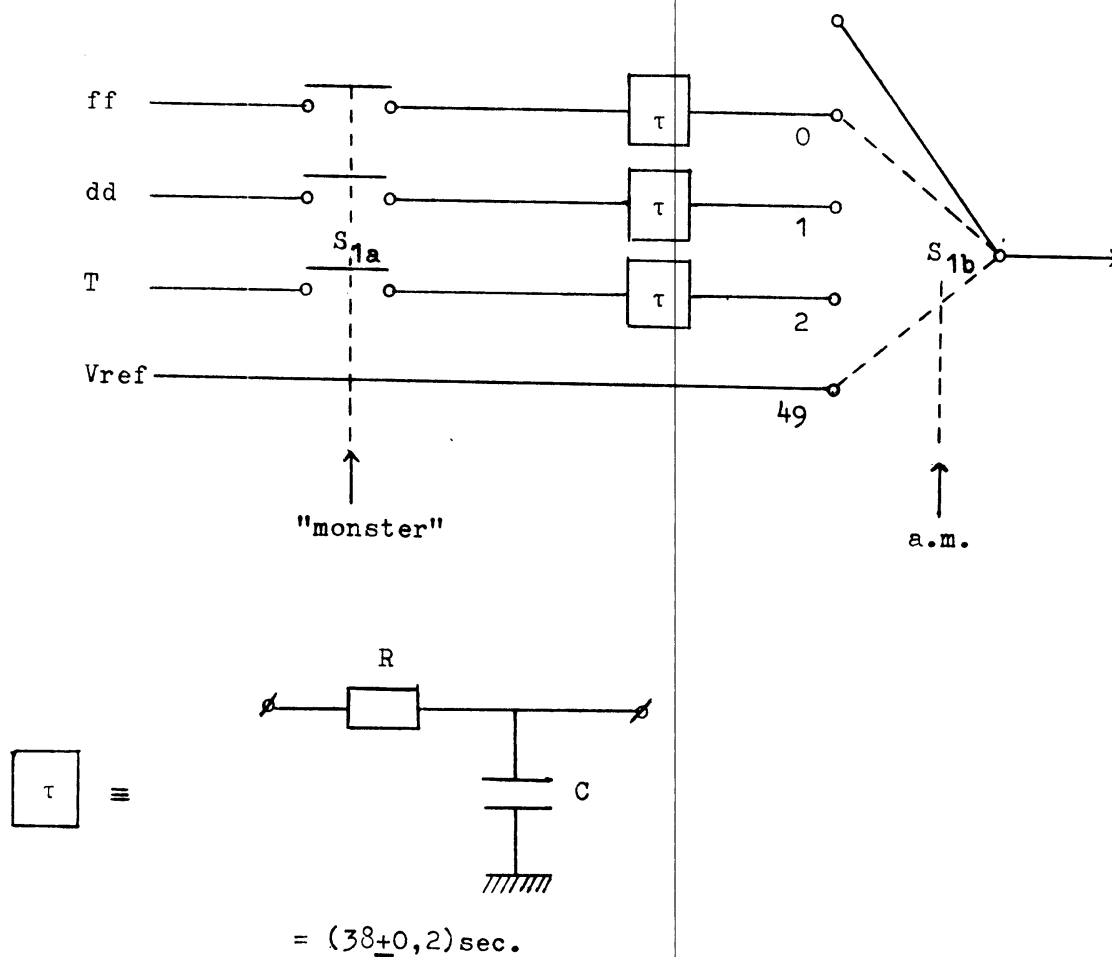
Wellicht ten overvloede wijzen wij erop dat bij zeer lage bemonsteringsfrequentie (bijvoorbeeld 3-maal daagse waarneming) er ook in het extreem laag frequentiedeel van het spectrum onder- of overschatting kan optreden [6].

#### 4.6. Toegepaste bemonsterfrequentie en realisering van de analoge filtering.

Zoals reeds opgemerkt, is in de data-opslagautomaat gekozen voor een bemonsterfrequentie  $v_s = 0,0083$  Hz. De analoge filtering vooraf is gerealiseerd met behulp van een RC-netwerk (passief filter). Het "breukpunt"  $v_c$  van dit 1e orde filter is zodanig gekozen dat op de Nyquistfrequentie  $v_N$ , de energie gehalveerd wordt.

Dit betekent een RC-tijd van  $\tau = \frac{1}{2 \pi v_N} = 38 \text{ sec.}$

De schakeling hiervoor is een uitbreiding van figuur 1 voor wat de analoge multiplexer (a.m.) betreft en ziet er als volgt uit:



Figuur 4.6.1. De bemonsterings- en afvlakschakeling in de data-opslagautomaat.



Het grootste deel van de tijd zijn de bemonsterschakelaars ( $S_{1a}$ ) gesloten en staat de meervoudige schakelaar  $S_{1b}$  in zijn neutrale positie. Dit betekent dat er gedurende die tijd een integratieplaats vindt van de meetsignalen. Op kanaal 49 is een constante ijkspanning aangesloten (zie par. 2.2.). Daarom is hier het RC-netwerk en schakelaar  $S_{1a}$  weggelaten, waardoor de bemonstering van dit kanaal plaatsvindt op het tijdstip van keuze door middel van schakelaar  $S_{1b}$ .

Iedere even minuut worden de meetspanningen op de analoge geheugens geïsoleerd: de bemonsterschakelaars gaan allemaal gelijktijdig open. Deze schakelaars blijven open totdat de meetwaarden van alle kanalen gedigitaliseerd en opgeslagen zijn. Gedurende deze tijd blijft de bemonsterde analoge informatie op de condensatorgeheugens bewaart ( $R_{lek} = 10^9$  Ohm). Men spreekt daarom van een "houdtijd" ( $t_h$ , h van "hold"), die in dit geval afhankelijk is van de keuze van het opslagmedium en aantal meetwaarden. De "houdtijd" is dus variabel en wel van 2,6 tot 2,8 seconden bij ponsbandregistratie, terwijl bij magneetbandgebruik  $t_h \approx 1,4$  sec.

Men moet zich goed realiseren dat de condensatoren in fig. 4.6.1 een tweeledige functie bezitten afhankelijk van de stand van de bemonsterschakelaar  $S_{1a}$ :

- a.  $S_1 =$  open en dit gedurende de houdtijd ( $t_h$ ), de condensatoren fungeren als tijdelijke geheugen.
- b.  $S_1 =$  dicht en dit gedurende de filtertijd ( $\Delta t - t_h$ ), de condensatoren ( $C = 10\mu F$ ) vormen samen met de weerstanden ( $R = 3M8$ ) het integrerende netwerk.

Bij ponsbandregistratie is de verhouding  $\Delta t/t_h \approx 40$ ; gedurende 1/40 deel van de tijd wordt er niet aan de meteorologische variabelen gemeten.

Bij data-opslagsystemen komt men vaak de uitdrukking "bemonster en houd" schakeling (S.H. = "Sample and Hold circuit") tegen. Hierbij is  $t_h$ , per definitie, zeer kort (10 - 100  $\mu$ sec.). In deze korte tijd moet de meetspanning volledig op de condensatorgeheugens overgenomen worden, dit eist een complexere schakeling dan in fig. 4.6.1 is gebruikt (o.a. stroombron en buffer met hoge ingangsweerstand). Wil men het meetsignaal vooraf filteren, ter voorkoming van "terugvouwfouten" in het energiespectrum, dan gebruikt men hiervoor een tweede, meestal actief filter.

Door deze ontkoppeling van de beide functies wordt praktisch de gehele "meettijd" ook werkelijk gemeten, daarbij is namelijk  $\Delta t/t_h \approx 10^7$ . In de vereenvoudigde schakeling (afkomstig van vorige projecten) is het filter- en houdproces door middel van dezelfde condensatoren verwezenlijkt. Dit heeft als gevolg dat er gedurende 1/40 van de meettijd informatie, aanwezig in het meetgegeven, verloren gaat. Of dat als een bezwaar aangemerkt dient te worden hangt af van de intentie van het onderzoek.

## 5. BEVEILIGING VAN HET SYSTEEM TEGEN STORINGEN

Er zijn een zeer groot aantal beveiligingsschakelingen opgenomen, waardoor het systeem **ononderbroken en automatisch werkt**: data-opslag "automaat". Het is onze overtuiging dat de oorzaak van de meeste storingen gevolg zijn van een foutief ontwerp. Dit wordt zelden onderkend en is dan ook aanleiding tot een herhaaldelijk modificeren van operationele apparatuur. Er bestaan in de schakeltechniek voldoende **mathematische hulpmiddelen** [1,7] om digitale apparatuur optimaal te ontwerpen. Daarnaast is het noodzakelijk het gerealiseerde systeem aan een duurproef (van enkele maanden) te onderwerpen. Hierdoor is het mogelijk de specificaties, die de basis vormden van het ontwerp, in de praktijk te toetsen.

Zoals reeds in par. 3.1.3 beschreven, is er een centrale klokpuls (10 kHz) toegepast ter synchronisatie van de besturingscommando's. Hierdoor worden "interne stoorsignalen digitaal gefilterd". De storingen van externe oorsprong zijn in drie klassen te verdelen:

- a. stoerpulsen die via lichtnet en voeding binnenkomen
- b. stoerpulsen die via de signaaldraden vanuit de omgeving opgevangen worden
- c. gevolgen van foutief manueel ingrijpen

Hoe zijn deze effecten geëlimineerd?

- a. Er is gebruik gemaakt van een capacitief arme (0,2 pF, Stoet's L.C. 1000) scheidingstransformator. Daarachter is een netfilter ( $L \approx 20$  mH,  $C \approx 10$  pF, Schöffner FN-52-1,5) geschakeld. De voedingstransformator is voorzien van twee **statische afschermingen, waarvan een aan netaarde en de tweede aan de nulleider van de voeding ligt.**

Op iedere gedrukte bedradingsplaat ("print") zijn ontstoringscondensatoren (tantaal 1 x 4,7  $\mu$ F, keramisch 2 x 10 nF) aangebracht. Tenslotte zijn de voedingsdraden en vooral de "nulleider" extra dik uitgevoerd.

- b. Zoals reeds opgemerkt (par. 3.1.3) wordt er gebruik gemaakt van **statistische storingsonderdrukking door middel van digitaal filteren**. Daarnaast is iedere signaaldraad ( $\approx 1,5$  m) tussen de diverse electronicabakken nog voorzien van een analoge filtering ( $C = 330$  pF naar de nul). In de d multi-plexer zijn de signaaldraden afkomstig van de ponsers zwaarder gefilterd door middel van een RC-netwerk ( $R = 100$  Ohm,  $C = 22$  nF). De magneetbandrecorders staan op een afstand van  $\approx 15$  meter van de uitvoerdémultiplexer opgesteld. Daarom is hier van lijnzenders ("line drivers") en lijnontvangers ("line receivers") gebruik gemaakt, deze zijn differentiaal uitgevoerd. Hierbij treedt dus een onderdrukking op van de op beide signaaladers opgevangen storing (C.M.R.R. = "common mode rejection ratio"). Deze factor wordt sterk bepaald door het type leiding (getwist of coaxiaal), de zenderstroom en de waarde van de afsluitweerstand. Bereikbaar is 30 - 100 dB storingsverzwakking.

Opmerking: Bij de analoog-digitaal omzetter (zie fig. 1) is er sprake van een C.M.R.R.  $\approx 154$  dB op de meetsignaaladers, indien er tevens een juiste aardingsmethodiek ("guarding") toegepast wordt.

- c. Hiervoor zijn een groot aantal voorzorgen genomen in de vorm van:
- het in de goede start- of rustpositie brengen van alle onderdelen van het systeem, na (her)inschakeling van de voeding.
  - het blokkeren of vertragen van bepaalde ingangssignalen op ongunstige tijdstippen.
  - het stoppen en het opnieuw in de rustpositie brengen van het systeem bij voorkomende fouten.
  - het doorschakelen naar een volgend onderdeel in de apparatuur indien een "overslaan commando" (zie par. 1.9.2) wordt gegenereerd. Dit kan afkomstig zijn van een "fout-sig-naal", dat ontstaat als er in de apparatuur van een foutieve werking sprake is.

Deze onderwerpen worden in de volgende paragrafen (5.1 t/m 5.5.) meer in detail uitgewerkt.

### 5.1. Startpositie van het systeem.

Een besturingsschakeling wordt verkregen met behulp van binaire geheugenelementen (sequentiële schakelingen) die met elkaar gekoppeld worden door combinatorische schakelingen, Uit de vorige (in het geheugen opgeslagen) toestand en de huidige toestand volgt de volgende toestand van een systeem. Een centrale klok-puls, aangesloten op de geheugencellen, draagt zorg voor een gelijktijdige toestandsverandering binnen het gehele systeem. De combinatorische schakelingen tussen de geheugencellen specificeren de opeenvolgende gebeurtenissen ("sequentieel gedrag"). Doordat nu de afzonderlijke geheugenelementen zich in meer dan één stabiele toestand (hier twee) kunnen bevinden, is het noodzakelijk om een begin-, start- of rusttoestand te definiëren. Dit is gedaan door de extra "nul stellingen" of "clear" ingangen van de geheugenelementen aan te sluiten op een vertragingnetwerk van de voeding. Pas 100 msec. na het inschakelen van de voeding wordt deze "clear" ingang vrijgegeven ("enable") en zal een startcommando het besturingssysteem vanuit de gewenste beginpositie starten.

Wanneer niet alle signaaladers of voedingslijnen tussen de diverse electronicabakken zijn aangesloten treedt ook bovenstaande blokkering ("disable") in werking, totdat alle noodzakelijke verbindingen zijn aangebracht. Bij het onoordeelkundig verwijderen van besturingscommunicatieverbindingen kan dus een onderdeel van het systeem niet een eigen weg gaan bewandelen, maar stopt het gehele systeem.

### 5.2. Blokken of vertragen van commandosignalen.

Om ook de eerste metingen geen nutteloze informatie te laten opleveren is het startcommando van een eerste meetcyclus 2 minuten vertraagd. Hierdoor krijgt de digitale voltmeter een voldoende lange "opwarmtijd". Vereist is een "warming-up time" van 1 minuut. De vertraging treedt ook op na het weer herstellen van communicatie- of voedingslijnen (zie par. 5.1.)

Bij de overschakeling van de ene naar de andere ponser is er een stuk "blanke band" (≈ 50 cm ponsband met alleen transportgaten of "feed-holes") vereist, voorafgaande aan en als afsluiting van het informatiegedeelte op de band.

Deze aan- resp. uitloop vergemakkelijkt het "lezen" van de ponsband. In de demultiplexerbesturing wordt daartoe voor en na de overschakeling een 2-bits teller "vrijgegeven". De hierop aangesloten klokpuls (1 Hz) is a-synchroon met dit starttijdstip, waardoor een vertraging ontstaat van 3 - 4 sec. Dit resulteert in een "blanke band" van 57 - 76 cm (75 karakters/sec. en karakterafstand 0,1 inch).

Nu is het ook mogelijk met een schakelaar de besproken overschakeling te bewerkstelligen. Deze "manuale bediening" is willekeurig in de tijd ("a-synchroon"). Het zal duidelijk zijn dat er tijdens de registratie van een meetcyclus hiervan geen gebruik gemaakt mag worden. Echter mag dit ook niet 6 - 8 sec. voorafgaande aan de start van een meetcyclusponsering. Dit vanwege de bovenbeschreven automatische verzorging van de ponsbandindeling. Daarom wordt het manuele "overschakelcommando" over een ruim tijdsinterval geblokkeerd. Dit vanaf 10 sec. voor tot 10 sec. na iedere even minuut, zijnde het starttijdstip van een meetcyclus.

### 5.3. Automatische overschakeling bij de ponsers.

De ponsmachine levert een aantal besturingssignalen o.a. "einde band" ("Tape-low") signaal en een "bandbreuk" ("Error") signaal. Het laatste signaal geeft aan dat de ponsband afgebroken is. Het zal duidelijk zijn dat het, in dat geval, geen zin heeft een automatische uitloop van 50 cm "blanke band" te genereren. Er wordt op dit "foutsignaal" onmiddellijk overgeschakeld naar een volgende ponser. Deze heeft weer wel een stuk "onbeschreven band" nodig en tevens een kenmerkwoord ("header") voor de latere archivering van de (nieuwe) ponsband. Het kenmerkwoord is in een "geheugen" (vaste bedrading) aanwezig en wordt altijd overgeslagen behalve aan het begin van een pons- of magneetband, zie par. 1.4 en 2.2. Dit eenmalig niet-overslaan wordt geïnitieerd door het genoemde "foutsignaal". Dit betekent tevens bij een bandbreuk, die tijdens de registratie (opslag) van een meetcyclus optreedt, er onmiddellijk gestopt zal worden met de registratie van die 2 minutencyclus. Automatisch gaan de drie multiplexerbesturingen naar hun "0" toestand. Pas weer bij de volgende even minuut vindt weer registratie plaats, met inbegrip van de noodzakelijke archivering.

Met het "einde band" signaal ligt de zaak anders, dit signaal wordt namelijk gevormd zodra de ponsbandvoorraad bijna op is (de toelaatbare roldikte is instelbaar). Er kan dus nog een beperkte hoeveelheid informatie aan de band overgedragen worden. Hiervan wordt dan ook gebruik gemaakt: na beëindiging van de meetcyclusregistratie wordt er pas overgeschakeld naar een volgende ponser. Ook hier geldt de blokkeringstijd van 10 sec. voor tot 10 sec. na de even minuut.

Om iedere pons- of magneetband van eenzelfde hoeveelheid informatie ("files", zie par. 2.3) te voorzien, is er in de démulti-plexer gebruik gemaakt van een uren- resp. dagen (etmalen) teller. Dit is een dubbele decadeteller (0 - 99) die tijdens de overschakeling naar een ander uitvoerorgaan, automatisch op nul gezet wordt ("reset" of "clear"). Afhankelijk van het uitvoerorgaan-adres wordt de klokpulsingang van de tijdteller doorverbonden met uur- of dagpulsen vanuit de digitale klok. Bij de ponsers, op adres 1 t/m 6, wordt het aantal uren geteld dat door middel van duimwiel-schakelaars (op de frontplaat van de apparatuur) ingesteld kan worden. De magneetbandrecorders worden op adres 0 en 7 aangesloten en leveren een instelbaar aantal registratie-etmalen. Ook bij deze tijdteller is de start niet noodzakelijk synchroon met het begin van uur of dag. Bij een instelling  $x$  van de duimwiel-schakelaars ( $0 \leq x \leq 99$ ) ligt het registratie-interval dan ook tussen  $(x-1)$  en  $x$  uren resp. dagen. In het geval iedere opeenvolgende overschakeling door de tijdteller gestuurd wordt is dit interval natuurlijk wel exact  $x$ .

Zijn echter alle ponsbanden "vol" met  $x$  uren (resp. dagen) dan wordt automatisch het resterende ponsbandgedeelte tussen  $x$  en "einde band" met informatie opgevuld. Dit "einde band" signaal treedt op een willekeurig tijdstip op (a-synchroon met de klok).

Tenslotte vindt er ook een automatische overschakeling naar een volgend (aanwezig) uitvoerorgaan plaats bij het uitvallen van voeding of loskopelen van de ponser die op dat moment de registratie verzorgd. (In de ponser is tevens een beveiligingsschakeling aanwezig die de voeding uitschakelt bij een te lage waarde).

#### 5.4. Automatische overschakeling bij de magneetbandrecorders.

Ook hier vindt automatische overschakeling plaats, zodra:

- magneetbandrecorder einde band ("E.O.T. = end of tape") detecteert.

- tijdteller het ingestelde aantal etmalen bereikt.

- foutsignaal wordt gegenereerd.

Zoals in par. 2.3 opgemerkt eist een magneetbandregistratie meer automatische controle en beveiliging dan ponsbandregistratie. Dit nu is gerealiseerd in een aanpasschakeling ("interface") tussen de magneetbandrecorder en de uitvoerdémultiplexer. In het hiernavolgende wordt dieper op dit onderdeel ingegaan; dit levert tevens een bedieningsvoorschrift van de recorder. De magneetbandrecorder levert een aantal "statussignalen", die aangeven in welke toestand zich de recorder bevindt. Een ervan is de "File protection", deze voorkomt het overschrijven van reeds aanwezige nuttige informatie op de band (= "File", zie par. 2.3). Daartoe moet een plasticring op de haspel van de magneetband verwijderd worden zodra de magneetband beschreven is. De afwezigheid van deze "schrijf"-ring veroorzaakt een actief beveiligingssignaal waardoor het schrijfgedeelte in de recorder geblokkeerd wordt. Dit betekent vanzelfsprekend dat de recorder in dat geval onbruikbaar is: dit levert een van de condities voor het genereren van genoemd foutsignaal. Na aanbrengen van de twee magneetbandhaspels - waarbij op de volle haspel een schrijfring aanwezig moet zijn - wordt de recorder "geladen" ("loading"). Dat wil zeggen de magneetband moet langs de schrijfkop en in de vacuümkolommen gebracht worden. Zodra dit in orde is (een regelsysteem verzorgt de buffering van de band) staat de apparatuur klaar ("stand-by") om gestart te worden. Dit starten gebeurt in ons geval automatisch (vanuit de uitvoerdémultiplexer) op het tijdstip van de overschakeling naar de betreffende magneetbandrecorder. Daarbij wordt een signaal "in-operate" (= apparatuur werkt) gevormd. Het "stand-by" en "in-operate" signaal vormen een bijdrage tot het niet actief zijn van het foutsignaal, dat wil zeggen er kan op deze recorder geregistreerd worden. Tenslotte moet daartoe nog aan de volgende voorwaarden voldaan worden: intern "fault signal" van de recorder in-actief en alle interne voedingen (inclusief "interface" zelf) op de gewenste spanning.



Hiermee is het automatisch kiezen en starten van de recorder beschreven. Ook het stoppen van de recorder en het overschakelen naar een volgend uitvoerorgaan is door middel van de genoemde interface automatisch geregeld. Daarbij wordt namelijk een "End of File" signaal gegenereerd, waardoor op de magneetband een bandkenmerk ("tape-mark") geschreven wordt. Dit vormt dus de afsluiting van een hoeveelheid informatie. Tijdens deze actie schakelt de demultiplexer over naar een volgend uitvoerorgaan. Na het (tweemaal t.b.v. El-X8) schrijven van het bandkenmerk (par. 2.3) wordt de recorder automatisch voor verdere registratie geblokkeerd. De recorder komt in de "stop/reset" positie en de "interface" levert een inactief "status-interface" signaal. Beide signalen vormen een zichtbare indicatie door middel van lampjes op de recorder resp. de "interface".

Alleen opnieuw laden van de recorder maakt de magneetbandregistratie weer mogelijk. Hierbij moet het "status-interface" lampje weer gaan branden.

Indien er een overschakeling geïnitieerd wordt doordat de registrerende magneetbandrecorder defect raakt ("foutsignaal = actief") is het vanzelfsprekend onmogelijk om de recorder nog functies te laten verrichten. In dat geval wordt dan ook het "stopsignaal" (een commando vanuit de demultiplexer) geblokkeerd (door het foutsignaal). Bij ponsbandregistratie verloopt dit identiek (zie par. 5.3).

Bij deze overschakeling wordt echter wel het "status-interface" signaal in-actief (lampje gaat uit).

- 5.5. Prioriteit van magneetbandregistratie boven ponsbandregistratie.  
 Omdat bij magneetbandregistratie zowel een hogere verwerkings-snelheid als een grotere opslagcapaciteit mogelijk is, wordt hieraan de voorkeur gegeven. De ponsbandapparatuur fungeert als een noodzakelijke reserve. Op de demultiplexer kunnen twee magneetbandrecorders (rec.<sub>0</sub> en rec.<sub>1</sub>) en 6 ponsers (pons.<sub>1</sub> t/m 6) aangesloten worden. De ponsers komen in numerieke volgorde aan de beurt. Wordt echter rec.<sub>1</sub> klaar gezet ("standby", zie par. 5.4), dan vindt onmiddellijk automatische overschakeling van een der ponsers naar deze recorder plaats.

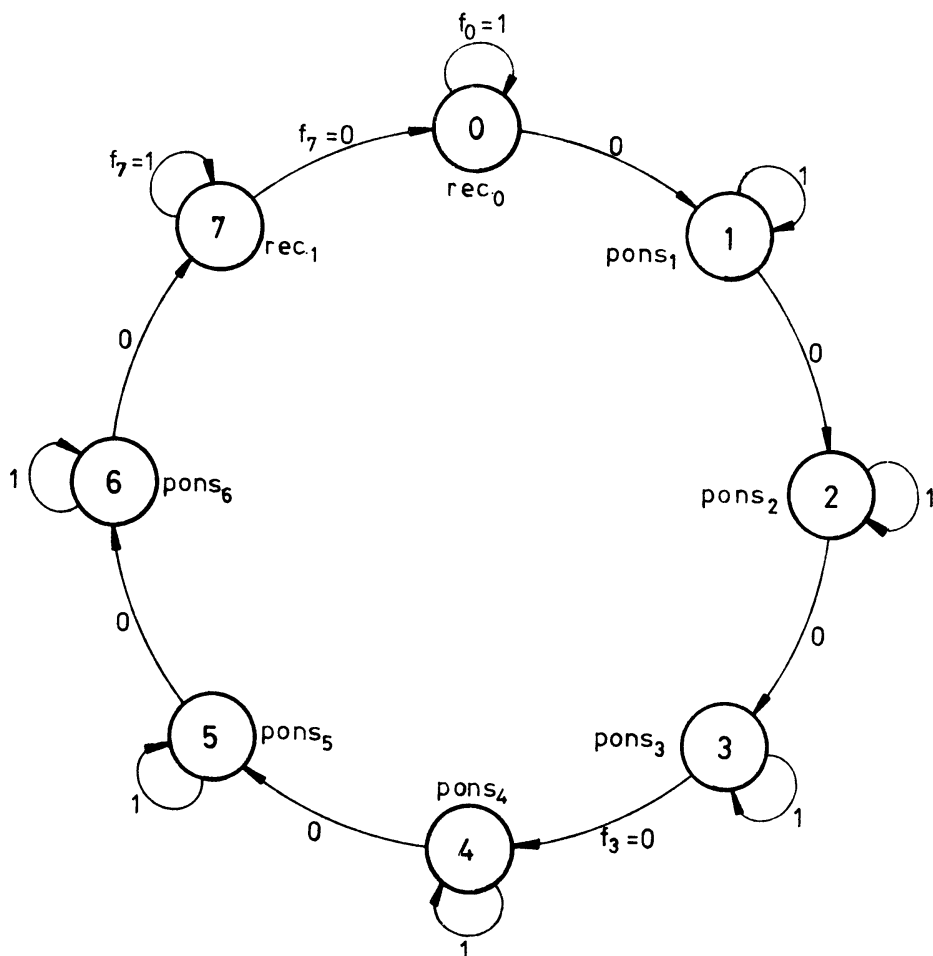
Raakt deze recorder vol of defect dan komt eerst rec.<sub>0</sub> aan de beurt en daarna pas de ponsers 1 t/m 6. Dit is de reden dat aan rec.<sub>1</sub> de hoogste "automatische" prioriteit is gegeven.

Daarnaast is er een "manuale" prioriteit gegeven aan rec.<sub>0</sub>: door middel van een drukknop wordt naar rec.<sub>0</sub> overgeschakeld. vanaf ieder willekeurig uitvoerorgaan (rec.<sub>1</sub> of pons.<sub>1</sub> t/m 6). Rec.<sub>0</sub> bezit de hoogste "manuale" prioriteit. Raakt deze recorder vol of defect dan vindt automatische overschakeling plaats naar rec.<sub>1</sub>, indien deze klaar staat. Hiermee is bereikt dat de **magneetbandregistratie hogere prioriteit bezit dan ponsbandregistratie**. Rec.<sub>1</sub> bezit daarbij een "automatische" (vaste) prioriteit, terwijl rec.<sub>0</sub> een nog hogere "manuale" (kiesbare) prioriteit bezit.

Dit onderdeel leent zich uitstekend om nader in te gaan op de ontwerpmethodiek van besturingsschakelingen. Tevens wordt hiervan een zodanige presentatie gegeven dat een en ander wellicht beter te doorzien is.

De demultiplexer (zie fig. 1 en par. 1.9.4) wordt bestuurd door een 3-bits teller. De octale uitgangen (0 t/m 7) vormen de adressen van de uitvoerorganen: op nr. 1 t/m 6 zijn de ponsers aangesloten, op 0 en 7 de magneetbandrecorders (resp. rec.<sub>0</sub> en rec.<sub>1</sub>). Na het inschakelen van de voeding staat de teller op zijn nulpositie: rec.<sub>0</sub> is dus geadresseerd. Door deze selectie kunnen data naar deze recorder verstuurd worden. Daarnaast worden besturingssignalen ("control signals") uitgewisseld tussen de demultiplexer (meester) en de geselecteerde recorder (slaaf). Dit gebeurt in een zogenaamde meester-slaaf ("master-slave") relatie waarbij de slaaf zijn huidige toestand doorgeeft in de vorm van statussignalen. Op basis hiervan kan de meester commandosignalen genereren. Een voorbeeld hiervan is het starten van de registratie op de geadresseerde recorder. Is rec.<sub>0</sub> aanwezig en met magneetband "geladen" dan is het statussignaal van de interface (bijhorend bij rec.<sub>0</sub>) actief, zie par. 5.4. Door een in de demultiplexer gegenereerde startpuls wordt in dat geval rec.<sub>0</sub> in zijn werktoestand gebracht ("in operate", zie par. 5.4). Deze startpuls wordt opgewekt door middel van de centrale klokpuls (10 kHz, zie par. 3.1.3,4) na voedingsinschakeling en na overschakeling naar een volgend uitvoerorgaan.

Ook het reeds eerder besproken "foutsignaal" ( $f$ , zie par. 5.3, 4), maakt detectie van de bedrijfstoestand (of status) van een uitvoerorgaan mogelijk. Na selectie van de betreffende registratie-apparatuur ( $n$ ) wordt dit "foutsignaal" ( $f_n$ ) in de demultiplexer bemonsterd met een frequentie van 10 kHz. Afhankelijk van de binaire waarde van  $f_n$  vindt wel of geen ophoging van de genoemde 3-bits teller plaats. Ook dit gebeurt met behulp van de centrale klokpuls van 10 kHz, die met de teller (klokingang) verbonden wordt zodra en zolang  $f_n$  actief is. Indien een van de reeds beschreven overschakelcondities (bandbreuk, einde band of registratie-interval, of het omzetten van de "overslaan" schakelaar op frontpaneel behorende bij uitvoerorgaan  $n$ , zie par. 5.3) optreedt, wordt  $f_n$  actief ( $\equiv "0" \equiv 0$  volt). Dit veroorzaakt een overschakeling naar een volgend uitvoerorgaan, in het vervolg spreken wij daarom van een "overschakelsignaal"  $f_n$ . Een en ander is schematisch weergegeven in onderstaande figuur.



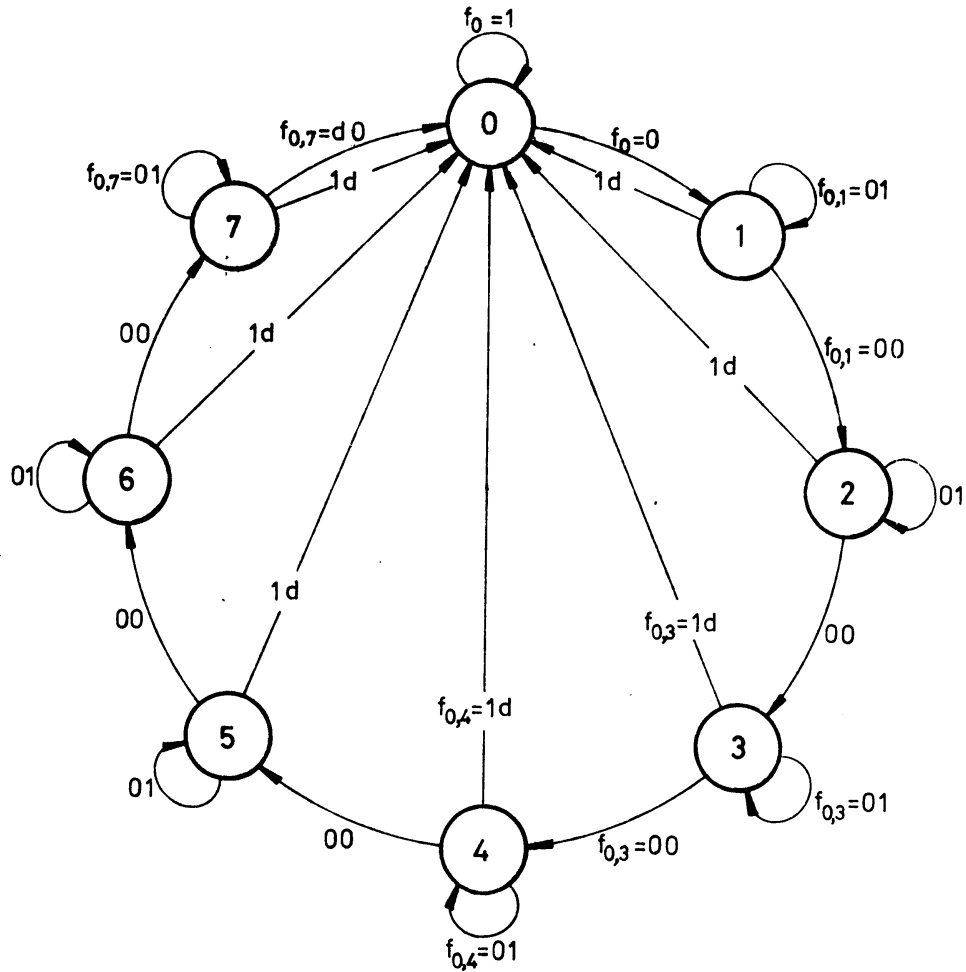
Figuur 5.5.1. Cyclische overschakeling van de uitvoerorganen.

Hierin is  $f_n$  het overschakelsignaal van uitvoerorgaan  $n$  en dit heeft alleen dan invloed indien het betreffende adres  $n$  geselecteerd wordt in de demultiplexer (hier is adres  $\equiv$  apparaatnummer, zie tabel 2.3).

Figuur 5.5.1 wordt in de schakeltechniek een toestandsdiagram genoemd en geeft het sekventiële gedrag van een digitale besturingsschakeling weer [7]. Zo is er bijvoorbeeld uit af te lezen dat zodra  $f_0: = f_1 = "0" = \bar{f}_2$  de teller van de huidige toestand 0, via een instabiele toestand 1 overgaat naar de stabiele toestand 2. Dit is een interne toestandsverandering, wat extern tot gevolg heeft dat er een overschakeling plaats vindt van  $rec._0$  naar  $pons._2$ .

In de normale cyclische volgorde vindt overschakeling plaats op commando ( $f_n$ ) van het op dat moment registrerende apparaat ( $n$ ). Dit gebeurt indien  $f_n: = "0"$  ( $f_n$  wordt logisch nul) en dit wordt o.a. veroorzaakt door het defect raken van het betreffende uitvoerorgaan.

Een andere situatie krijgen wij wanneer wij de registratie over willen zetten naar een ander - door ons belangrijker geacht - apparaat: magneetbandregistratie hogere prioriteit dan ponsbandregistratie. In dit geval zal dus overschakeling op moeten treden zodra een magneetbandrecorder klaargezet wordt, bijvoorbeeld laden van  $rec._0$  betekent  $f_0: = "1"$ . Bij deze prioriteitsstelling vindt dus overschakeling plaats op commando van het apparaat waarop wij willen registreren. In de normale cyclische volgorde komt daarentegen dit commando van die apparatuur waarop wij de registratie niet willen voortzetten. Deze twee gevallen vormen een dualiteit, vandaar dat de overschakelcommando's ( $f_n$ 's) elkaars inverse zijn. Door dit te bedenken kunnen wij de prioriteit van  $rec._0$  (extra) aangegeven in het toestandsdiagram, zie fig. 5.5.2.:



Figuur 5.5.2. Toestandsdiagram waarin recorder 0 de hoogste prioriteit bezit.

In deze figuur is de volgorde van overschakelingen afhankelijk van twee variabelen: defectraken van registrerend apparaat ( $f_n$ ) en het al dan niet klaar staan van  $\text{rec.}_0$  ( $f_0$ ). Voor  $\text{rec.}_0$  zijn beide voorwaarden elkaars inverse, waardoor het al of niet handhaven van de registratie op  $\text{rec.}_0$  bepaald blijft door één variabele (eveneens in fig. 5.5.1). De overschakeling van  $\text{rec.}_1$  naar  $\text{rec.}_0$  wordt geïnitieerd door een van de twee volgende condities:

- uitvallen van  $\text{rec.}_1$  dan  $f_7 = 0$ , dat is de cyclische volgorde.
- klaarzetten van  $\text{rec.}_0$  dan  $f_0 = "1"$ , dat is de prioriteitsvolgorde.

In figuur 5.5.2 zijn de variabelen die in een bepaalde situatie geen invloed uitoefenen, aangegeven met een letter d (= "don't care"). In geval a. treedt overschakeling op zodra  $f_7 = 0$  en dit onafhankelijk van de binaire waarde van  $f_0$  op dat moment.

Indien  $f_0 = "0"$  dan wordt doorgeschakeld naar het volgend uitvoerorgaan, bijvoorbeeld  $f_1 = "1"$  dan is dit pons.<sub>1</sub>, maar is  $f_2 = "1" = \bar{f}_1$ , dan wordt dit pons.<sub>2</sub>, etc.

Indien  $f_0 = "1"$  dan zal na overschakeling  $rec._0$  gestart worden. Hetzelfde gebeurt in geval b., er is echter wel een verschil in het genereren van het overschakelsignaal. In geval a. is  $f_0 = "1"$  doordat de  $rec._0$  klaargezet is (ook de overslaanschakelaar in de goede stand), terwijl in geval b. nog (extra) op de prioriteitsknop gedrukt moet worden. Ter vereenvoudiging hebben wij dit onderscheid in commando's weggelaten, wel zijn de condities (a. en b.) via aparte lijnen aangegeven. In figuur 5.5.2 komt namelijk geval a. overeen met  $f_{0,7} = d0$  en geval b. met  $f_{0,7} = 1d$ .

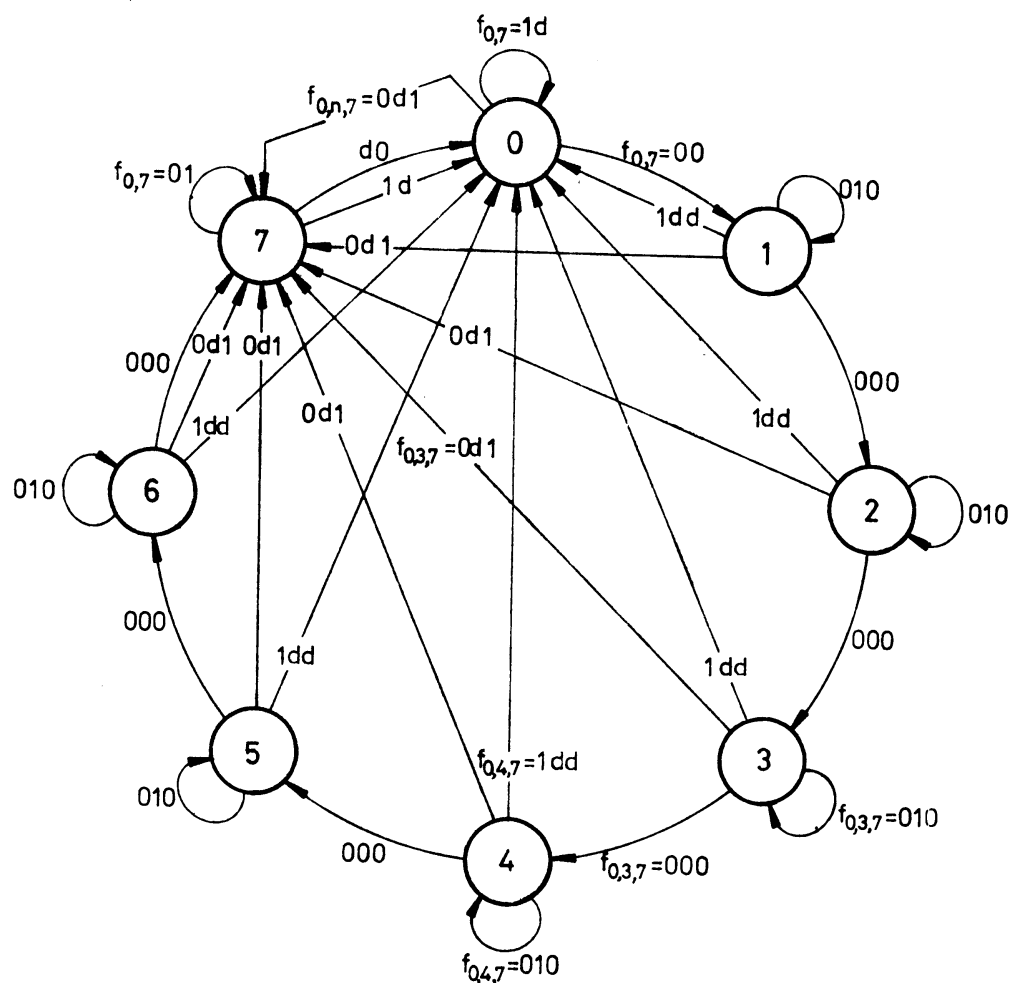
Uit de figuur blijkt tevens dat er van ieder willekeurig registratie-apparaat overgeschakeld wordt naar  $rec._0$ , zodra aan de eis  $f_{0,n} = 1d$  wordt voldaan ( $n = 1$  t/m 7). Dit nu symboliseert de prioriteit van  $rec._0$ .

De stabiele toestanden worden weergegeven door de lussen waarbij de condities  $f_{0,n} = 01$  vermeld zijn. Twee binaire variabelen leveren 4 combinatiemogelijkheden: de overblijvende combinatie  $f_{0,n} = 00$  levert de reeds besproken cyclische overschakelingsvolgorde.

Overeenkomstig het besprokene over de "manuale" prioriteit van  $rec._0$ , kunnen wij in figuur 5.5.2. ook nog de "vast bedrade" prioriteit van  $rec._1$  extra opnemen: zie figuur 5.5.3.

In deze figuur wordt een overschakeling bepaald door drie variabelen:  $f_{0,n,7}$ . Dit is het wel of niet klaar staan van  $rec._0$  ( $f_0$ ) resp.  $rec._1$  ( $f_7$ ), en het wel of niet "defect" raken van de ponsers 1 t/m 6 ( $f_n$ ). De hoogste prioriteit voor  $rec._0$  is uit de figuur af te lezen doordat voor de overschakeling naar deze recorder alleen  $f_0 = "1"$  bepalend is. De andere twee variabelen zijn "don't care":  $f_{0,n,7} = 1dd$ . Voor de overgang naar de tweede recorder ( $rec._1$ ) moet daarentegen aan twee voorwaarden voldaan worden: defect zijn van  $rec._0$  ( $f_0 = "0"$ ) en klaar staan van  $rec._1$  ( $f_7 = "1"$ ).

De prioriteit van magneetbandregistratie boven ponsbandregistratie komt weer tot uiting in een "don't care" situatie voor de ponsers  $s_n = 1$  t/m 6:  $f_{0,n,7} = 0d1$ .



Figuur 5.5.3. Toestandsdiagram met prioriteitsvolgorde  $rec.0, rec.1, pons.1, pons.2 \dots, pons.6$ .

Het zal duidelijk zijn dat er voor de keuze tussen beide recorders twee binaire variabelen ( $f_{0,7}$ ) voldoende zijn:

$f_{0,7}$ Ingang	$X_t$ Huidige toestand	$X_{t+1}$ Volgende toestand
0 0	rec.0 =	① → ① = pons.1
0 1		⑦ → ⑦ = rec.1
1 0		⑦ → ⑦ = rec.0
1 1		⑦ → ⑦ = rec.0
0 0	rec.1 =	⑦ → ① = pons.1
0 1		⑦ → ⑦ = rec.1
1 0		⑦ → ⑦ = rec.0
1 1		⑦ → ⑦ = rec.0

Tabel 5.5.1. Toestandstabel voor de overgangen vanaf  $rec.0$  en  $rec.1$ .

Tabel 5.5.1 en figuur 5.5.3 zijn uit elkaar af te leiden en vormen een representatie van het "systeemontwerp". In deze methodiek zit opgesloten dat alle mogelijke ingangscombinaties bekeken moeten worden. De drie ingangsvARIABLEN leveren  $2^3 = 8$  combinatiemogelijkheden. De reacties van het systeem hierop moet in het ontwerp verdisconteerd worden, bijvoorbeeld:

$f_{0,n,7}$ Ingang	$X_t$ Huidige toestand	$X_{t+1}$ Volgende toestand
0 0 0	⑤	→ ⑥
0 0 1	⑤	→ ⑦
0 1 0	⑤	→ ⑤
0 1 1	⑤	→ ⑦
1 0 0	}	⑤ → ⑥
1 0 1		
1 1 0		
1 1 1		

Tabel 5.5.2. Toestandstabel voor de overgangen vanaf pons 5, voor alle ingangscombinaties.

De realisatie van het ontwerp kan in apparatuur ("hardware") dan wel in programmatuur ("software") plaats vinden. In eerste opzet is de besturing van de beschreven data-opslagautomaat in een "vaste bedrading" (apparatuur) verwezenlijkt. Met behulp van het beschreven "systeemontwerp" is het ook mogelijk deze besturing met behulp van "systeem programmatuur" te verwezenlijken.



## 6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Op 26 oktober 1972 is de 200 m-mast te Cabauw (gemeente Lopik) officieel in gebruik gesteld. Dit was tevens het tijdstip waarop de in dit rapport beschreven data-opslagautomaat operationeel werd. In de beginfase kwamen er nog incidentele (0,01%) en op volkomen willekeurige tijdstippen ("random") fouten voor, namelijk: het plotseling afbreken van een registratiecyclus (iedere 2 minuten) vanaf een willekeurig meetkanaal. De oorzaak bleek een foutieve schakeling in de a-synchrone koppeling tussen digitale voltmeter en analoge multiplexer: type flip-flop (SN74111N) met een blokkeringstijd van 25 nsec., wat t.g.v. de klokpulsafstand van 100  $\mu$ sec. een foutenkans oplevert van 0,025%.

Daarnaast traden er storingen op met een meer algemeen bekende oorzaak:

- foutieve polariteit van een overslaansignaal (1 MHz), waardoor meetwaarden dubbel geponst werden.
- foutieve bedrading van dit 1 MHz-signaal, waardoor "overspraak" optrad. Remedie hiervoor is coaxiaalkabel en in geval van een nieuw ontwerp het toepassen van differentiaallijntransport.
- foutieve "aardpolitiek", waardoor aardlussen ontstaan.

De conclusie die zich uit laatste twee storingen opdringt is: het signaaltransport over afstanden  $\geq 2$  meter of met frequenties  $\geq 100$  kHz differentiaal uit te voeren met behulp van apart gevoede lijnzenders en ontvangers. Vanwege de hoge isolatiewaarde ( $\geq 2$  kV) is een optische koppeling aan te bevelen.

Vanaf 20 maart 1973 tot op heden (juni 1975) zijn geen storingen meer opgetreden, wel was incidentele revisie en preventief onderhoud van ponsers en magneetbandrecorders noodzakelijk. Bij de magneetbandregistratie is het tevens van belang om de schrijfkoppen zo uit te richten dat de scheefheid ("skew") ervan (binnen bepaalde toleranties) gelijk is aan die van de leeskoppen van de magneetbandapparatuur waarop de banden (voor verdere bewerking) gelezen moeten worden. Het overschakelen naar een volgend, niet defect uitvoerorgaan verliep feilloos.

De reden van deze storingsvrije werking moet mijns inziens gezocht worden in:

- toepassing van één centrale klokpuls, die het gehele systeem synchroniseert (par. 3.1.3).
- het gebruik van geëigende mathematische hulpmiddelen bij het (aan de bouw voorafgaande) ontwerp (par. 5.5 en 7).
- het aanbrengen van diverse beveiligingen, vooral in de manuele bediening (par. 5).
- kritisch evalueren van de diverse (toeleverings) specificaties en het invoeren van ruime toleranties (bijvoorbeeld "fan-out" T.T.L.  $\leq 5$ ).
- nauwgezet opzetten van een realisatiebeschrijving van het ontwerp.
- het gebruik maken van hoog geïntegreerde basisschakelingen (M.S.I. en L.S.I.) en tevens het verwerpen van mechanische onderdelen.

De bouw en documentatie van het systeem heeft in verhouding tot het ontwerp veel tijd (5:1) in beslag genomen. Hieruit zijn de volgende conclusies te trekken:

- een duurproef van tenminste 2 maanden voorafgaand aan het operationeel gebruik en het pas definitief verzorgen van de systeemdokumentatie na deze duurproef is een noodzakelijke eis.
- de realisatie en vooral ook de modificatie verloopt sneller en efficiënter met behulp van een "programmeerbare besturing". De verregaande integratie van digitale bouwstenen maakt het mogelijk dit te verwezenlijken. Met "programmering" bedoelt men in het algemeen de verwerking van numerieke meetgegevens. Een bitpatroon (verzameling nullen en enen) kan echter naast getallen ook een verzameling (status of commando) signalen representeren (zie par. 5.5 en App. I). In dit geval spreken wij dan ook over systeemprogrammatuur.

APPENDIX I            Mens-machinecodes

Naast de eenduidige binaire code (par. 2.1.) - waarmee binnen een informatieverwerkend systeem gemanipuleerd (voor slechts een klein deel is dit "rekenen") wordt - bestaan er een aantal min of meer gestandariseerde codes t.b.v. de mens-machinerelatie:

- a. Telex of Baudotcode = t.b.v. het internationaal telexverkeer = 5-bits.
- b. Flexowritercode = afkomstig van het mathematisch centrum t.b.v. EL-8 = 6-bits.
- c. ASCII = American Standard Code for Information Interchange = 7-bits.
- d. EBCDIC = Extended Binary Coded Decimal Interchange Code = 8-bits.

In de gegeven volgorde neemt het aantal coderingsmogelijkheden telkens met een factor 2 toe. Zo zijn in de code d. 256 ( $= 2^8$ ) verschillende symbolen voor te stellen, terwijl in de code a. slechts  $2^5 = 32$  combinaties mogelijk zijn. Deze kleine "symbool-lengte" levert problemen op, omdat letters en cijfers samen al 36 verschillende bitcombinaties eisen. Daar komen nog een aantal instructies bij voor het besturen van de ontvanger (afdrukmechanisme), zoals "nieuwe regel" en "terugloopwagen" e.d. De noodzakelijke uitbreiding is verwezenlijkt door twee combinaties aan te wijzen die geen directe afdruk geven aan de ontvangzijde maar daar "onthouden" worden. Het ene speciale teken, "letters" genoemd, brengt de ontvanger in een toestand waarbij hij de volgende ontvangen combinaties afdrukt als tekens uit de "lettergroep". Het andere speciale teken, "cijfer" genoemd, selecteert symbolen uit de "cijfergroep".

Ook bij de flexowriter (code b.) is zo'n geheugenmechanisme aanwezig in de vorm van een vergrendelbare druktoets voor hoofdletters. Dit levert een verdubbeling van het aantal symbolen: "upper- en lower case" (verdubbeling minus deze twee comando-signalen).

De twee laatste coderingen (c. en d.) laten voldoende ruimte om alle symbolen weer te geven. Er is zelfs een redundantie aanwezig, deze zou gebruikt kunnen worden voor het elimineren van fouten.

Meestal wordt deze reserve echter ongebruikt gelaten omdat het afdrukmechanisme (bijvoorbeeld regeldrukker) geen 256 symbolen aankan: een aantal bitpatronen worden verworpen of als een zelfde symbool afgedrukt (bijvoorbeeld ? of onbekend). Hierdoor laten zich registratiefouten niet meer onmiddellijk localiseren. In dit geval is een extra systeemprogramma nodig om de informatie on-dubbelzinnig weer te geven. Hiertoe bestaan een aantal "hulp" coderingen:

- binair : symbool wordt bit voor bit afgedrukt.
- octaal : groepen van 3-bits worden als cijfers 0 t/m 7 weergegeven.
- hexadecimaal : groepen van 4-bits worden als cijfers 0 t/m 9 en letters A t/m F weergegeven.
- decimaal : alle bits worden in decimale getallen omgezet.

In al deze gevallen wordt gerekend vanaf het meest rechtse bit in een bitconfiguratie  $b_0$  t/m  $b_7$ :

$$(10001011)_2 = (213)_8 = (8B)_{16} = (139)_{10}.$$

$b_0$   $b_1$   $b_2$   $b_3$   $b_4$   $b_5$   $b_6$   $b_7$  = bitposities, waarbij  $b_0$  = het meest belangrijke bit.

In diverse handboeken zijn conversietabellen te vinden.

Ter detectie en eventuele correctie wordt meestal een extra (pariteits) bit toegevoegd. Dit ontstaat door de informatiebits modulo 2 op te tellen. Bij de keuze van het P-bit wordt deze "exclusieve som" wel of niet geïnverteerd. In het eerste geval ontstaat een oneven pariteit dat wil zeggen het aantal "enen" (inclusief P-bit) per symbool wordt oneven. In code a ontbreekt dit P-bit, in code b en d is er van een oneven pariteit sprake, terwijl code c een even pariteit moet bezitten.

De codes (d, c, en b) zijn hieronder in tabelvorm opgenomen.

ad d. De EBCDIC-code bestaat uit twee gebieden namelijk de bits  $b_4, 5, 6, 7$  die de numerieke presentatie geven en de bits  $b_0, 1, 2, 3$  die een groep aanduiden de zogenaamde zône. De bits op de plaatsen 0 en 1 geven hierbij aan welk type letter, cijfer of teken wordt gebruikt, namelijk:

$b_0$	$b_1$	betekenis
0	0	commandosignalen
0	1	speciale tekens
1	0	kleine letters
1	1	hoofdletters en cijfers

Tabel I-1. Bitposities  $b_{0,1}$  in EBCDIC.

De bits op de plaatsen 2 en 3 geven weer een onderverdeling van deze vier mogelijkheden, bijvoorbeeld in zône  $b_{0,1} = 11$  is:

$b_2$	$b_3$	betekenis
0	0	A t/m I
0	1	J t/m R
1	0	S t/m Z
1	1	O t/m 9

Tabel I-2. Bitposities  $b_{2,3}$  in EBCDIC.

In zône  $b_{0,1} = 10$  vinden wij de kleine letters op overeenkomstige plaatsen, namelijk op dezelfde numerieke bits  $b_{4,5,6,7}$ . Tabel I-3 geeft de algemene representatie van de EBCDIC-code. Wij zien hieruit dat ongeveer de helft van de bitpatronen ongedefinieerd blijven. Verder zijn in de eerste vier kolommen, aangegeven door de zône bits  $b_{0,1} = 00$ , een aantal besturingscommando's aangegeven. Voor de betekenis van de afkortingen wordt verwezen naar tabel I-9. In tabel I-4 is de Burroughs B6700 grafische representatie van de EBCDIC-code aangegeven, uitgetest op de K.N.M.I.-configuratie per juli 1975.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	b <sub>4,5,6,7</sub>	
0	NUL	DLE			SP	&	-										0	0000
1	S.O.M	DC-1					/		a	j			A	J			1	0001
2	S.T.X	DC-2	F.S.	SYN					b	k	s		B	K	S		2	0010
3	E.T.X	DC-3							c	l	t		C	L	T		3	0011
4	P.F.								d	m	u		D	M	U		4	0100
5	H.T.	N.L.	L.F.	R.S.					e	n	v		E	N	V		5	0101
6	L.C.	B.S.	E.T.B	U.C.					f	o	w		F	O	W		6	0110
7	DEL	IDL	ESC	E.O.T.					g	p	x		G	P	X		7	0111
8		CAN							h	q	y		H	Q	Y		8	1000
9									i	r	z		I	R	Z		9	1001
A								:										1010
B	V.T.				.	\$	,	#										1011
C	F.F.			DC-4	<	*	%	@										1100
D	C.R.		ENQ	NAK	(	)	-	'										1101
E	S.O.		ACK		+	;	>	=										1110
F	S.I.		BEL	SUB			?	''										1111
	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111		b <sub>0,1,2,3</sub>

Tabel I-3 E.B.C.D.I.C.-code, algemeen.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	b <sub>4,5,6,7</sub>	
0	?	?	?	?	SP	&	-	?	?	?	?	?	?	I	\	0	0000	
1	?	?	?	?	?	?	/	?	?	?	?	?	A	J	?	1	0001	
2	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	B	K	S	2	0010	
3	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	C	L	T	3	0011	
4	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	D	M	U	4	0100	
5	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	E	N	V	5	0101	
6	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	F	O	W	6	0110	
7	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	G	P	X	7	0111	
8	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	H	Q	Y	8	1000	
9	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	I	R	Z	9	1001	
A	?	?	?	?	[	]	?	:	?	?	?	?	?	?	?	?	?	1010
B	?	?	?	?	.	\$	,	#	?	?	?	?	?	?	?	?	?	1011
C	?	?	?	?	<	*	%	@	?	?	?	?	?	?	?	?	?	1100
D	?	?	?	?	(	)	-	'	?	?	?	?	?	?	?	?	?	1101
E	?	?	?	?	+	;	>	=	?	?	?	?	?	?	?	?	?	1110
F	?	?	?	?		¬	?	''	?	?	?	?	?	?	?	?	?	1111
	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111		b <sub>0,1,2,3</sub>

Tabel I-4 E.B.C.D.I.C.-code, representatie op K.N.M.I. Burroughs B6700 1975

ad c. Voor de 7-bits ASCII-code kunnen wij dezelfde notatie aanhouden met  $b_4, 5, 6, 7$  = numerieke bits en  $b_1, 2, 3$  = zône bits ( $b_0$  vervalt dus).

Ook kunnen wij de kolommen als volgt indelen:

$b_1$	$b_2$	betekenis
0	0	commando signalen
0	1	speciale tekens en cijfers
1	0	hoofdletters
1	1	kleine letters

Tabel I-5. Bitposities  $b_{1,2}$  in ASCII

In tabel I-6 zijn de algemeen gedefinieerde symbolen voor de ASCII-code aangegeven. Ter onderscheiding van de grafische symbolen zijn de besturingcommando's (afkortingen zie tabel I-9) gearceerd. In tabel I-7 is weer de Burroughs interpretatie aangegeven.

C	0	1	2	3	4	5	6	7	b <sub>4,5,6,7</sub>
C NUL	D.L.B.	SP	0	1	2	3	4	5	0000
1 S.O.M.	DC-1	!	1	A	Q	a	q	0001	0001
2 S.T.X.	DC-2	"	2	B	R	b	r	0010	0010
3 E.T.X.	DC-3	#	3	C	S	c	s	0011	0011
4 E.O.T.	DC-4	\$	4	D	T	d	t	0100	0100
5 ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u	0101	0101
6 ACK	SYN	&	6	F	V	f	v	0110	0110
7 BEL	E.T.B.	'	7	G	W	g	w	0111	0111
8 B.S.	CAN	(	8	H	X	h	x	1000	1000
9 H.T.	E.M.	)	9	I	Y	i	y	1001	1001
A I.F.	S.S.	*	:	J	Z	j	z	1010	1010
B V.T.	ESC	+	;	K	[	k	{	1011	1011
C F.F.	F.S.	,	<	L	\	l	/	1100	1100
D C.R.	G.S.	-	=	M	]	m	}	1101	1101
E S.O.	R.S.	.	>	N	^	n	~	1110	1110
F S.I.	U.S.	/	?	O	-	o	DEL	1111	1111
000	001	010	011	100	101	110	111	b <sub>1,2,3</sub>	

Tabel I-6 A.S.C.I.I.-code, algemeen

C	1	2	3	4	5	6	7	b <sub>4,5,6,7</sub>
0	?	SP	0	@	P	?	?	0000
1	?	!	1	A	Q	?	?	0001
2	?	"	2	B	R	?	?	0010
3	?	#	3	C	S	?	?	0011
4	?	\$	4	D	T	?	?	0100
5	?	%	5	E	U	?	?	0101
6	?	&	6	F	V	?	?	0110
7	?	'	7	G	W	?	?	0111
8	?	(	8	H	X	?	?	1000
9	?	)	9	I	Y	?	?	1001
A	?	*	:	J	Z	?	?	1010
B	?	+	;	K	[	?	?	1011
C	?	,	<	L	\	?	?	1100
D	?	-	=	M	]	?	?	1101
E	?	.	>	N	^	?	?	1110
F	?	/	?	O	-	?	DEL	1111
000	001	010	011	100	101	110	111	b <sub>1,2,3</sub>

Tabel I-7 A.S.C.I.I.-code op Burroughs B6700.



ad b. Tenslotte is de 6-bits Flexo-code opgenomen in tabel I-8. Wij hebben hierin de bitpositie  $b_{4,5,6,7}$  aangehouden als "numerieke bits". Deze vormen namelijk de binaire representatie (gewichtsfactoren 8 4 2 1) van de cijfers in de eerste kolom van de tabel. Met de toevoeging van de bitposities  $b_{2,3}$  hebben wij de 6-bits code weergegeven. Zoals wij reeds opmerkten, is er door het onderscheid "upper -" en "lower case" een verdubbeling van het aantal weer te geven symbolen. Deze factor 2 uitbreiding is gedefinieerd door de bitpositie  $b_1$ :

$b_1 = "0" =$  kleine lettergroep (L.C.)

$b_1 = "1" =$  hoofdlettergroep (U.C.)

De "informatiebits"  $b_7$  t/m 2 komen op de ponsband overeen met gatensporen: van rechts naar links spoor 7 t/m 1. De afbeelding is een spiegeling: bitpositie  $b_2 =$  spoor 7 en  $b_7 =$  spoor 1, terwijl spoor 5 extra is tussengevoegd om de (oneven) pariteit te kunnen aangeven. Verder betekent een gat in de ponsband dat de overeenkomstig bitpositie de logische waarde "1" bezit (geen gat is dus een "0", zie tabel 2.2).

De stuurcommando's voor het afdrukmechanisme zijn weer gearceerd. Hierbij veroorzaakt het stuurcommando voor spatie (= "space" = SP in tabel) één gat namelijk in het pariteitsspoor 5, terwijl de term "blanke band" staat voor een ponsband zonder gaten (ook niet in spoor 5; wel een transportgat T, zie tabel 2.2).

In tabel I-9 zijn tenslotte de afkortingen voor de besturingscommando's opgenomen. Deze zijn in drie groepen te verdelen:

C.C. = "Communication Control" = data transport besturingsteken  
 F.E. = "Format Effector" = opmaak besturingsteken  
 I.S. = "Information Separation" = logisch begrenzingsteken

← L.C. →				← U.C. →					
0	1	2	3	4	5	6	7	b <sub>4,5,6,7</sub>	
0	SP	0		SD	Λ		"	0000	
1	1	<	j	a	V	>	J	A	0001
2	2	s	k	b	*	S	K	B	0010
3	3	t	l	c		T	L	C	0011
4	4	u	m	d	=	U	M	D	0100
5	5	v	n	e	;	V	N	E	0101
6	6	w	o	f	[	W	O	F	0110
7	7	x	p	g	]	X	P	G	0111
8	8	y	q	h	(	Y	Q	H	1000
9	9	z	r	i	)	Z	R	I	1001
A	N.L.C.R.			L.C. N.L.C.R.			L.C.	1010	
B	Stop	10	,	.	Stop	'	?	:	1011
C				U.C.			U.C.	1100	
D								1101	
E	H.T.				H.T.			1110	
F	DC-4			DEL	DC-4		DEL	1111	
	000	001	010	011	100	101	110	111	b <sub>1,2,3</sub>

Tabel I-8 Flexowritercode.

DATA TRANSPORT BESTURINGSTEKENS		
commando	Amerikaans/Engels	Nederlands
NL	Null	nul = blank
IDLE	idle	opvulteken
SUB	substitute	vervangingsteken
S.O.M.	start of message	begin van bericht
S.T.X.	start of text	begin van tekst
E.T.X.	end of text	einde van tekst
E.O.T.	end of transmission	einde van gegevens overdracht
ENQ	enquiry	navraag (wie daar?)
ACK	acknowledge	bevestiging
BEL	bell	bel
DEL	delete, erase, rub-out	annuleringsteken, uitwissen
DLE	data link escape	omwisseling gegevens verbinding
DC-1	device control 1 (e.g. reader on)	apparaat stuursignaal 1 (bijv. lezer aanzetten)
DC-2	device control 2 (e.g. tape on)	apparaat stuursignaal 2 (bijv. magneetbandrecorder aan)
DC-3	device control 3 (e.g. reader off)	apparaat stuursignaal 3 (bijv. ponslezer uitzetten)
DC-4	device control 4 (e.g. tape off)	apparaat stuursignaal 4 (bijv. magneetbandrecorder uit)
NAK	negative acknowledge	foutmelding
SYN	synchronous idle	verzorgt synchronisatie bij afwezigheid van ander teken
E.T.B.	end of transmission block	einde transmissie blok
CAN	cancel	opnieuw oproepen
E.M.	end of medium	einde van informatiedrager
S.S.	start of special sequence	begin van speciale reeks
ESC	escape	wisselteken, volgende tekens anders interpreteren

OPMAAK BESTURINGSTEKENS		
commando	Amerikaans/Engels	Nederlands
B.S.	back space	terug stellen
H.T.	horizontal tabulation	horizontale tabellering
V.T.	vertical	vertikale tabellering
L.F.	line feed	regel transport
F.F.	form feed	formulier transport
C.R.	carriage return	terugloop wagen
N.L.	new line	nieuwe regel
S.O.	shift out	codewijziging naar andere tekenset
S.I.	shift in	codewijziging terugkeer naar vorige tekenset
S.P.	space	spatie
L.C.	lower case	kleine lettergroep
U.C.	upper case	hoofd lettergroep

LOGISCHE BEGRENZINGSTEKENS		
commando	Amerikaans/Engels	Nederlands
F.S.	file        separator	bestand    scheidingsteken
G.S.	group      separator	groep      scheidingsteken
R.S.	record     separator	blok        scheidingsteken
U.S.	unit        separator	element    scheidingsteken

Tabel I-9. Betekenis van de afkortingen in de codetabellen.

APPENDIX II. Foutendetectie en correctie bij magneetband-  
registratie.

Zoals in par. 2.1 aangegeven wordt de informatie in "blokvorm" op de magneetband vastgelegd. Zo'n blok is opgebouwd uit een aantal opeenvolgende karakters, terwijl deze karakters op hun beurt uit een aantal "bits" bestaan. Het blok bestaat dus uit rijen ("sporen") en kolommen (karakters).

Door externe storing tijdens het datatransport of databewerking kunnen een of meer bits verminkt geregistreerd worden, dat wil zeggen een inversie ondergaan ( $x = \bar{x}$ ).

Foutendetectie wordt, zoals hieronder zal worden aangegeven, per blok uitgevoerd.

Ook foutencorrectie is per blok mogelijk indien zich deze fouten in een enkel spoor bevinden. In de praktijk blijkt dit inderdaad het geval, reden hiervoor is o.a. dat de ruimte tussen de sporen ongeveer 40 maal zo groot is als de ruimte tussen de opeenvolgende bits in een spoor. Daarenboven wordt de informatie karakter voor karakter (d.i. "parallel") verwerkt. Dit betekent dat het transport en de verwerking van de bits in een rij door middel van dezelfde fysische componenten verloopt.

Om de methodiek van de toegepaste foutencontrole te kunnen beschrijven moeten wij eerst enkele hulpmiddelen aangeven. Op de eerste plaats gebruiken wij "modulaire arithmetiek" [8] Een illustratief voorbeeld hiervan vormt de tijd klok, deze bezit een modulus 24. Zo is bijvoorbeeld  $(22 + 7)$  uur =  $29 - 24 = 5 \neq 29$  uur: de punten op de cirkel lopen van 0 t/m 23 (de meeste uurwerken halveren deze modulus nog eens tot 12). Een eenvoudige meteorologisch voorbeeld vormt de windrichtingsmiddelling, hier is de module  $360^\circ$ . Algemeen wordt de reductie van getal N in een modulair gebied G aangegeven door:

$$N = R + Q \cdot G \quad (\text{II.1})$$

Hierin is: R = restterm of residu

Q = quotiënt

$0 \leq R < G$  en moet  $G > 0$  zijn.

Bij de binaire representatie van getallen (zie par. 2) wordt in een modulair systeem met  $G = 2$  gewerkt. De belangrijke eigenschap in de modulo 2 arithmetiek is, dat "optellen" en "aftrekken" identieke bewerkingen zijn. Dit wordt voorgesteld door het symbool  $\oplus$  in de canonieke vergelijking:

$$z = a \pm b \equiv a \oplus b \equiv a \cdot b + a \cdot \bar{b} \quad (\text{II.2})$$

Hierin komen drie soorten logische operaties voor, namelijk:

- een "logische optelling" (+, "vereniging"  $\cup$ ); in schakeltechniek "of - functie" genoemd.
- een "logische vermenigvuldiging" ( $\cdot$ , doorsnede  $\cap$ ), in schakeltechniek "en - functie" genoemd.
- een "inversie" of "complement", aangegeven door een streep boven de variabele.

Deze drie bewerkingen vormen samen de "exclusive-or" functie, die wordt gebruikt voor de "halve optelling".

De "halve optelling" dat wil zeggen een algebraïsche optelling zonder transport ("carry") komt tot uiting door toepassing van formule II.1.

De "modulo 2 optelling" bezit, via formule II.2, de volgende eigenschappen:

$$\begin{aligned} 0 \oplus 0 &= 0 \\ 0 \oplus 1 &= 1 \oplus 0 = 1 \\ 1 \oplus 1 &= 0 \end{aligned} \quad (\text{II.3})$$

Dat wil zeggen  $\oplus$  vergelijkt de twee binaire variabelen (gelijk levert "0", ongelijk "1").

$$\begin{aligned} x \oplus x &= 0 \\ x \oplus 0 &= x \\ x \oplus 1 &= \bar{x} \end{aligned} \quad (\text{II.4})$$

Een tweede hulpmiddel vormt de beschrijving van binaire informatie door middel van een polynoom of veelterm [9]. Zo is een  $i^e$  karakter N weer te geven door:

$$N_i(x) = \sum_{n=0}^7 b_{ni} x^n \equiv b_{0i} \cdot x^0 \oplus b_{1i} \cdot x^1 \oplus b_{2i} \cdot x^2 \oplus \dots \oplus b_{7i} x^7 \quad (\text{II.5})$$

Hierin bezitten de coëfficiënten  $b_0$  t/m  $7$  de binaire waarde "0" of "1" en vormen de bitposities uit App. I. Het grondtal (of radix)  $x$  is willekeurig en kan bijvoorbeeld  $x = 2$  zijn, waardoor de zuivere binaire codering ontstaat uit par. 2. Via de eigenschappen van de  $\oplus$  operatie mogen wij de termen (machten van  $x$ ) waarvoor de bijbehorende coëfficiënten "0" zijn, weglaten. Dit nu geeft een vereenvoudiging bij de hierna volgende bewerkingen op binaire informatie, om daardoor transmissiefouten op te kunnen sporen en deze eventueel te corrigeren. Zo is bijvoorbeeld:

$$(1 \oplus x) \cdot (1 \oplus x^2 \oplus x^3) = 1 \oplus x^2 \oplus x^3 \oplus x \oplus x^3 \oplus x^4 = 1 \oplus x \oplus x^2 \oplus x^4 \quad (\text{II.6})$$

en een deling van de veelterm  $N(x) = x^4 \oplus x^2 \oplus x \oplus 1$  door de deler  $G(x) = x^2 \oplus 1$  levert een quotiënt  $Q(x) = x^2$  en als restterm  $R(x) = x \oplus 1$ . Dit laatste is weer een reductie van het getal  $N(x)$  binnen een modulair systeem  $G(x)$  en wij houden als resultaat de restterm  $R(x)$  over. Reductie modulus  $G$  betekent dus dat  $G: = 0$ , waardoor in formule II.1 inderdaad de restterm overblijft. Doordat de veeltermen binaire (mod. 2) informatie representeren kunnen wij deze formule herschrijven tot:

$$R(x) = N(x) \oplus Q(x) \cdot G(x) \quad (\text{II.7})$$

Bovenstaande theorie gaan wij nu toepassen om foutencontrole uit te kunnen voeren. Het te registreren informatieblok bestaat uit  $n$  karakters, namelijk:  $N_n, N_{n-1}, \dots, N_1$ . Hieraan wordt een extra karakter  $N_0$  toegevoegd, dat rekenkundig uit de opeenvolgende karakters van het "bericht" bepaald wordt. Dit "redundante" karakter  $N_0(x)$  maakt het mogelijk registratiefouten te detecteren. Zowel tijdens het schrijven als tijdens het lezen van de informatie op de magneetband wordt deze veelterm bepaald, resp.  $N_0(x)$  en  $M_0(x)$ . Blijken deze (bij vergelijking na het lezen van de informatie) identiek dan is het informatieblok foutloos overgedragen.

Is daarentegen het "verschil"  $N_0(x) \oplus M_0(x) \neq 0$ , dan is er een fout opgetreden. Deze is, zoals wij reeds opmerkten, te corrigeren indien zich deze fout(en) tot één spoor beperken. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een tweede foutendetector gegeven, namelijk: het "oneven pariteits" bit (P) per karakter. Dit is de modulus 2 som van de karakterbits:

$$P_i = \overline{b_{0i} \oplus b_{1i} \oplus b_{2i} \oplus \dots \oplus b_{7i}} \Rightarrow b_{8i} \quad (\text{II.8})$$

Tijdens het schrijfproces wordt dit P-bit bepaald en als "redundant" gegeven per karakter vastgelegd, op het 8<sup>e</sup> spoor van de magneetband. Ook bij het lezen van de magneetband wordt dit P-bit per karakter  $N_i$ , gevormd en daarna vergeleken met het overeenkomstige gelezen  $b_{8i}$ -bit. Deze vergelijking  $P_i \oplus b_{8i}$  zal "0" opleveren indien zich geen fouten in de karakteroverdracht hebben voorgedaan. Een oneven aantal fouten levert een "1", terwijl een even aantal fouten weer "0" oplevert. Dat wil zeggen meer dan een fout per karakter is of niet detecteerbaar of niet te onderscheiden van een enkele fout. Beperken ons tot de statistische relevante en in de praktijk voorkomende situatie dat de transmissiefouten zich tot één spoor beperken, dan levert bovengenoemde (P-bit) controle de informatie op om een "foutenpatroon" polynoom  $E(x)$  op te bouwen. De optredende fouten in een enkel spoor worden namelijk getransformeerd naar het 8<sup>e</sup> spoor en zijn daaruit dus detecteerbaar. Dit  $E(x)$  polynoom wordt tijdens het leesproces gevormd en wij zullen zien dat dit samen met het gelijktijdig gevormde  $N_0(x)$  polynoom ons de mogelijkheid geeft om de geconstateerde fouten te corrigeren. Hieronder geven wij de opeenvolgende stappen mathematisch weer en zullen ter illustratie een vereenvoudigd voorbeeld geven. Achtereenvolgens komen ter sprake:

- het genereren van  $N_0$  uit  $N_n$  t/m 1°
- foutendetectorie door middel van vergelijken.
- opsporen van het foutieve spoor.
- corrigeren van de informatie.

Het functionele verband tussen het toegevoegde karakter  $N_0$  en de karakters  $N_n$  t/m 1°, uit het informatieblok, wordt aangeduid als de "geschoven som": in een schuifregister worden de 9 bits van het eerste karakter gelijktijdig één bitpositie doorgeschoven, waarna het volgende karakter hierbij modulair wordt opgeteld.



Daarna wordt de nieuwe inhoud  $M_1(x)$  van het schuifregister opnieuw een plaats verschoven, waarna weer een optelling met het volgende karakter optreedt, etc. Deze gecombineerde "schuif - optel" operatie wordt telkens bij ieder karakter toegepast. Door nu de karakters in een polynoom notatie - volgens formule II.5 - weer te geven, kunnen wij ook de schuifopdracht gemakkelijk mathematisch weergeven. Het betreffende polynoom moet daartoe met de factor  $x$  vermenigvuldigd worden ( $k$  keer schuiven levert factor  $x^k$ ).

Omdat een "cyclische code" gedefiniëerd wordt door een gelijktijdig verschuiven van alle bits in een bericht, spreekt men hier ook wel van een Cyclic Redundancy Check Character = C.R.C.C. Na deze "schuif-operatie" wordt het volgende karakter  $N_{n-1}(x)$  bij het vorige resultaat  $M_n(x) = x \cdot N_n(x)$  opgeteld, met als resultaat:  $M_{n-1}(x) = N_{n-1}(x) \oplus M_n(x) = N_{n-1}(x) \oplus x \cdot N_n(x)$ . Deze optelling moet verlopen binnen een modulair gebied  $G$ . Dit komt zoals wij reeds eerder aangaven neer op een eventuele deling van het resultaat  $M_1$  door het "generatorpolynoom"  $G(x)$ . In de "C.R.C. foutencode generatie" bezit dit de volgende termen:

$$G(x) = x^9 \oplus x^6 \oplus x^5 \oplus x^4 \oplus x^3 \oplus 1 \quad (\text{II.9})$$

De deling verloopt volgens formule (II.8) en wij houden alleen een restterm  $R(x)$  over, die binnen het modulaire gebied  $G(x)$  valt.

Deze deling levert vanzelfsprekend alleen dan een quotiënt op indien in het originele karakter polynoom de coëfficiënt  $b_{g_i}$  (van de hoogste ordepositie  $x^8$ ) ongelijk is aan 0. Na de schuifoperatie ontstaat daardoor de term  $x^9$  en dit is deelbaar door  $G(x)$ . De gecombineerde "schuif - optel" operatie wordt telkens bij ieder karakter toegepast. Te beginnen met het eerste karakter  $N_n(x)$  zien er de tussenresultaten  $M_i(x)$  als volgt uit:

$$\begin{array}{rcll}
 M_n & = & 0 \oplus N_n & = N_n \\
 M_{n-1} & = & N_{n-1} \oplus x \cdot M_n & = N_{n-1} \oplus x \cdot N_n \quad \text{mod. } G \\
 M_{n-2} & = & N_{n-2} \oplus x \cdot M_{n-1} & = N_{n-2} \oplus x \cdot N_{n-1} \oplus x^2 \cdot N_n \quad \text{mod. } G \\
 \vdots & & \vdots & \vdots \\
 M_1 & = & N_1 \oplus x \cdot M_2 & = \sum_{i=1}^n x^{i-1} \cdot N_i \quad \text{mod. } G \\
 M_0 & = & 0 \oplus x \cdot M_1 & = \sum_{i=1}^n x^i \cdot N_i \quad (\text{II.10})
 \end{array}$$

Hierin is verondersteld dat het register  $M_i(x)$  vooraf "schoon-geveegt" was ("clear") dat wil zeggen  $M_{n+1}(x) = 0$ , dit is symbolisch weergegeven in de 1<sup>e</sup> regel van formule (II.10). Bij de laatste operatie wordt eveneens een nul polynoom aangeboden en opgeteld bij de inhoud van het register:  $0 \oplus x \cdot M_1 = x \cdot M_1$ . Rechts is aangegeven dat bij de optelling het resultaat modulo  $G$  gereduceerd wordt. Dit is vanzelfsprekend niet vereist bij een optelling met het nulpolynoom, zoals in eerste en laatste regel van formule (II.10). Het laatste resultaat

$$M_0 = \sum_{i=1}^n x^i \cdot N_i \Rightarrow N_0 \text{ is nu het C.R.C.-karakter en wordt als een}$$

karakter  $N_0$  op de band geschreven. Bij het lezen van deze magneetband vindt dezelfde mathematische bewerking (formule II.10) op de karakters uit het informatieblok plaats, behalve dat in de laatste operatie het nulpolynoom vervangen wordt door het gelezen C.R.C.-karakter  $N_0$ .

De foutendetectie bestaat daardoor uit de vergelijking van  $M_0(x)$  uit formule (II.10) met  $N_0(x)$  en levert dit nul op dan is er geen fout in het ontvangen informatieblok aanwezig (wel fout dan  $\neq 0$ ):

$$N_0(x) \oplus M_0(x) = 0 \quad \text{mod. } G \quad (\text{II.11})$$

Om nu een fouten corrigerend algoritme af te leiden, ontwikkelen wij het C.R.C.-karakter naar de individuele bits binnen het informatieblok:

$$N_0(x) = \sum_{i=1}^n x^i \cdot N_i(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^{\beta} b_{ij} x^{i+j} \quad (\text{II.12})$$

Hierin worden de bitposities  $b_{ij}$  vastgelegd door resp. de rij-index  $j$  (spoor) en de kolom-index  $i$  (karakter). Uit formule (II.12) volgt de bijdrage die ieder spoor ( $j$ ) afzonderlijk aan dit C.R.C.-polynoom levert, namelijk:

$$x^j \cdot \sum_{i=1}^n b_{ij} x^i.$$

De binaire waarden ("0" of "1") worden gerepresenteerd door de coëfficiënten  $b_{ij}$ , terwijl de bitpositie binnen het spoor aangegeven wordt door  $x^i$  en tenslotte de positie van het spoor zelf door  $x^j$ .

Deze binaire informatie wordt per spoor overgedragen op het registratiemedium. Hierbij kunnen fouten geïntroduceerd worden dat wil zeggen dat een of meer individuele bits van het betreffende spoor geïnverteerd worden. Zoals hiervoor aangegeven ontstaat bij lezen van de informatie het polynoom  $M_0(x)$  (in formule II.10) indien zich geen transmissie- of registratiefouten voordoen. De bit-invertering bij storing levert een extra bijdrage  $x^j \cdot \sum x^i$  tijdens het lezen van de "foutieve" magneetband. Hierin heeft  $x^j$  weer het betreffende foutieve spoor aan waarbij  $0 \leq j \leq 3$  en de sommering verloopt via de  $\oplus$  operatie over de foutieve bits in het spoor (dat wil zeggen van de betreffende karakters  $i$ ). Deze foutieve bits vormen op zich weer een veelterm:

$$E(x) = \sum x^i = \text{foutenpatroon} \quad (\text{II.13})$$

Totaal zal het C.R.C.-schuifregisters, na lezen van een foutief blok ( $M^*$ ), de volgende inhoud gekregen hebben:

$$M_0^*(x) = M_0(x) \oplus N_0(x) \oplus x^j \cdot E(x) = x^j \cdot E(x) \quad \text{mod. } G \quad (\text{II.14})$$

Ook hier is, overeenkomstig het voorgaande, weer sprake van een sommatie binnen het modulaire gebied  $G$ . Om de positie van de fouten in een spoor ook te kunnen aangeven wordt het foutenpatroon getransformeerd naar spoor 8. Dit is mogelijk door tijdens het leesproces telkens bij ieder karakter  $i$  het ontvangen pariteitsbit  $b_{8i}$  te vergelijken met het tijdens het lezen gevormde  $P_i$ -bit (zie formule II.8). Hierdoor ontstaat het volgende "foutenpolynoom":

$$F(x) = x^8 \cdot E(x) \quad \text{mod. } G \quad (\text{II.15})$$

De factor  $x^8$  hoort bij de coëfficiënt  $b_{8i}$  uit formule II.5, terwijl  $E(x)$  identiek is met het genoemde foutenpatroon. Dit laatste op grond van het feit dat bij één enkel foutief spoor de foutieve bits per karakter geïdentificeerd worden door de dwarspariteit controle. Is het foutenpolynoom  $F(x) \neq 0$  dan is het tweede bewijs dat er registratiefouten zijn opgetreden; de eerste indicatie levert de C.R.C.-controle volgens formule (II.10, 11). Er zijn nu twee polynomen die het foutenpatroon langs één spoor aangeven, namelijk:

- het C.R.C.-polynoom:  $M_0^*(x) = x^j \cdot E(x) \quad \text{mod. } G$
- het fouten-polynoom:  $F(x) = x^8 \cdot E(x) \quad \text{mod. } G$

Het enige verschil hiertussen vormt het spoornummer. Na het leesproces gaan wij deze twee polynomen met elkaar vergelijken. Zijn zij daarbij gelijk aan elkaar (en  $\neq 0$ ) dan is  $j = 8$  en dat wil zeggen dat het foutenpatroon zich bevindt op „spoor” 8. Is  $M_0^*(x) \neq F(x)$  dan gaan wij het eerste polynoom ( $j < 8$ ) verschuiven totdat er wel een gelijkheid optreedt. Een vermenigvuldiging van het polynoom  $M_0^*(x)$  met een factor  $x^k$ , betekent een verschuiving van spoor  $j$  in de richting van spoor 8 over  $k$  rijen (spoor  $\equiv$  rij). Om nu het foutieve spoor te vinden moet de volgende vergelijking opgaan:

$$x^{j+k} \cdot E(x) \oplus x^8 \cdot E(x) = 0 \quad \text{mod. } G \quad (\text{II.16})$$

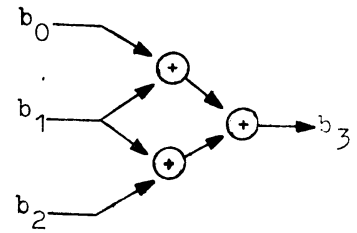
Dit betekent dat het foutieve spoor  $j$  gevonden is, namelijk:  $j = 8 - k$ ; mits echter  $k \leq 8$ , omdat per definitie  $0 \leq j \leq 8$ . Indien na 8 verschuivingen (en 9 vergelijkingen) er nog geen overeenkomst tussen geschoven som- en foutenpolynoom is opgetreden, hebben wij te maken met registratiefouten op meer dan één spoor, waardoor geen foutencorrectie mogelijk is. Nu wij het spoor  $j$ , waarin fouten voorkomen, gedetecteerd hebben kan foutencorrectie plaats vinden. Hiertoe wordt de magneetband teruggespoeld en het informatieblok opnieuw gelezen. Tijdens dit herhaalde leesproces worden die bits  $b_{ij}$  uit spoor  $j$  en het karakter  $i$  waarvoor de dwarspariteitscontrole  $P_i \oplus b_{8i} \neq 0$  (zie formule II.8) oplevert, geïnverteerd. Hierdoor ontstaat weer de oorspronkelijke informatie, mits er van "hardnekkige" fouten sprake was. Na deze leescorrectie wordt daartoe opnieuw de C.R.C.-controle uitgevoerd.

Doordat het generatorpolynoom  $G(x)$  symmetrisch is kan de foutencorrectie ook uitgevoerd worden tijdens het terugspoelen ("backward" of "rewind") van de magneetband.

Illustratie van foutendetectie en correctie.

Wij kiezen hiertoe een informatieblok bestaande uit slechts 4 rijen en 4 kolommen:

karakter (j) spoor \ karakter (i)	$N_3$	$N_2$	$N_1$	$N_0$
$b_0$	1	0	1	1
$b_1$	0	0*	1*	0
$b_2$	1	1	0	1
$b_3$	1	0	1	0



(a) geschreven informatie  
op magneetband

(b) dwarspariteits (P)  
vorming

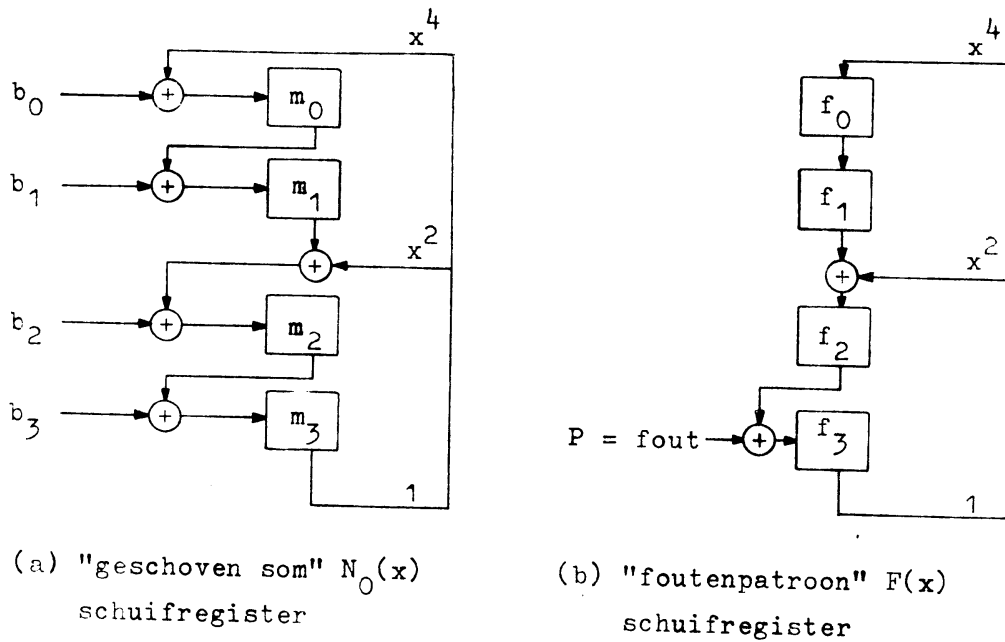
Figuur II-1

Hierin zijn: \* = bitposities die foutief gelezen worden.

$b_3$  = dwarspariteitsbit, bepaald met behulp  
van de schakeling in (b).

$N_0$  = "geschoven som" karakter.

Dit  $N_0$  karakter ontstaat in een sekventiële schakeling, die  
geheugenelementen ( $m_{0,1,2,3}$ ) bezit:



Figuur II-2

De terugkoppeling, in beide schakelingen, beperkt de sommatie  $\oplus$  tot een modulair gebied  $G$  en wij kiezen voor dit "generatorpolynoom":  $G(x) = x^4 \oplus x^2 \oplus 1$ . In beide figuren is het synchronisatiesignaal weggelaten: door middel van een gemeenschappelijke "klokpuls" ( $\alpha$ ) wordt karakter na karakter doorgeschoven, waardoor sommatie over alle bits binnen het informatieblok. Figuur II-2a wordt alleen gebruikt bij het lezen van de magneetband en wel met dezelfde  $\alpha$  als in figuur II-2b. Als laatste karakter wordt tijdens het schrijfproces  $b_{0,1,2,3} = 0000$  aangeboden, waardoor na afloop het schijfregister het gewenste foutendetectie karakter  $N_0$  oplevert. Het schuifregister a doorloopt daartoe de volgende toestanden  $M$ :

		$M_3$		$M_2$		$M_1$		$M_0$	hulpreg.
$b_0$	1		0		1		0		1
$m_0$		1		1		0		1	
$b_1$	0		0		1		0		0
$m_1$		0		1		0		0	
$b_2$	1		1		0		0		1
$m_2$		1		0		0		1	
$b_3$	1		0		1		0		0
$m_3$		1		1		1		0	
	$N_3$		$N_2$		$N_1$		$N=0$		$N_0$

Figuur II-3. De vorming van de geschoven som  $N_0$  tijdens het schrijfproces.

In tabel II-3 zijn tevens de te registreren karakters  $N$  uit het informatieblok aangegeven. Tevens zijn verticaal de bitposities gedefinieerd.

Na afloop van de schrijfcyclus wordt de inhoud  $M_0$ , van het schuifregister uit figuur II-2a, doorgegeven aan een hulpregister. Hierdoor komt deze schakeling weer vrij om bij het lezen opnieuw een geschoven som te bepalen. Hierbij wordt als laatste karakter  $N_0$  aangeboden en zal indien zich geen registratiefouten voordoen de inhoud  $M_0 \equiv m_{3,2,1,0} = 0000$  zijn.

Om nu de foutencorrectiemethode te illustreren nemen wij aan dat de met een \* aangegeven bits uit tabel II-1 foutief zijn overgekomen. Dit betekent dat de karakters  $N_2^*$  en  $N_1^*$  verminkt zijn. Dit levert bij het lezen op de volgende wijze een "geschoven som"  $M_0^* \neq 0$ :

		$M_3$		$M_2$		$M_1$		$M_0^*$
$b_0$	1		0		1		1	
$m_0$		1		1		0		0
$b_1$	0		1*		0*		0	
$m_1$		0		0		1		0
$b_2$	1		1		0		1	
$m_2$		1		0		1		1
$b_3$	1		0		1		0	
$m_3$		1		1		1		1
	$N_3$		$N_2^*$		$N_1^*$		$N_0$	

Figuur II-4. De vorming van de geschoven som  $M_0^*$  tijdens het leesproces.

Gelijktijdig wordt de dwarspariteit geïnspecteerd en de resultaten van deze vergelijking toegevoerd aan het foutenpatroon schuifregister uit figuur II-2b.

		$F_3$		$F_2$		$F_1$		$F_0$
$f_0$		0		0		1		1
$f_1$		0		0		0		1
$f_2$		0		0		1		1
$(b_3 \oplus P)$	0		1		1		0	
$f_3$		0		1		1		1
	$P_3$		$P_2$		$P_1$		$P_0$	

Figuur II-5. Opbouw van het geschoven foutenpatroon  $F(x)$  tijdens het lezen van de magneetband.

Nu blijkt  $M_0^* \oplus F_0 \neq 0$ , waardoor wij de "geschoven som"  $M_0^*$  verder doorschuiven ( $k$ -maal) totdat er wel een gelijkheid optreedt.

	$M_0^*$		$k=1$		$k=2$
$b_0$		0		0	
$\pi_0$	0		1		1
$b_1$		0		0	
$m_1$	0		0		1
$b_2$		0		0	
$m_2$	1		1		1
$b_3$		0		0	
$m_3$	1		1		1
		$N=0$		$N=0$	

Figuur II-6. Het detecteren van het foutieve spoor nummer  $j$ .

Na 2 maal schuiven blijkt het geschoven foutenpatroon identiek te zijn met de geschoven som. Dit betekent dat wij het foutieve spoor gevonden hebben en wel is  $j = 3-k = 1^e$  spoor.

Opmerking: Het "foutenpatroon", langs dit spoor, volgt uit figuur (II-1,5) en is 0110 of  $E(x) = x^2 \oplus x$ .



Conclusies.

Data communicatiestoringen blijken detecteerbaar en meestal ook corrigeerbaar. Bij constatering van een fout in de magneetbandregistratie is het daarbij nuttig het leesproces enige malen (bijvoorbeeld 10 x) te herhalen alvorens tot een meer ingrijpende datacorrectie over te gaan. Blijken echter bij dit herhaalde lezen dezelfde fouten in één enkel spoor op te treden dan is correctie van de informatiestroom mogelijk, op de hierboven beschreven wijze. In de praktijk (wij hebben nu 2 jaar ervaring) blijkt de sporadisch optredende registratiefout (3 à 4 p.p.m.) inderdaad beperkt te blijven tot één spoor. In dit verband moet echter opgemerkt worden dat niet alle computersystemen de beschreven correctiemogelijkheid bezitten. Bij het steeds sneller worden van de communicatieverbindingen is het echter ontoelaatbaar de foutendetectie en correctiemogelijkheden niet tevens drastisch te verbeteren. De boven beschreven methode is slechts een van de vele mogelijkheden [10]

Zoals in dit rapport meerdere malen gestippuleerd is, dienen ook (automatische) meetsystemen van de nodige foutendetectie en correctiemogelijkheden te worden voorzien. Dit nu is de reden waarom wij een voorbeeld hiervan zo diepgaand besproken hebben. O.a. zijn metingen van "looptijden" (een methode om windsnelheid te bepalen) in een zeer gestoorde omgeving daardoor zeer goed mogelijk.

# data acquisition and conversion

J. M. K. Friend, B.Sc. and G. F. Hooper, C.Eng., M.I.E.R.E.  
Racal-Thermionic Ltd.

In this Chapter the subject of magnetic tape recording for digital applications is considered in three parts.

- Firstly the reasons for the use of magnetic tape for digital recording
- Secondly the requirements of a digital magnetic tape recording system
- Finally the realisation of these requirements

## REASONS FOR THE USE OF MAGNETIC TAPE FOR DIGITAL RECORDING

The recording of data in a digital rather than an analogue form has assumed great importance as a result of the widespread application of digital computers to electronic data processing systems. In such systems there are basically two requirements for digital recording equipment

- i. as an input/output device, and
- ii. to provide a 'back-up storage' facility.

Traditionally the first of these requirements has been filled by the paper tape punch/reader system or punched cards, and the second by magnetic tape. The situation has, however, changed somewhat during the last two or three years and magnetic tape is now finding applications as an input/output medium but is in turn being partially replaced, as a back-up store, by magnetic drums, discs and disc packs. These systems offer considerable advantages over magnetic tape in terms of access time, but do not as yet provide the same data storage capacity per equipment.

As an input/output medium paper tape, although at first sight having the advantage of simplicity, is by computer standards capable of only very slow transfer rates, and because of practical mechanical considerations a large volume of paper is required to store a relatively small amount of data.

Magnetic tape offers considerable advantages both in terms of recording density and transfer speed. For example, a single 10½ in. reel of magnetic tape would, in storage capacity, be equal to a stack of punched cards 75 ft. high, or to a reel of paper tape 83,000 ft. long. The data transfer speeds achieved by magnetic tape are typically more than 100 times in excess of those for paper tape or cards. Furthermore, magnetic tape may be erased and reused, whereas paper tape is, by the very nature of the recording process, usable only once.

It is possible, therefore, for a magnetic tape station fitted to a computer installation to combine the function of back-up storage together with those of an input/output device; however, for this to be possible, the exact format and method of recording information on the magnetic tape must be clearly

defined and, if possible, standardised thus allowing for the interchange of tapes between systems.

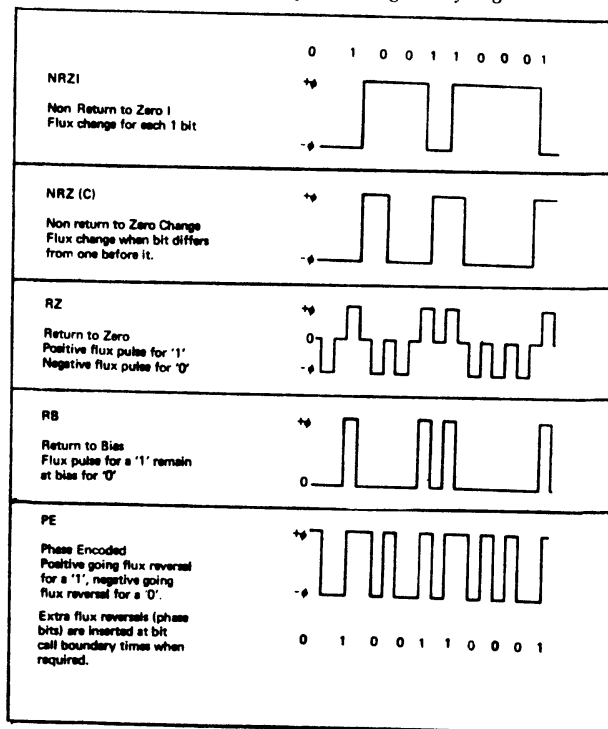
## REQUIREMENTS OF A DIGITAL MAGNETIC TAPE RECORDING SYSTEM

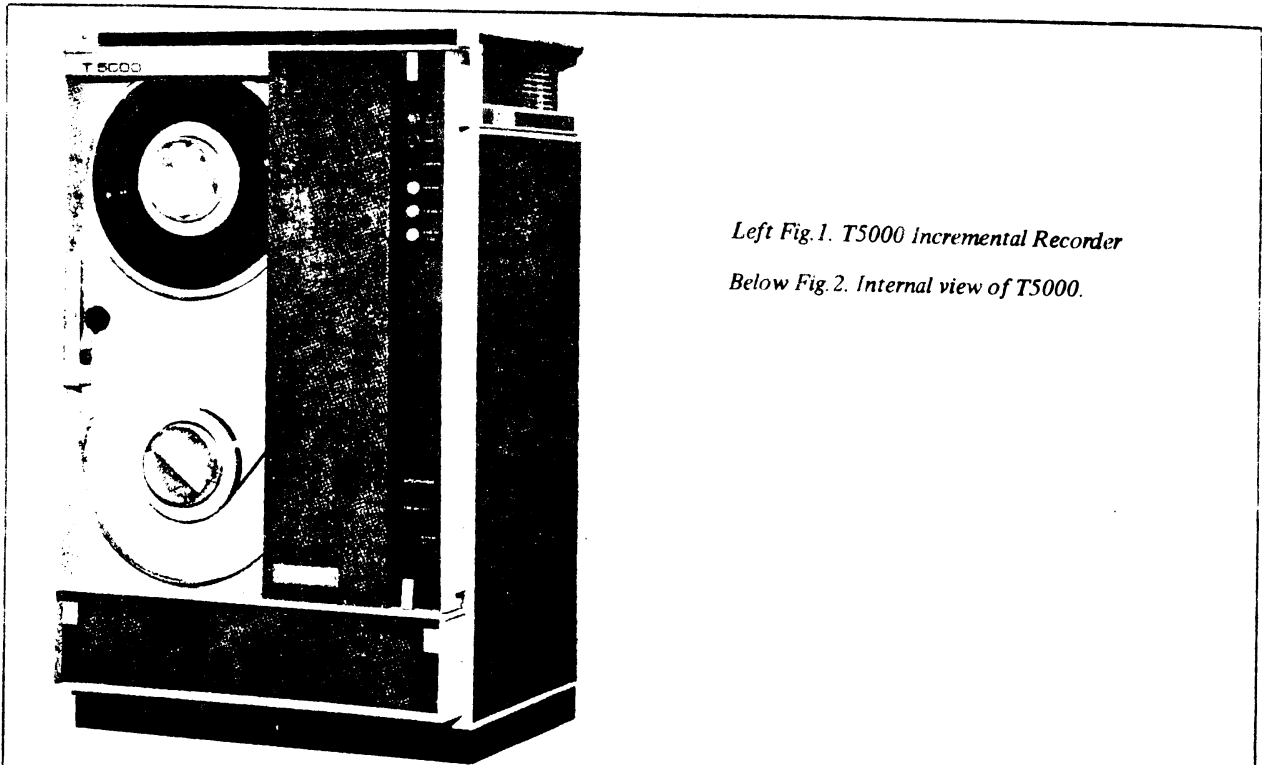
In the same manner in which analogue recording has basically well defined specifications to facilitate the interchange of information between organisations and end users, specifications have been written to maintain data interchange with digital recording. These specifications were, however, written in a slightly different manner. The analogue specifications were written as end-user specifications, whereas the digital specifications have come basically from the computer manufacturers and mainly from IBM as the biggest manufacturer in their ranks. Hence what is the IBM compatibility specification of to-day tends to colour the data interchange specification of tomorrow.

In the UK there are two specifications:

- i. BS3968: 1966 for 7 track magnetic tape for data interchange recorded at 200 bpi and
- ii. Draft BS Document No. 68/30502 for 9 track magnetic tape for data interchange at 800 bpi.

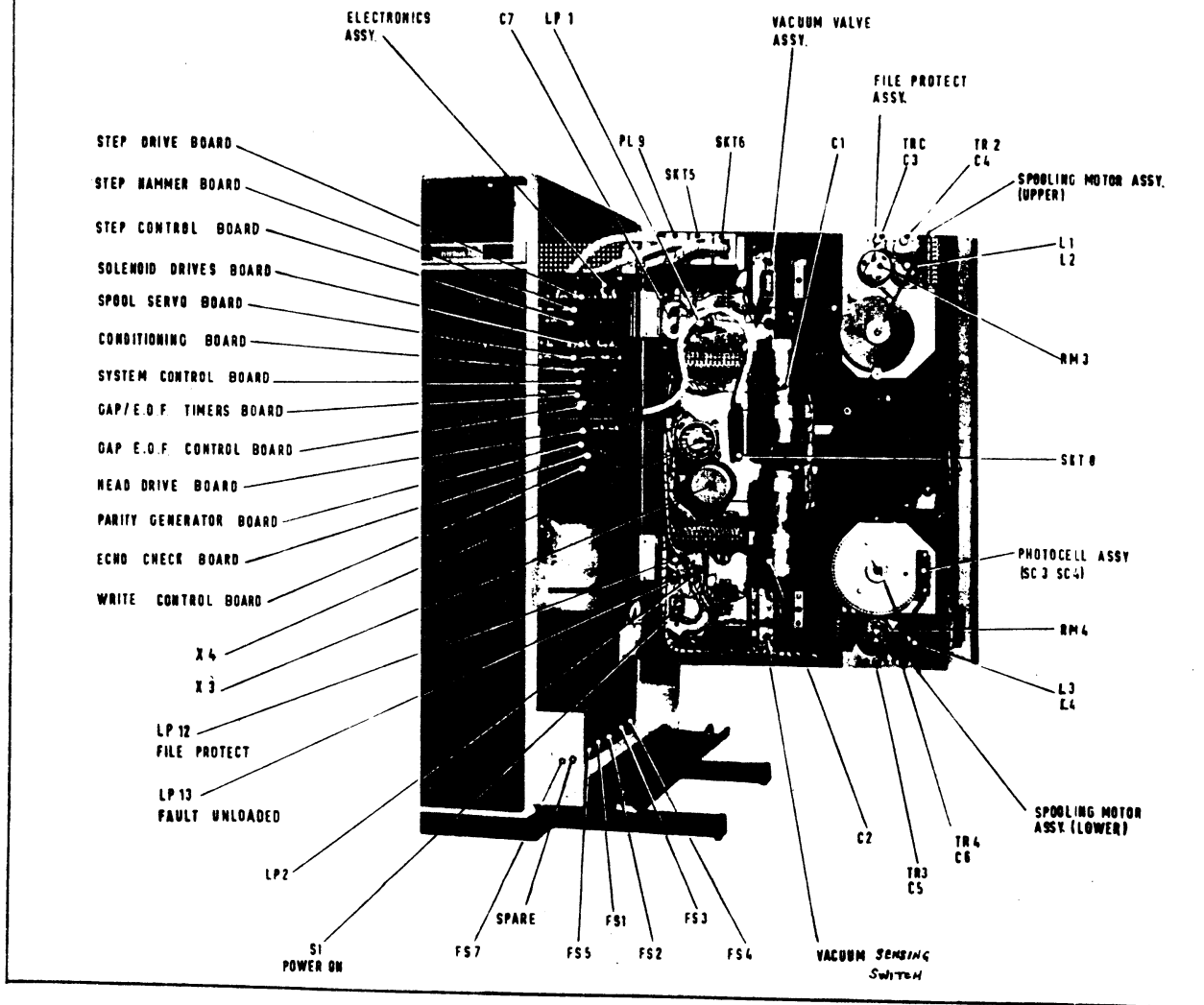
Table 1. Methods of recording binary digits.





Left Fig. 1. T5000 Incremental Recorder

Below Fig. 2. Internal view of T5000.





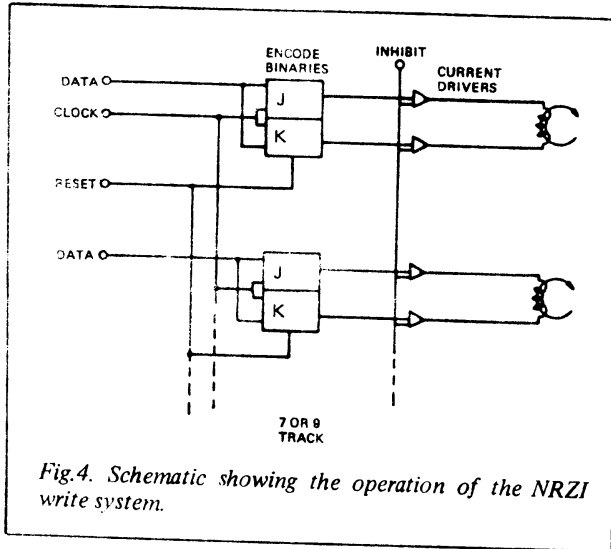


Fig.4. Schematic showing the operation of the NRZI write system.

- b. Variations between read and write equipment in tape handling and hence tape skewing.
  - c. Read gate time (always subsequent to the first '1' bit in the stripe).
  - d. Tolerance of bits in any one data stripe.
- ix. One can continue in this vein for some while regarding such features as longitudinal and transverse parity, direction of tape wind, hub sizes, etc., but it will be appreciated that before the manufacturer can begin to build in his own features he has a great deal to do just to meet the standards laid down. It would perhaps be relevant at this stage to consider very briefly the way in which digital information is recorded on tape and subsequently replayed.

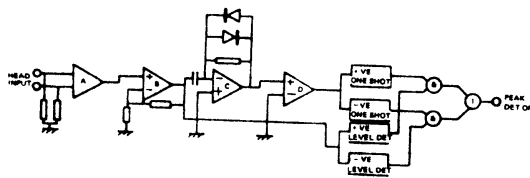


Fig.5a. Amplifier and peak detector.

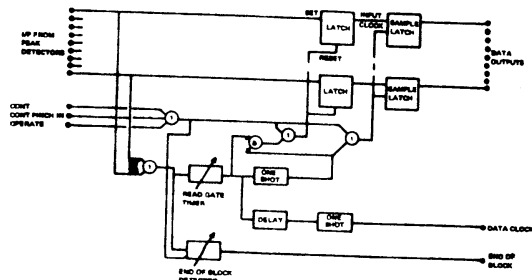


Fig.5b. Decode logic.

### Recording digital information

A compatible digital magnetic recording system records a digital character as a combination of '1's or '0's in 7 or 9 tracks spaced equally across the 1/2 in. width of the tape, each track having a specific weighting or significance which depends on the code being used. The distance between successive characters recorded on the tape must be constant and is defined as the 'packing density'.

Ideally, therefore, a digital magnetic tape record will consist of a series of equally spaced stripes of information, or BYTES as they are known, each of which is perpendicular to the edge of the tape.

In practice this situation is not achieved due to mechanical imperfections:

- a. in the magnetic recording head such as gap scatter;
- b. in the tape guidance system which results in the magnetic head not always being perpendicular to the edge of the tape.

These factors combine to cause what is referred to as 'skew' which is thus defined as the tolerance band containing the bits which refer to one BYTE.

Among the more common methods of recording binary digits are those shown in Table 1.

There are several basic formats for writing '1's and '0's — Return to Zero, Non-Return to Zero Mark and Phase Encoded being amongst the most popular used.

**Return to Zero or RZ** — returns the tape to the demagnetised state between each bit and produces a recorded pulse for each bit, '1' being positive saturation and '0' being negative saturation. This form of recording has the advantage of carrying its own clocking since there is a pulse for each and every bit. The disadvantages are that there are two flux reversals per bit, which makes for a lower packing density and the loss of a bit by drop-out causes a loss of that stripe of information. Since the head is returned to a zero condition between bits it is not possible to overwrite and, therefore, tape must be properly erased before use and the output is only half that of NRZI.

**Non-Return to Zero Mark or NRZI** — only changes the state of magnetisation each time a '1' bit occurs. To use NRZI an external clock system is required usually combined with parity, in other words the tape is read at regular intervals to determine whether an '0' or '1' should be read and since conventional heads read only a change of magnetic flux, no signal from the head is interpreted as a '0'.

The disadvantage of NRZI is the need for the wide bandwidth in the electronics, i.e. a row of '0's followed by a row of all '1's is a change of output frequency of zero up to the maximum dictated by the packing density which one is writing on tape. The advantages are a higher packing density is possible, since less flux reversals are involved for a comparative signal and true saturation recording means that overwriting is possible. The presence of the parity as clock means that once again there is only a data loss for an incorrectly written — say dropouts — stripe of information.

**Phase Encoded or PE** — writes one flux reversal for both '1' and '0'. A positive flux reversal is defined as a '1' and a negative flux reversal is defined as a '0'.

The extra shifts that occur at bit cell boundary time (phase bits) are necessary to maintain the correct direction of shift for each type of bit when writing two like PE bits, either '1' and '1' or '0' and '0' in succession. This system has the advantage of being self clocking from the flux changes and a further advantage over NRZI is that the electronics bandwidth is now only 2:1. With parity written once again any fault in writing can be confined to that data stripe.

All systems exhibit the phenomenon of pulse crowding at high packing densities, i.e. the high rates of change result in a falling off of the signal strength with increasing frequency. However, NRZI exhibits this phenomenon less than RZ or PE since the number of flux reversals for a given packing density is at most half that required for PE or RZ encoding. For PE recordings, since the frequency band of the signal off tape is only 2 to 1, the variations in output amplitude will be less than for NRZI encoded recordings where the bandwidth is much greater.

Of these modes NRZI and PE are generally accepted as computer compatible, NRZI being used at 200, 556 and 800 bpi, and PE at 1600 bpi.

### Parity recording

Another requirement of computer compatibility is that 'parity' shall be recorded; this is simply a technique for detecting errors that might occur during the writing or reading process and may be considered in two parts.

**Lateral, Transverse or Vertical Parity.** This technique is a character by character test for each of the '1' bits across the tape width. As each character is written, the appropriate bits are written in the parity track so that the total number of '1' bits in a character is always odd (OR even in some systems). This then provides a means of checking the validity of

information when the tape is read back. However, should two '1' bits in a character be lost either on record or replay, transverse parity will not provide a check.

**Longitudinal Parity.** This is a means of checking the '1' bits along the length of each track. After writing all the characters of a record a special character, known as the LRCC (Longitudinal Redundancy Check Character), is written 4 character spaces after the last character in the record. This character is that required to make the total number of '1's in any track even, and hence in the same way that transverse parity can be used to provide a character by character check, longitudinal parity provides a track by track check when the information is replayed.

On 9 track systems in addition to the error detection provided by lateral and longitudinal parity an additional character known as the Cyclic Redundancy Check is written at the end of each record. This character provides information about the bit configuration of the entire record and allows for error correction, provided that errors are restricted to a single track.

### Realisation of these requirements

Having considered the requirements of producing a tape to the accepted data interchange standards, we must now consider how the manufacturer attains these and what else can be done to make a system attractive to the user.

It will be appreciated that in order to achieve a computer compatible tape with the minimum of errors it is best that one considers 'source data recording', i.e. recording the data as near to the source as possible directly in a computer compatible form. This removes the need for subsequent re-recording and reformatting and hence a possible source of error.

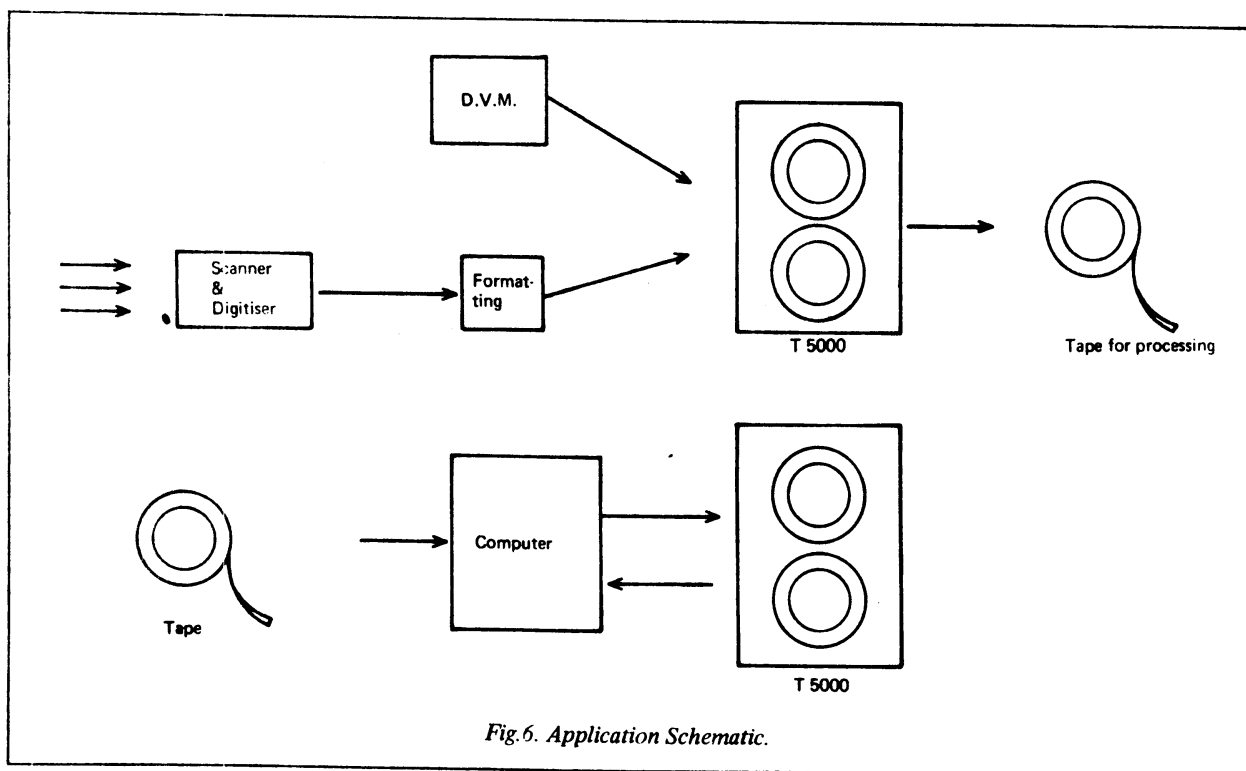


Fig. 6. Application Schematic.

Since the majority of data tends to be of a random or asynchronous nature the use of continuously running digital records is not always suitable for the task as a tape of non-uniform packing density would be produced, that is unless some intermediate buffer storage is introduced into the system. It was for recording asynchronous data directly in a computer compatible form that the incremental recorder was evolved. This is a device that can accept data at any random rate up to a specified maximum and record it on tape in an evenly spaced format.

Basically the machine functions by writing each character presented to it on tape, advancing the tape to a fixed distance or increment (the exact distance being determined by the packing density required) and remaining at that point until the next data character is presented.

### Tape transport

This is a fast stop-start transport utilising vacuum columns as tape buffers. Here we find some divergence of opinion with recorder manufacturers, some using servoed transient arms and others the vacuum column. If one considers that the prime use of the tape after recording is for computer digest, then it seems logical the transport should handle the tape in a manner similar to that employed by the computer. Computer handlers use servoed vacuum columns as tape buffers because of their rapid response to direction changes and because they maintain an even tape tension. Hence servo jitter and vibration is not transmitted to the tape whilst in contact with the head, nor does it suffer undue shock or strain during stopping and starting. This gives rise to good overall tape handling with regard to skew and to tape layering on the spools. Additionally it gives rise to simplicity in tape loading.

There are of course certain disadvantages in the use of vacuum columns. The need for a vacuum source adds weight and a power need to the recorder, and vacuum columns are notorious for their filtering effect between tape and column walls. However, this latter point is only a minor one since we are all agreed that digital recording calls for a clean environment to prevent dust accumulation on the tape leading to tape errors irrespective of the tape tensioning medium. The suction of dust into the columns of course does ensure additional cleaning around the head area thus minimising the effects of any particles which have ingressed. The weight and power requirements, however, are a disadvantage where size and portability are paramount. Hence where and how the equipment is to be used can be an influencing factor for the end user. The buffering effect of the columns can be used to great advantage should one wish to work in an environment with a vibration problem.

**Tape transport — mechanical notes.** The spooling motors are set in tandem to permit the loading of 10½ inch spools on to the machine and still maintain 19 in. rack mounting possibilities.

Since the tape operates in vacuum columns in all operational modes proportional servoes are used to give dynamic braking and the mechanical brakes are used only for emergency, e.g. mains failure and parking.

On the deck are mounted photo-electric sensors to give:

- directional sensing for spooling,
- B O T and E O T sensing,
- level control in the columns.

The particular machine illustrated by Figs. 1, 2 and 3 is fitted with two capstans for driving the tape. One of these provides incremental movement and the other continuous forward movement of the tape at 37.5 ips. This second capstan, as well as providing a continuous recording facility for synchronous data, is used to insert the inter-record gaps when the machine is being used as an incremental recorder.

The incremental drive can be either of stepper motor configuration or a high torque motor in which the motion is controlled by a feedback system and rotational sensing device. The system is self braking and provides controlled braking to prevent excessive tape travel.

Spring loaded ceramic edge guides are used each side of the head to control skew. The front door of the transport is sealed to the deck plate when closed and the whole equipment is operated under positive pressure to reduce the ingress of dust to the recording head area; for dust is, without doubt, the greatest single source of errors encountered in magnetic recording systems.

With regard to the electronics control and drive logic, if we consider an input signal from a data source we can see that:

- The data is converted, where necessary, to a logic level compatible with the equipment (which is all TTL in this case).
- It is fed to the various control boards for stepping and writing controls and also to the parity generator and gap/EOF controls. This ensures that the equipment writes the data at the correct time and the various operations for stepping, gapping and parity generation operate in the correct sequence.
- The basic deck controls are also inter-locked through the overall system control with status sensing signals derived from the deck.
- The data is then fed to the head drives and the action of transferring the data onto tape is carried out.

### NRZI write system

Current is passed through the head current windings, causing the tape to be saturated magnetically. In response to a clock pulse and a '1' data input, the encode binary turns over, causing the current through the write head winding to reverse and hence causes a flux reversal to be recorded on tape. The inhibit input allows the write head current to be turned off when the equipment is not in a write mode (Fig. 4).

At the end of each data block and during the load process, a reset input causes the encode binaries to be reset to magnetise the tape in the required direction, and write the LRCC character.

Additional facilities can be fitted such as transverse parity generation, echo checking, automatic block length counting, and read electronics. Parity generation in both longitudinal and transverse direction assists in error detection and is necessary for true compatibility.

Since the majority of data tends to be of a random or asynchronous nature the use of continuously running digital records is not always suitable for the task as a tape of non-uniform packing density would be produced, that is unless some intermediate buffer storage is introduced into the system. It was for recording asynchronous data directly in a computer compatible form that the incremental recorder was evolved. This is a device that can accept data at any random rate up to a specified maximum and record it on tape in an evenly spaced format.

Basically the machine functions by writing each character presented to it on tape, advancing the tape to a fixed distance or increment (the exact distance being determined by the packing density required) and remaining at that point until the next data character is presented.

### Tape transport

This is a fast stop-start transport utilising vacuum columns as tape buffers. Here we find some divergence of opinion with recorder manufacturers, some using servoed transient arms and others the vacuum column. If one considers that the prime use of the tape after recording is for computer digest, then it seems logical the transport should handle the tape in a manner similar to that employed by the computer. Computer handlers use servoed vacuum columns as tape buffers because of their rapid response to direction changes and because they maintain an even tape tension. Hence servo jitter and vibration is not transmitted to the tape whilst in contact with the head, nor does it suffer undue shock or strain during stopping and starting. This gives rise to good overall tape handling with regard to skew and to tape layering on the spools. Additionally it gives rise to simplicity in tape loading.

There are of course certain disadvantages in the use of vacuum columns. The need for a vacuum source adds weight and a power need to the recorder, and vacuum columns are notorious for their filtering effect between tape and column walls. However, this latter point is only a minor one since we are all agreed that digital recording calls for a clean environment to prevent dust accumulation on the tape leading to tape errors irrespective of the tape tensioning medium. The suction of dust into the columns of course does ensure additional cleaning around the head area thus minimising the effects of any particles which have ingressed. The weight and power requirements, however, are a disadvantage where size and portability are paramount. Hence where and how the equipment is to be used can be an influencing factor for the end user. The buffering effect of the columns can be used to great advantage should one wish to work in an environment with a vibration problem.

**Tape transport — mechanical notes.** The spooling motors are set in tandem to permit the loading of 10½ inch spools on to the machine and still maintain 19 in. rack mounting possibilities.

Since the tape operates in vacuum columns in all operational modes proportional servoes are used to give dynamic braking and the mechanical brakes are used only for emergency, e.g. mains failure and parking.

On the deck are mounted photo-electric sensors to give:

- a. directional sensing for spooling,
- b. B O T and E O T sensing,
- c. level control in the columns.

The particular machine illustrated by Figs. 1, 2 and 3 is fitted with two capstans for driving the tape. One of these provides incremental movement and the other continuous forward movement of the tape at 37.5 ips. This second capstan, as well as providing a continuous recording facility for synchronous data, is used to insert the inter-record gaps when the machine is being used as an incremental recorder.

The incremental drive can be either of stepper motor configuration or a high torque motor in which the motion is controlled by a feedback system and rotational sensing device. The system is self braking and provides controlled braking to prevent excessive tape travel.

Spring loaded ceramic edge guides are used each side of the head to control skew. The front door of the transport is sealed to the deck plate when closed and the whole equipment is operated under positive pressure to reduce the ingress of dust to the recording head area; for dust is, without doubt, the greatest single source of errors encountered in magnetic recording systems.

With regard to the electronics control and drive logic, if we consider an input signal from a data source we can see that:

- a. The data is converted, where necessary, to a logic level compatible with the equipment (which is all TTL in this case).
- b. It is fed to the various control boards for stepping and writing controls and also to the parity generator and gap/EOF controls. This ensures that the equipment writes the data at the correct time and the various operations for stepping, gapping and parity generation operate in the correct sequence.
- c. The basic deck controls are also inter-locked through the overall system control with status sensing signals derived from the deck.
- d. The data is then fed to the head drives and the action of transferring the data onto tape is carried out.

### NRZI write system

Current is passed through the head current windings, causing the tape to be saturated magnetically. In response to a clock pulse and a '1' data input, the encode binary turns over, causing the current through the write head winding to reverse and hence causes a flux reversal to be recorded on tape. The inhibit input allows the write head current to be turned off when the equipment is not in a write mode (Fig. 4).

At the end of each data block and during the load process, a reset input causes the encode binaries to be reset to magnetise the tape in the required direction, and write the LRCC character.

Additional facilities can be fitted such as transverse parity generation, echo checking, automatic block length counting, and read electronics. Parity generation in both longitudinal and transverse direction assists in error detection and is necessary for true compatibility.



Echo checking is merely a method whereby the go state of the write logic, head drive circuits and head windings can be ascertained; a no-go state indicates a fault present at that data stripe.

Automatic block length counting is a feature useful for allowing the equipment to block up data in discrete blocks where there is no external control over the input data amount.

Read electronics are an obvious advantage where quick access to recorded data is called for, or for driving directly into computers, or equipment which can take blocks of data for digest.

### NRZI read system

A typical NRZI read system is shown in Fig.5. The system may be considered in two parts:

- a. Amplification and peak detection.
- b. Decode logic.

**Amplification and peak detection.** The output signal from the read head is typically 5 mV for 37.5 ips, 556 bpi operation; this is amplified by two amplifiers to a level of about 1.2 V peak. The first amplifier has a high input impedance differential stage, to give high common mode rejection, together with low noise.

The gain of the second amplifier is made adjustable to handle the variation in the level of head output. The output of this amplifier feeds a +ve and -ve level detector and also a differentiator. This is followed by a squaring amplifier and two one shots, one for +ve and the other for -ve transitions. The one shot outputs are in turn gated by the level detector outputs to provide the final output, which is a pulse occurring at the peak of the head output signal.

**Decode logic.** Each input, derived from the output of the amplifier and peak detector circuit, is fed to a de-skew latch. The output of the de-skew latch is clocked in turn into a data hold latch, the output of which is presented as the final data output.

Read after write checking is impossible with incremental systems due to the problems associated with character correlation. Whereas in continuous recording, verification can be obtained by using a read head placed downstream and reading the data a very short while after it is written, with incremental recording the time between one step and the next could be hours, and by the time data reaches the read head a great deal of time could elapse. To be useful, verification should take place before the data is lost. Also it is impossible to ensure that a stripe written on tape by the write head will line up with the read head at the exact time some subsequent write step is made. For instance at 200 bpi, steps are 5 thou at a time and the gap between a read and write head is some 0.300 in., the bit lengths being less than 0.5 thou.

Flux checking has been offered as a means of verification that data has been written by instantaneously endeavouring to detect flux changes in a read manner.

The uses of the digital recorder are manifold either in the incremental or continuous modes of operation, and since its introduction the computer has permitted recording to be carried out in many

fields where before either cost or accessibility have ruled this out. To consider but a few of the applications, examine the block schematic showing such a recorder in an overall system concept (Fig.6).

We can consider raw data in an analogue form being fed into a scanner, being digitised some formatting taking place in say a logger and the results being recorded in computer compatible form on the recorder. The tape can then be sent to the central processing room where it can be loaded into the computer for intensive analysis. Obviously the output to the recorder does not have to be from a logger in the first case. It can be in digital form from any type of digital processor. Likewise the recorder can be operating with a computer on a read-write basis being controlled by the computer acting as an external store for the computer either on short or long term duration.

The recorder can also be copying relevant data for subsequent transmission or acting as a data buffer to allow the computer to work at higher data rates than the incoming information will allow, thus giving time sharing facilities to several jobs on the one computer. Having said so much about its position in the data chain let us consider its applications in the various fields of industry, business and science.

### Data loggers

The recorder can be used for logging in a variety of applications:

As the output receptor for data loggers in scientific and engineering experiments such as nucleonics, crystallography or nuclear reactor tests, and spectroscopy.

On test bed systems for aerospace research or the automotive industry where data is usually of a once-off nature and requires subsequent analysis, or is needed for subsequent control operations.

Medical research or formatting of medical data for patient libraries.

Performance tests and structural tests.

Traffic logging, such as for the post office where traffic density and accounts recording are needed. Such analysis on telephone or transmission links gives invaluable data to advise when load shedding is normally needed or additional lines required.

Geophysical logging, where data is of a slow, long and random nature, permitting rapid analysis regarding geo-magnetic shifts to be noted — a great problem in radio transmission, causing black-outs.

Seismographic exploration, recording data in computer compatible form permitting rapid analysis of seismic events and their end products.

Plant monitoring on board ships at sea or for use with electricity, gas or oil generation equipment.

A temporary logging function can be added to existing process or control systems for problem diagnosis or general investigation. Where the sites could be dangerous or generally inaccessible the long duration recorder permits long periods of unattended operation before the tape is sent for subsequent processing and analysis.

### Computers

The recorder can be used as replacement for paper tape peripherals, or for off-line data acquisition such

as curve follower collection. It can be used to give off-line printout or plotting, or for paper tape to magnetic tape conversion or straight tape copying from one packing density to another.

Much computer data is at present being transmitted via teletypewriters. This allows a hard copy to be produced and by interfacing to an incremental recorder allows the writing of a permanent high density record on tape. The recorder can also find use as a back-up store for the smaller computer, to permit either tape access or data sifting.

#### Data transmission

One of the most effective ways of transmitting data from point to point is over lines. Usually the cost of using this is proportional to the speed in which the data can be read out at one end to be stored at the other. A neat way of carrying out data transmission would be computer to computer. The limitations are the upper limit of line transmission in the region of 4,800 bauds, i.e. 800 character/sec. and the basic nature of raw data which is usually random or slow in nature. Thus computer time becomes expensive since one is not fully utilising the computer's input rate

and also straight random data will not ensure full usage of the lines. Two incremental recorders can pass data at a fairly rapid rate asynchronously down the line, giving low line cost and computer compatible records stored and ready for use. Incremental recorders permit the handshake technique necessary to keep data transmission to a minimum i.e. until all is ready neither end of the line is engaged.

#### Automation

The use of automation in process control, plant performance and machine tool control is growing and the computer is beginning to play a greater and greater part in generating and processing data for and from automatic processes.

The use of magnetic tape permits higher speed operations, larger and more complex programs, and subsequent higher speed program copying and updating than is possible with card or punch tape control. Conventional numerical tool control program systems, either by expense or by virtue of slow speed, are finding themselves replaced.

The field of such application is in pattern making and controlling for knitting or material working.

---

APPENDIX IV Weergave van de registraties en voorbereiding.

Ter illustratie zijn in de volgende tabellen de "ponsbandregistraties" omgezet in een leesbare vorm, aangeduid als "computer output". In de eerste tabel zijn twee informatieblokken letterlijk weergegeven o.a. zijn hierin alle meetwaarden in drie decimalen 000 tot 999 weergegeven en de kanaalnummers geïndiceerd door de extra symbolen uit par. 2 (tabel 2.2). Er zijn in dit geval 30 meetwaarden vastgelegd afkomstig van de 200 m-mast en geregistreerd op ponser nummer 2. Kanaal 29 is overgeslagen, terwijl kanaal 49 een ijkspanning (zie par. 2.2) weergeeft.

In een tweede tabel: enige resultaten van een achteraf, via de K.N.M.I. rekenmachine, uitgevoerde controle van de ponsbandregistraties.

In de derde tabel zijn de meetspanningen omgezet naar fysische grootheden met behulp van gemiddelde ijkwaarden voor ieder type instrument. De getallen geven exponentiële gemiddelden (par. 4.1) weer over 2 minuten. Zowel voor de windsnelheid ( $F = \text{"force"}$ ) als voor de "absolute" temperatuur ( $T$ ) dient een komma geplaatst te worden voor het laatste cijfer. Door middel van thermokoppels worden ook temperatuurverschillen gemeten, genoteerd door  $D = \text{"difference"}$  en  $T = \text{"temperature"}$ , bijvoorbeeld  $D20 T16 = \text{temperatuurverschil tussen 200 en 160 meter}$ . De meetresultaten hiervan worden in de tabel aangegeven in een decimaal achter de komma, terwijl het gemiddelde (GM) van zowel  $T$  als  $DT$  in twee decimalen achter de komma wordt vermeld. De windrichting ( $D = \text{"direction"}$ ) tenslotte is opgegeven in de hoekmaat  $000^\circ - 360^\circ$ . Aan de meetmast zijn om de 20 meter in drie richtingen (onderling  $120^\circ$ ) horizontale uithouders, met op het einde (10 m.) de instrumenten, bevestigd. Afhankelijk van de windrichting zal tenminste een der uithouders verstoord worden door de mast. Onderaan in de tabel is dan ook een "uithouderkeuze" aangegeven. Deze wordt achteraf uit de "RC-2 minuut" gemiddelde berekend. De halfuurgemiddelden (GM), berekend uit tenminste 10 tweeminutenwaarden, worden vermeld op tabel IV-4. De tijden zijn uitgedrukt in Middelbare Tijd van Greenwich (GMT) welke één uur achterloopt vergeleken met de thans in Nederland geldende Midden Europese Tijd (MET). Voorbeeld: 12 uur GMT = 13 uur MET. Onder 15-16 treft men 2 kolommen aan. In de eerste kolom zijn de gemiddelde waarden tussen 15.02 uur en 15.30 uur vermeld, terwijl de tweede kolom de gegevens tussen 15.32 uur en 16.00 uur bevat.

Verklaring van de in tabel IV-1 t/m 4 gebruikte afkortingen

- D200, D80 en D10 : Gemiddelde windrichting in graden van de "gekozen" uithouder op resp. 200, 80 en 10 m. hoogte.
- F200 en F80 : Gemiddelde windsnelheid in 0,1 m/s van de "gekozen" uithouder op resp. 200 en 80 m. hoogte.
- F10 en F2 : Gemiddelde windsnelheid in 0,1 m/s op resp. 10 en 2 m. hoogte. Deze windsnelheden worden gemeten op resp. 73 en 91 m. afstand ten zuiden van de 200 m-mast.
- F160ZO, F120ZO, F40ZO en F20ZO : Gemiddelde windsnelheid in 0,1 m/s op resp. 160, 120, 40 en 20 m. hoogte uitsluitend gemeten op de zuidoostelijke uithouders. Deze windsnelheden zijn alleen representatief bij windrichtingen tussen ca. 40 en ca. 240 graden.
- T200, T160, T120, T80, T40 en T20 : Gemiddelde temperatuur in 0,1 °C op resp. 200, 160, 120, 80, 40 en 20 m. hoogte gemeten aan de zuidoostelijke uithouders. De gegevens zijn verkregen door middel van berekening met de gegevens van de absolute temperatuur (T) op 80 m. hoogte en de temperatuurverschillen (DT) gemeten tussen de diverse niveaus.  
Voorbeeld:  
T200: = D20T16 + D16T12 + D12T80 + T80  
T160: = D16T12 + D12T80 + T80  
enz.
- T9 en T2 : Gemiddelde temperatuur in 0,1 °C op resp. 9 en 2 m. hoogte op resp. 73 en 83 m. ten zuiden van de 200 m-mast. Deze gegevens zijn berekend op bovengenoemde wijze.

CT200 en CT20

: Controletemperaturen (CT) ten behoeve van de controle van het temperatuurmeetsysteem in 0,1 °C. De berekening vindt als volgt plaats:

$$CT200: = -T200 + D20T16 + D16T12 + D12T80 + T80$$

$$CT20: = T80 - D80T40 - D40T20 - T20$$





LITTERATUURVERZICHT

- [1.] Van Gorp, J.J.M.  
Logica in de electronica.  
K.N.M.I.-verslag V-228, 1970.
- [2.] Van Gorp, J.J.M.  
Digitale signaalverwerking.  
K.N.M.I.-verslag V-233, 1971.
- [3.] Pear, C.B. (ed).  
Magnetic Recording in Science and Industry.  
Reinhold Publ. Corp. New York, 1967.
- [4.] Kaimal, J.C.; Wijngaard, J.C. and Haugen P.A.  
Deriving Power Spectra from a Three Component Anemometer.  
J. Appl. Met. 7 (1968), 827 - 837.
- [5.] Sabinin, D.  
Selection of the relation between periodicity of  
measurement and instrument inertia in Sampling.  
Atm. and Oceanic Physics, 3 (1967), 973 - 980.
- [6.] Griffith, H.L.; Panofsky, H.A. and Van der Hoven, I.  
Power spectrum analysis over large ranges of frequency.  
J. of Met. 13 (1956), 279 - 282.
- [7.] Heetman, A.  
Schakeltechniek, sequentiële netwerken.  
College diktaat nr. 5.533, 1968, T.H.E.
- [8.] Blaauw, G.A.  
Digitale techniek.  
College diktaat, nr. 12610525, 1972, T.H.T.



- [ 9.] Oberman, R.M.M. (THD).  
Disciplines in Combinational and Sequential Circuit Design.  
Mc Graw Hill, 1970.
- [10.] Peterson, W.W.  
Error correcting codes.  
M.I.T. Press., 1972.