

NIKHEF-K-DIGEL-  
-1989-1.

*Stageverslag W.L. Bastein*

Onderwerp: 6,4 kV pulsgenerator met transformatoren.

*September-december 1988.*

AFDELINGSRAPPORT

DIGEL 1989-1

# NIKHEF-K

*Stageverslag W.L. Bastein*

*Onderwerp: 6,4 kV pulsgenerator met transformatoren.*

*September-december 1988.*

**AFDELINGSRAPPORT**

**DIGEL 1989-1**

---

# **NIKHEF-K**

***Stageverslag W.L. Basten***

***Onderwerp: 6,4 kV pulsgenerator met transformatoren.***

***September-december 1988.***

## Inhoudsopgave

Samenvatting	blz. 2.
Inleiding	blz. 3.
1. Het schakelende netwerk	blz. 4.
2. Berekening van de onderdelen	blz. 5.
2.1. De monostabiele multivibrators	blz. 5.
2.2. De drivers voor de MOSFets	blz. 5.
2.3. De MOSFets	blz. 6.
2.4. De diodes	blz. 6.
2.5. De transformator	blz. 7.
3. Metingen	blz. 9.
3.1. De MOSFets	blz. 9.
3.2. De transformator	blz. 9.
3.3. Twee transformatoren	blz. 12.
4. Conclusie	blz. 14.
5. Literatuur	blz. 15.
6. Het NIKHEF	blz. 16.

## Samenvatting

Dit is het verslag van de stage in het kader van mijn studie aan de Technische Universiteit Delft, Faculteit der Elektrotechniek, vakgroep Vermogenslektronika en Elektrische Machines.

Tijdens deze stage heb ik bij het NIKHEF de mogelijkheid onderzocht om met behulp van transformatoren een spanningspuls op te wekken van 6,4 kV met een stijg- en een daaltijd van 100 ns, een pulsduur van 2 tot 50  $\mu$ s en een herhalingsfrequentie van 2500 Hz. De rimpel op de spanning moet kleiner zijn dan 10 V ( zie fig.1 ).

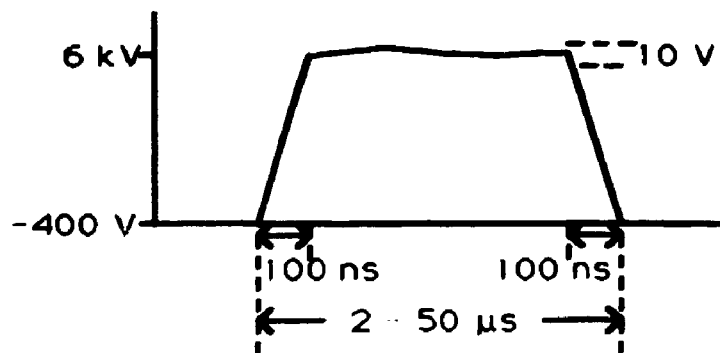
Uit het onderzoek blijkt dat het in principe mogelijk is om, met behulp van een transformator voor het laagfrequente en een transformator voor het hoogfrequente deel van de puls, een puls op te wekken die voldoet aan de eisen t.a.v. de flanken. Het aanbrengen en afstemmen van afgeregelde kringen om de puls voldoende vlak te krijgen zal echter veel tijd vergen. Bovendien zijn de verliezen zo hoog dat het aanbeveling verdient onderzoek te verrichten naar de mogelijkheid om de puls op te wekken met een aantal in serie geschakelde MOSFets.

Ik wil graag iedereen die mij geholpen heeft bedanken, en dan in het bijzonder de heer Van Es, omdat hij dat zo vaak gedaan heeft.

## Inleiding.

De injector van de elektronenversneller van het NIKHEF, het Nationaal Instituut voor Kernfysica en Hoge-EnergieFysica in Amsterdam, bestaat uit een katode met daarin een gloeidraad, de anode. Door op de katode een gepulste spanning te zetten zal uit een gat in de katode een pulstrein van elektronen, die in de rest van de versneller verder versneld worden, vrijkomen. Om alle elektronen dezelfde beginenergie te geven moeten de flanken van de puls zo steil mogelijk en moet de puls zelf zo vlak mogelijk zijn. Met de pulstrein van elektronen wordt elementair natuurkundig onderzoek gedaan.

De pulsspanning wordt op dit moment opgewekt m.b.v. zendbuizen. Deze buizen beginnen bij ong. 4 kV corona te vertonen, de pulsen hebben flanken van 200 ns. aan afdeling Digel ( DIGitaal/ ELEktronika ) van het NIKHEF is gevraagd een pulsgenerator te ontwikkelen die pulsen opwekt van 6,4 kV met flanken van 100 ns, een pulsduur van 2 tot 50  $\mu$ s en een herhalingsfrequentie van 2500 Hz. De rimpel op de spanning moet kleiner zijn dan 10 V ( zie fig. 1 ).



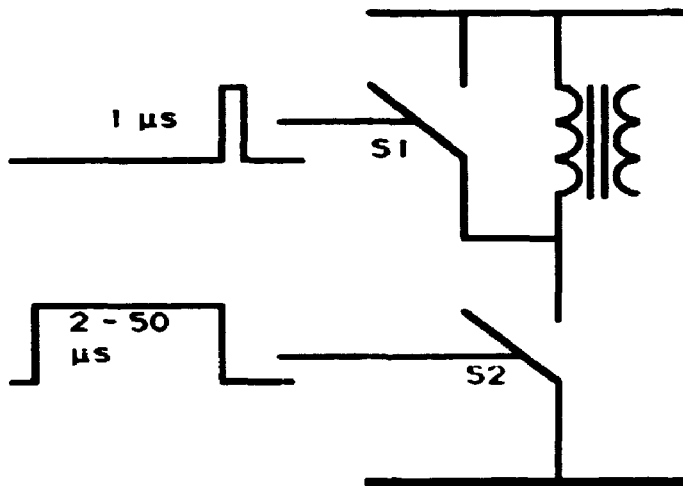
*Figuur 1. De op te wekken puls.*

Het is niet mogelijk om gebruik te maken van zwaardere buizen, deze zijn niet snel genoeg.

Tijdens mijn stage heb ik onderzocht of het mogelijk is deze puls met behulp van MOSFets en transformatoren op te wekken. Aangezien de pulsgenerator, samen met andere apparatuur, i.v.m. isolatie-eisen ( het geheel staat op een spanning van 400 kV t.o.v. massa ) moet worden opgehangen is bovendien gevraagd om de generator zo licht mogelijk te maken.

## 1. Het schakelende netwerk.

Ik ben begonnen met het bouwen van het schakelende netwerk. Het prinsipeschema hiervan staat in fig 2.



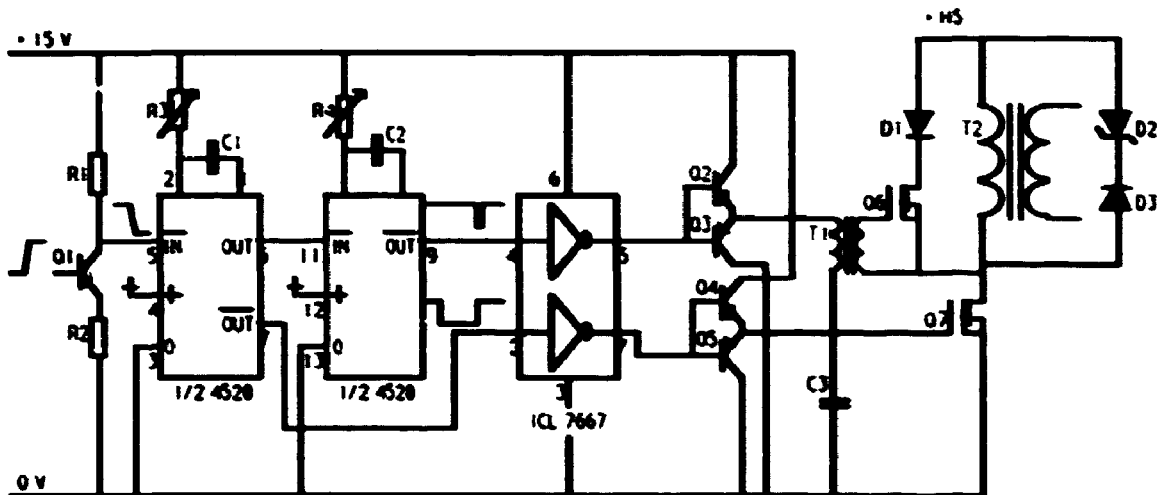
*Figuur 2. Prinsipeschema.*

Tijdens de puls is S2 gesloten, nadat S2 geopend is wordt S1 gedurende korte tijd gesloten om de spanning over de transformator snel naar 0 V te brengen. Voor S1 en S2 worden MOSFets gebruikt (resp. Q6 en Q7 in fig. 3), deze zijn snel genoeg maar kunnen niet meer dan 1000 V schakelen zodat er, indien er geen serieschakeling van MOSFets wordt gebruikt, een transformator nodig is om de 6,4 kV-puls op te wekken.

Om de pulsen op te wekken waarmee S1 en S2 geschakeld worden wordt gebruik gemaakt van 2 monostabiele multivibrators. Het IC HEF 4528 ( zie lit. [3] ) bevat 2 monostabiele multivibrators waarvan, in deze schakeling, de eerste reageert op een positieve flank op de ingang en de tweede op de negatieve flank van de eerste puls. De pulsduur wordt met een RC-netwerkje ingesteld. Met deze pulsen wordt een dubbele driver voor MOSFets, het IC ICL 7667 ( zie lit. [8] ), gestuurd. In eerste instantie werden de MOSFets direct door het driver-IC gestuurd, later zijn, om de schakeltijden te verkleinen, extra transistortrappen toegevoegd ( Q2, Q3, Q4, Q5 in fig. 3 ). Om Q6 zwevend t.o.v. 0 V te kunnen schakelen wordt een triggertransformator gebruikt.

Diode D1 is aangebracht om, tijdens het uitschakelen van de transformator, een negatieve Drain-Source spanning op S1 te voorkomen, diode D2 en D3 zijn aangebracht om de reverse spanning over de transformator te begrenzen.

Het volledige schema staat in fig. 3.



**Figuur 3. Het schema.**

## 2. Berekening van de onderdelen.

### 2.1. De monostabiele multivibrators.

Uit de datasheets van het IC HEF 4528 ( zie lit. [3] ) blijkt voor een puls van 2 tot 50  $\mu$ s :

$$R_3 = 4k7 \text{ tot } 200 \text{ k}\Omega$$

$$C_1 = 470 \text{ pF}$$

en voor een puls van 1  $\mu$ s :

$$R_4 = 4k7$$

$$C_2 = 270 \text{ pF}$$

De drempelspanning voor de ingang van het IC bedraagt  $2/3$  van de voedingsspanning. De voedingsspanning is hier 15 V. De beschikbare pulsgeneratoren geven pulsen af van maximaal 7,5 V, er is dus een extra versterkertrap ( Q1, BC 549) aangebracht.

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 3k3$$

### 2.2. De drivers voor de MOSFets.

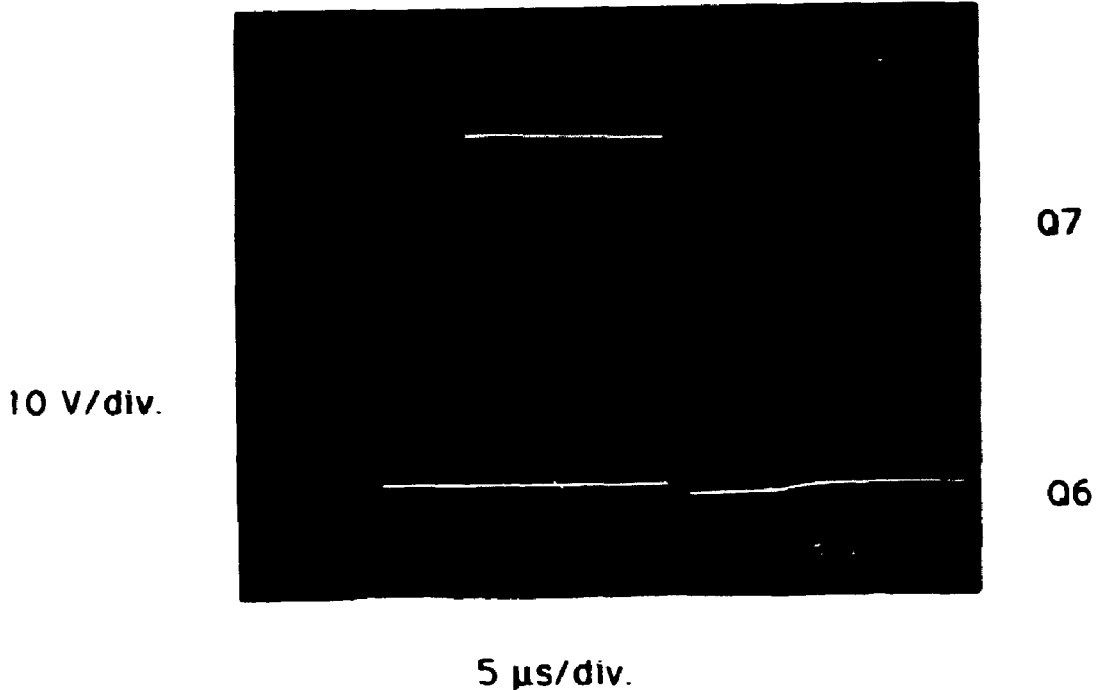
Het IC ICL 7667 heeft alleen een voedingsspanning van maximaal 18 V nodig. De maximale uitgangsstroom was niet hoog genoeg om de MOSFets snel genoeg in te schakelen, er zijn dus nog twee transistortrappen toegevoegd. Er is gekozen voor transistoren van het type BD 139 en BD 140 ( zie lit. [5] ).

De triggertransformator T1 moet een  $\int$ udt van 15  $\mu$ Vs kunnen verwerken zonder in verzadiging te gaan. Hiervoor is een VAC



421/098-03-PF gebruikt. C3 beschermt de driver als de triggertransformator in verzadiging gaat.

De signalen op de gates van de MOSFets zien er als volgt uit ( zie foto 1 ). Bij het meten van deze signalen werden de MOSFets belast met een weerstand van  $1\text{ k}\Omega$  op de plaats van T2.



*Foto 1. Signalen op de gates van Q6 en Q7 t.o.v. 0 V.*

### 2.3. De MOSFets.

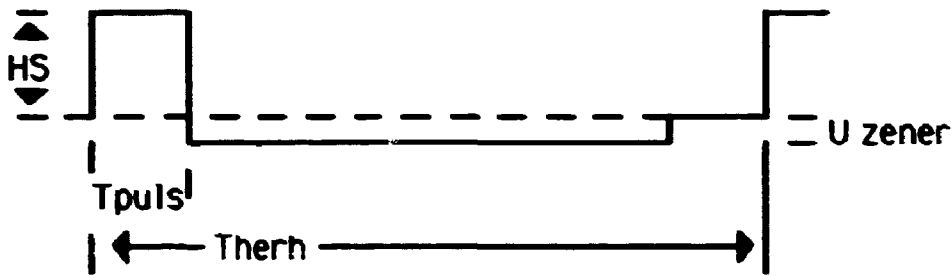
Voor de MOSFets is gebruik gemaakt van de IRF 740 van International Rectifier ( zie lit. [4] ) en later de BUZ 80 van Siemens ( zie lit. [7] ). De BUZ 80 is geschikt voor hogere spanningen maar is volgens de specificaties langzamer. Bij metingen in de schakeling bleek er geen verschil in schakelsnelheid tussen de IRF 740 en de BUZ 80 te zijn, dit komt omdat  $t_r$  en  $t_f$  volgens de specificaties gemeen zijn met een pulsgenerator met een  $R_i$  van  $50\ \Omega$  terwijl de  $R_i$  van de schakeling kleiner dan  $1\ \Omega$  is (  $R_{CE}$  van T2-T4 =  $0,25\ \Omega$  ).

De metingen aan de transformatoren zijn gedaan met de BUZ 80 in de schakeling.

### 2.4. De diodes.

Voor de diodes D1 en D3 is het type SKE 4F2/10 gekozen. Diode D2 is tijdens het testen een zenerdiode van 47 V, 2 W. Om zeker te zijn dat alle energie uit transformator T2 is voor de volgende puls is in de uiteindelijke schakeling een zenerdiode van

minstens  $HS \times T_{puls} / (T_{herh} - T_{puls}) = 115 \text{ V}$  ( zie fig. 4 ) nodig.



**Figuur 4.**

## 2.5. De transformator.

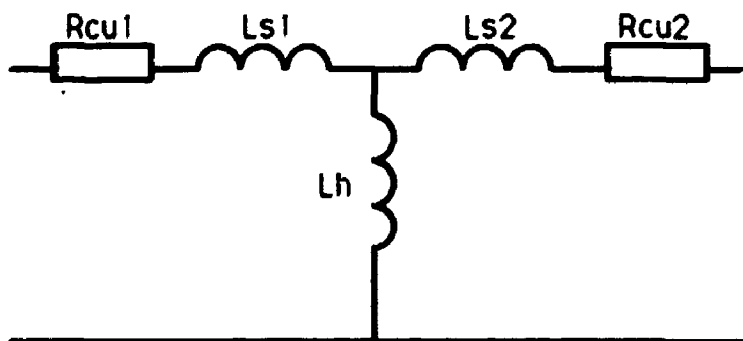
Er zijn MOSFets leverbaar die een spanning van 1kV kunnen schakelen. Rekening houdend met een reverse spanning over de transformator na het uitschakelen van 200 V mag er maximaal met 800 V geschakeld worden. Om een puls van 6,4 kV op te wekken moet de transformator een overzetverhouding van minimaal 1 op 8 hebben. Voor de magnetisatiestroom  $I$  door de primaire wikkeling geldt

$$I = (U / R_{Cu}) \times (1 - \exp^{-(R_{Cu} / L) t}) \quad \text{als } R_{Cu} \neq 0$$

of

$$I = (1 / L) \times \int u dt \quad \text{als } R_{Cu} = 0$$

Indien  $R_{Cu}$  verwaarloosd wordt volgt hieruit dat, indien de magnetisatiestroom kleiner moet zijn dan 1 A, de  $L_h$  van de transformator (zie vervangingsschema, fig. 5 ) groter moet zijn dan 40 mH.



**figuur 5 : vervangingsschema transformator.**

Indien de transformator beschouwd wordt als een eerste orde laagdoorlaatfilter geldt voor de overdrachtsfunctie  $H(s)$ :

$$H(s) = Aw_0 / (s + w_0) \quad A=8$$

Voor de staprespons geldt dan:

$$U(s) = Au_0 w_0 / (s (s + w_0)) \quad Au_0 = 6000$$

Hieruit volgt voor  $u(t)$ :

$$u(t) = Au_0 (1 - e^{-w_0 t}) \quad (\text{zie lit. [6]})$$

Omdat de MOSFets 30 ns nodig hebben voordat ze volledig ingeschakeld zijn ( zie metingen, foto 2 ) moet de transformator binnen 70 ns op  $((6000 - 10) / 6000) \times 100\% = 99,83\%$  van de eindwaarde zijn zodat:

$$e^{-w_0 t} = 1,667 \times 10^{-3}, \quad t = 70 \text{ ns.}$$

Hieruit volgt:

$$w_0 = 91,38 \times 10^6 \text{ rad/s}$$

en

$$H(s) = 8w_0 / (s + 91,38 \times 10^6)$$

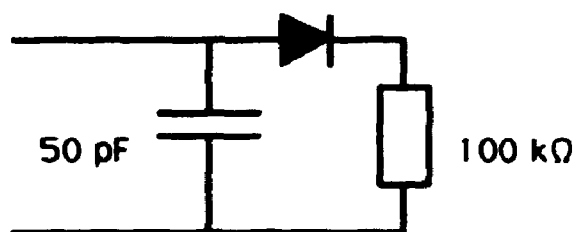
Dit eerste orde laagdoorlaatfilter heeft een kantelpunt bij

$$f_0 = w_0 / 2\pi = 14,54 \text{ MHz.}$$

1. De transformator is als filter veel steiler dan een eerste orde filter ( zie metingen, tabel ) zodat de kantelfrequentie hoger moet zijn dan berekend.

2. Er is nu gerekend met een MOSFet Q7 die op  $t = 30 \text{ ns}$  van  $R = \infty$  naar  $R = 0$  gaat. Uit de metingen ( zie metingen, foto 2 ) blijkt dat ze ook tussen  $t = 0$  en  $t = 30 \text{ ns}$  geleiden, zij het niet volledig, zodat  $w_0$  en dus de kantelfrequentie omlaag kan.

Om de injector, die een overwegend capacitieve belasting vormt ( zie fig. 6 ), binnen 100 ns op 5990 V te brengen moet de transformator dus minstens een vlakke overdracht hebben tot ong. 15 MHz.



*Figuur 6. Vervangingsschema voor de injector.*

De resonantiefrequentie  $f = 1 / (2\pi \sqrt{L_S C_L})$  zou hier boven moeten liggen, dat betekent:  $L_S < 2,5 \mu\text{H}$ . Hieruit volgt:  $L_h / L_S > 16000$ .

Om een hoge verhouding  $L_h / L_S$  te bereiken wordt de transformator gewikkeld met coax-kabel. Hiervan wordt de buitenmantel gebruikt als primaire en de binnenader als secundaire winding. De doorslagspanning van de binnenisolatie van de gebruikte kabel ligt boven de 15 kV. Om de meeste overzetverhouding te halen wordt met 8 coax-kabels tegelijk gewikkeld. De buitenmantels van deze kabels worden parallel gezet, de binnenaders in serie. Op deze manier is het aantal windingen secundair 8 maal zo groot als het aantal windingen

primair. Door de kleine afstand tussen de primaire en de secundaire kan een  $L_h/L_s$  bereikt worden die groter is dan 12000 (zie metingen, tabel ).

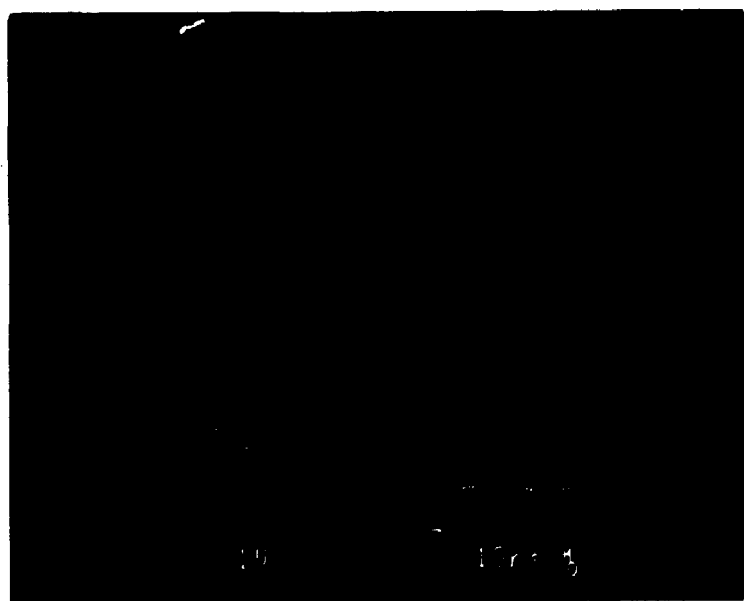
### 3. Metingen.

#### 3.1 De MOSFets.

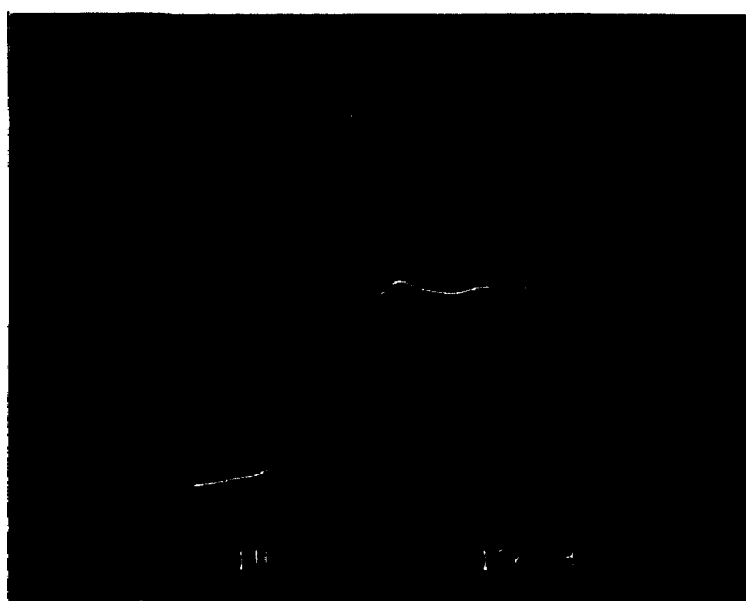
Om de schakelsnelheid van de MOSFets in de schakeling te bepalen heb ik op de plaats van de transformator (zie fig. 3) een weerstand van  $1\text{ k}\Omega$  aangesloten,  $HS = 300\text{ V}$ . Uit de foto's blijkt dat de spanning over de weerstand binnen  $30\text{ ns}$  maximaal is ( zie foto's 2 en 3 ). Bij het verhogen van de spanning bleek geen langere inschakeltijd.

#### 3.2 De transformator.

Om een indruk te krijgen van een met coax-kabel gewikkelde transformator heb ik een proefmodel gewikkeld ( zie tabel, transformator 10 ). Om de magnetisatiestroom klein te houden (  $I_m < 0,4\text{ A}$  ) kan  $HS$  niet hoger zijn dan  $LI_m/T_{max} = 40\text{ V}$ . Gemonteerd in de schakeling van fig. 3 levert deze transformator de volgende signalen op ( zie foto's 4 t/m 8 ).



100 V/div. ; 10 ns/div.  
Voorflank.

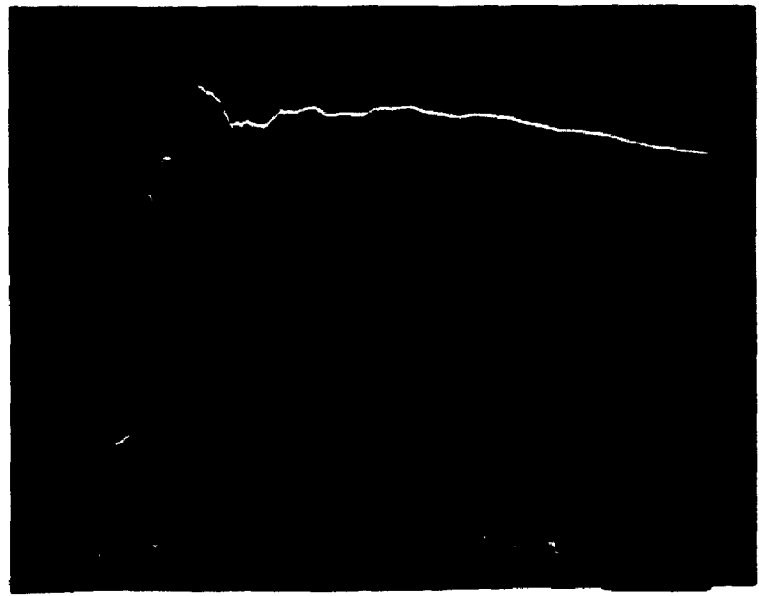


100 V/div. ; 10 ns/div.  
Achterflank.

**Foto 2 .Schakelsnelheid MOSFets. Foto 3.**



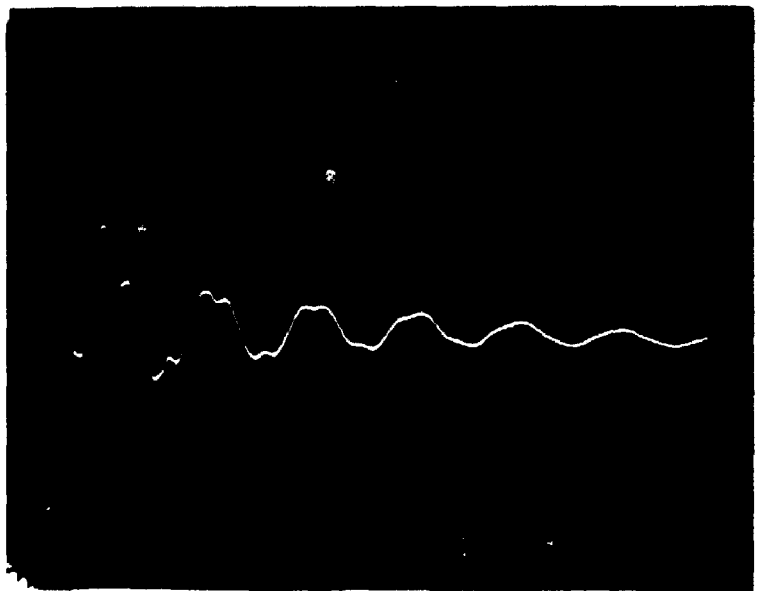
10 V/div.; 100 ns/div.  
Foto 4. Voorflank puls primair.



20 V/div.; 100 ns/div.  
Foto 5. Achterflank puls primair.



50 V/div.; 100 ns/div.  
Foto 6. Voorflank puls secundair.



100 V/div.; 100 ns/div.  
Foto 7. Achterflank puls secundair.

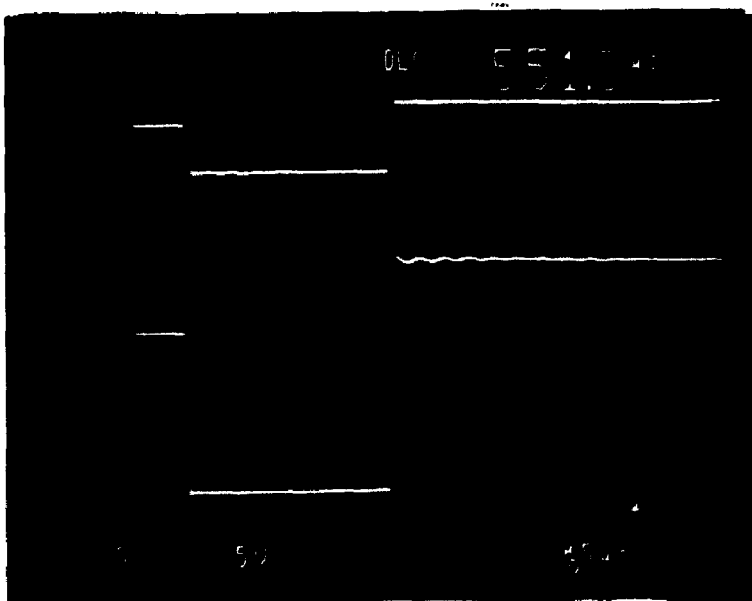


Foto 8.

Secundaire puls.  
500 V/div.; 5  $\mu$ s/div.

Primaire puls.  
50 V/div.; 5  $\mu$ s/div.

Door de transformator secundair te belasten kan een gedeelte van de overshoot weggedempt worden. De onderbreking in de voorflank ( op  $t = 30$  ns) is niet weg te dempen en bij het verhogen van de voedende spanning HS blijkt deze onderbreking groter te worden. De resonantie, met een frequentie van ongeveer 6 MHz kan niet weggedempt worden zonder nadelige gevolgen voor de steilheid van de flanken. De frequentieoverdracht van deze transformator is vlak tot 8,2 MHz. De flanken duren ong. 90 ns.

Uit metingen aan een aantal met coax-kabel gewikkelde transformatoren blijkt dat de totale lengte van de gebruikte kabel een grote invloed heeft op de frequentieoverdracht ( zie tabel ).

Toelichting bij de tabel:

Max.  $\int u dt$  is berekend met:

$$NB_{max} A = \max. \int u dt.$$

$L_h$  en  $L_{s1} + L_{s2}$  zijn gemeten.

Bij  $f_1$  vindt de maximale overdracht van primaire naar secundaire (  $A =$  maximaal ).

Bij  $f_2$  geldt:  $A =$  overzetverhouding-3dB.

Bij  $f_3$  geldt:  $A =$  minimaal.

$1/2 \lambda(f_3)$  is de golflengte van frequentie  $f_3$  in de gebruikte kabel. De ( gemeten ) voortplantingssnelheid van een puls in de kabel is 5,88 ns/m dus :

$$1/2 \lambda(f_3) = 1/2 \times 1 / ( 5,88 \times 10^{-9} ) \times 1 / f_3.$$

Het is dus gunstig een zo kort mogelijke kabel te gebruiken, dus een klein aantal windingen. Om toch aan een hoge primaire zelfinductie  $L_h$  tekomen ( minimaal 40 mH ) zal het kernmateriaal een zeer hoge  $\mu$  moeten hebben. Het minimum aantal windingen wordt dan bepaald door de maximale frequentie waarbij de kern in verzadiging mag gaan. Hierdoor zal de transformator kern toch groot ( coax-kabel is ruimteverslindend ) en te zwaar worden. Bovendien is kernmateriaal met een dergelijke hoge  $\mu$  tamelijk duur ( bv. VAC 6025 : f1000,- tot f2000,- per kg. ).

Ik heb naar de volgende materialen voor kernen gekeken:

3C8 en

3E1 ( beide van Philips [1] )

VAC 6025 F ( van Vacuumschmelze, Duitsland [2] )

FT 114-61 ( van Amidon, USA).

3C8 en 3E1 zijn normale ferrietten, de  $\mu$  is ong. 10.000 bij een uitsturing tot 0,3 T. VAC 6025 F heeft een hoge  $\mu$  ( groter dan 100.000 ) bij een uitsturing tot 0,3 T. FT 114-61 heeft een lage  $\mu$  ( 125 ) die

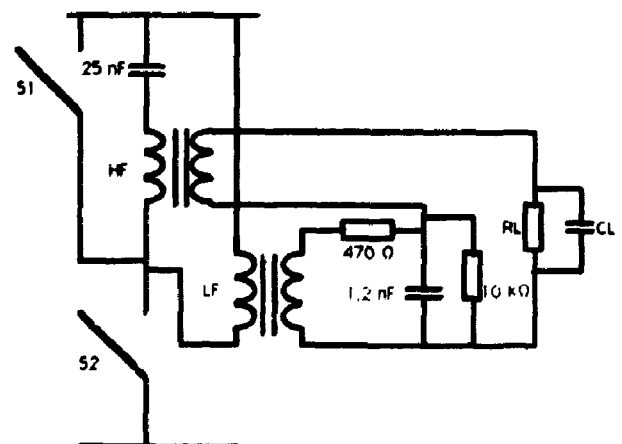
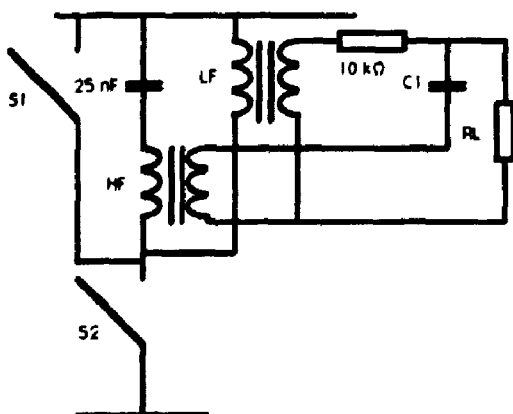
konstant is tot ong. 45 MHz bij een uitsturing tot 0,25 T. Het gebruikte kernmateriaal blijkt niet van invloed op de frequentieoverdracht.

### 3.3 Twee transformatoren.

Een oplossing hiervoor is om in plaats van een transformator gebruik te maken van twee transformatoren, een voor het laag- en een voor het hoogfrequente deel van de puls. Om te kijken of dit mogelijk is heb ik twee transformatoren gewikkeld ( zie tabel, transformator 8 en 11 ). De laagfrequent transformator ( 11 ) heeft een vlakke frequentieoverdracht ( -3dB ) tot 80 kHz. Door toepassing van speciale materialen voor de tussenlaagisolatie en eventueel schijvenwikkeling kan dat hoger gemaakt worden.

De overdracht van de hoogfrequent transformator is vlak tot 10 Mhz. Deze transformator gaat in verzadiging voor frequenties lager dan 30 kHz bij een spanning van 800 V. Om over de hele frequentieband van 2500 Hz tot 10 MHz een vlakke overdracht te hebben voor de combinatie van deze twee transformatoren moet de HF transformator gestuurd worden via een hoogdoorlaatfilter met een kantelpunt bij 80 kHz. Met een  $L_H$  van 170  $\mu$ H voor de HF transformator kan dat door serieschakeling van de primaire met een condensator waarvoor geldt:  $C = \sqrt{(1/4\pi^2 f^2 L)} = 25$  nF.

Het samenvoegen van de twee secundaire wikkelingen heb ik op twee manieren geprobeerd ( zie fig. 7 en 8 ). De tweede manier gaf het beste resultaat ( zie foto's 9 t/m 13 ). De stijgtijd bedraagt nu 150 ns. Met behulp van extra demping kan de puls vlakker gemaakt worden. Als er een betere LF transformator gebruikt wordt kan de HF transformator kleiner worden. Dit heeft, door het daardoor verbeterde HF gedrag, steilere flanken tot gevolg.

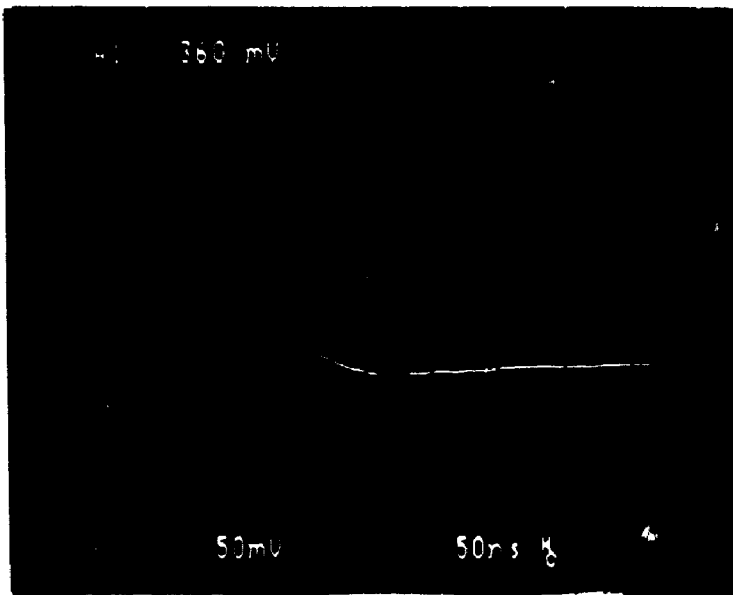


Figuur 7. Optelschakelingen voor LF en HF signaal. *Figuur 8.*

transfor- mator nr.	max. j <sub>udt</sub> ( mVs )	L <sub>h</sub> ( H )	L <sub>s1</sub> + L <sub>s2</sub> ( H )	f <sub>1</sub> ( MHz )	f <sub>2</sub> ( MHz )	f <sub>3</sub> ( MHz )	kabel- lengte (m) ( secund. )	1/2 λ <sub>(3)</sub> ( m )	overzetver- houding	aantal windingen primair	kernma- teriaal
1	0,1	4,6 μ	77 n	30,5	39,0	73,5	0,96	1,16	1 op 8	1	3C8
2	0,043	30 μ	170 n	30,1	38,3	56,8	1,28	1,50	1 op 4	4	VAC 6025 F
3	0,040	1,2 μ	110 n	29,1	41,5	73,0	1,28	1,16	1 op 8	2	FT 114- 61
4	0,3	45 μ	160 n	25,2	33,5	47,3	1,84	1,80	1 op 4	3	3C8
5	0,3	32 μ	118 n	13,6	20,2	30,0	3,24	2,84	1 op 8	3	3C8
6	1,2	380 μ	242 n	9,8	11,9	14,7	5,72	5,78	1 op 4	12	3C8
7	1,2	330 μ	265 n	7,5	9,9	12,5	6,72	6,80	1 op 4	12	3C8
8	0,6	170 μ	132 n	7,7	10	14,4	6,72	5,90	1 op 8	6	3C8
9	2,1	5,7 m	0,52 μ	6,0	7,8	8,7	7,92	9,77	1 op 3	21	3C8
10	2,2	5,7 m	0,63 μ	6,7	8,2	10	8,28	8,50	1 op 3	22	3E1
11	47	600 m	620 μ		80 kHz				1 op 7,5	150	3C8

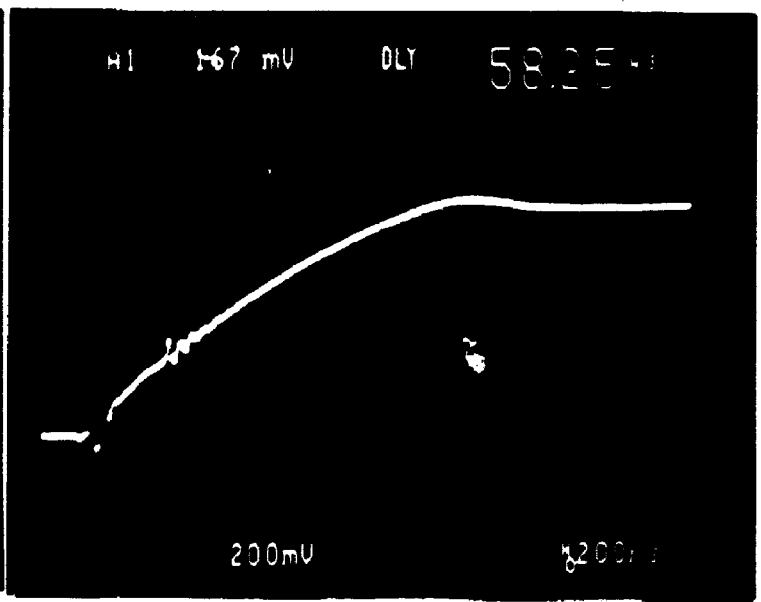
*Tabel. Metingen aan de transformatoren.*





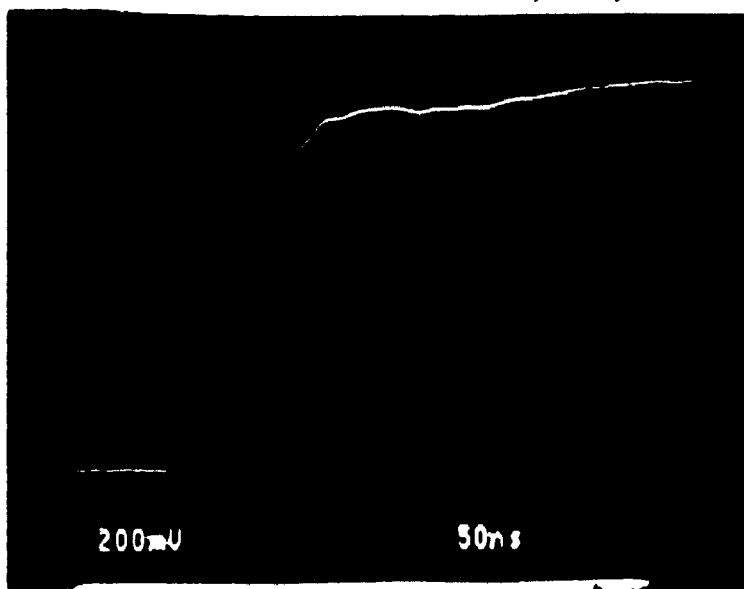
5 V/div.; 50 ns/div.

Foto 9. Voorflank puls primair.



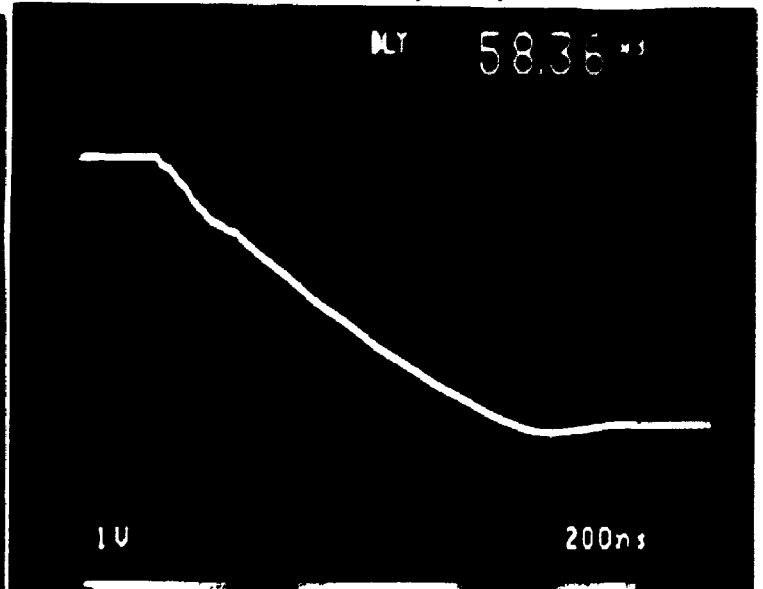
20 V/div.; 200 ns/div.

Foto 10. Achterflank puls primair.



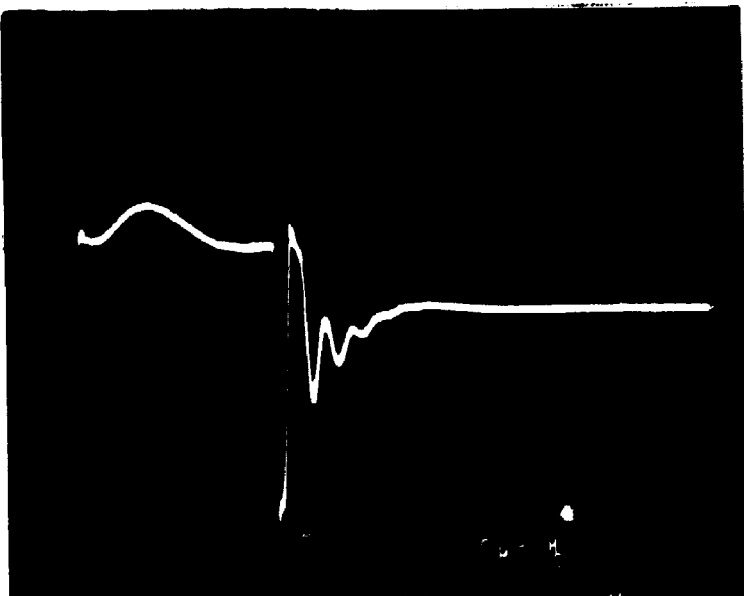
20 V/div.; 50 ns/div.

Foto 11. Voorflank puls secundair.



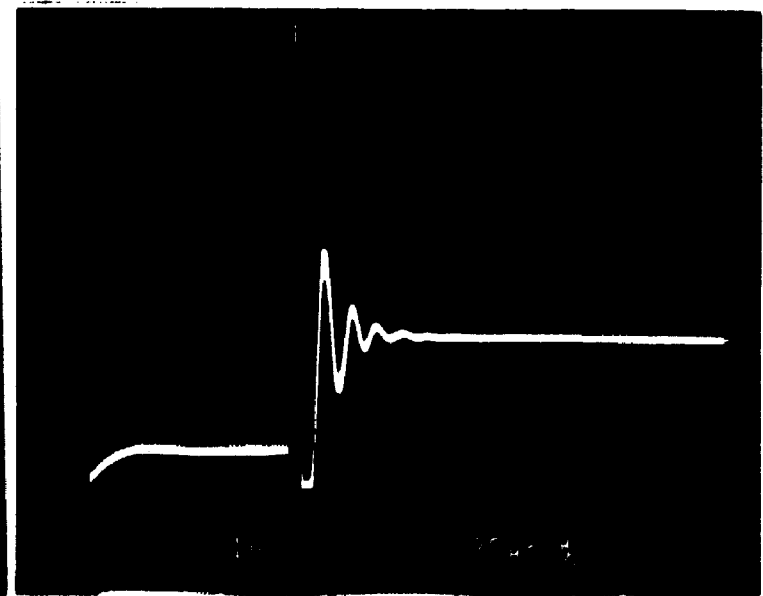
100 V/div.; 200 ns/div.

Foto 12. Achterflank puls secundair.



100 V/div.; 20 µs/div.

Foto 13. Secundaire puls.



10 V/div.; 20 µs/div.

Foto 14. Primaire puls.

Uit de foto's blijkt echter ook dat de totale overzetverhouding van deze combinatie ongeveer 1 op 5 is. Uit metingen blijkt dat de transformatoren op zich een overzetverhouding van 1 op 7,5 ( LF ) en 1 op 8 ( HF ) hebben. Het heeft weinig zin om transformatoren met een hogere overzetverhouding te gebruiken omdat dit een lager HF kantelpunt en dus minder steile flanken betekent.

#### 4. Conclusie.

Het is niet mogelijk om de gevraagde puls op te wekken met behulp van een schakelend netwerk met daarachter een of twee transformatoren. Wel blijkt dat de gebruikte, tot 800 V geschikte, MOSFets snel genoeg schakelen om, in serie geschakeld, een dergelijke puls op te wekken.

## 5. Literatuur.

- [1] Amorphous metals: Toroidal stripwound cores of Vitrovac 6025 and 6030. Vacuumschmelze VC 004. 1984.
- [2] Ferroxcube for power, audio/video and accelerators. Philips components and materials, book C5. 1986.
- [3] HE 4000 B logic family CMOS. Philips integrated circuits, book IC 04. 1988.
- [4] HEXFET power MOSFet designer's manual, 4th ed. International Rectifier. 1987.
- [5] Low-frequency powertransistors; low frequency power hybrid modules. Philips semiconductors, book S4a. 1986.
- [6] Richard C. Dorf: Modern control systems, 3rd ed. 1980.
- [7] Siemens SIPMOS components data book 1987/88.
- [8] Intersil component data catalog, 1986.

## 6. Het NIKHEF.

Het Nationaal Instituut voor KernFysica en Hoge-EnergieFysica is een samenwerkingsverband tussen de stichting FOM ( Fundamenteel Onderzoek van de Materie ), de beide universiteiten in Amsterdam en de Katholieke Universiteit Nijmegen.

De kernfysische afdeling, de sectie K, doet onderzoek naar de structuur van atoomkernen en de processen die zich daarin afspelen. Sinds kort beschikt het instituut daartoe over een nieuw instrument: de lineaire elektronenversneller MEA ( Medium Energy Accelerator ). Daarmee worden drie terreinen van onderzoek bestreken: m.b.v. verstrooiings- en botsingsexperimenten bestudeert men de verdeling van lading en magnetisme binnen de atoomkern, er wordt onderzoek verricht met secundaire bundels van pionen en muonen en men houdt zich bezig met radiochemie, o.a. met 'hot-atom chemie' en met de produktie van radioactieve isotopen. De MEA kan elektronen versnellen tot een energie van 500 MeV.

De afdeling Hoge-energiefysica, de sectie H, bundelt de Nederlandse inspanningen op het gebied van de hoge-energiefysica, de studie van de meest elementaire bouwstenen van de materie en de fundamentele krachtwervingen. Voor experimenten is men, door de zeer hoge kosten van de apparatuur, aangewezen op internationale samenwerking, voornamelijk in CERN ( Conseil Europeen pour la Recherche Nucleaire ) bij Geneve. Verder maakt men gebruik van de apparatuur van instituten elders, b.v. in Hamburg en Sanford.

Ter ondersteuning van het experimentele werk bestaan aparte theoretische groepen. Voor de ontwikkeling en fabricage van de zeer specialistische apparatuur beschikt men over uitgebreide technische afdelingen.

### Financiering.

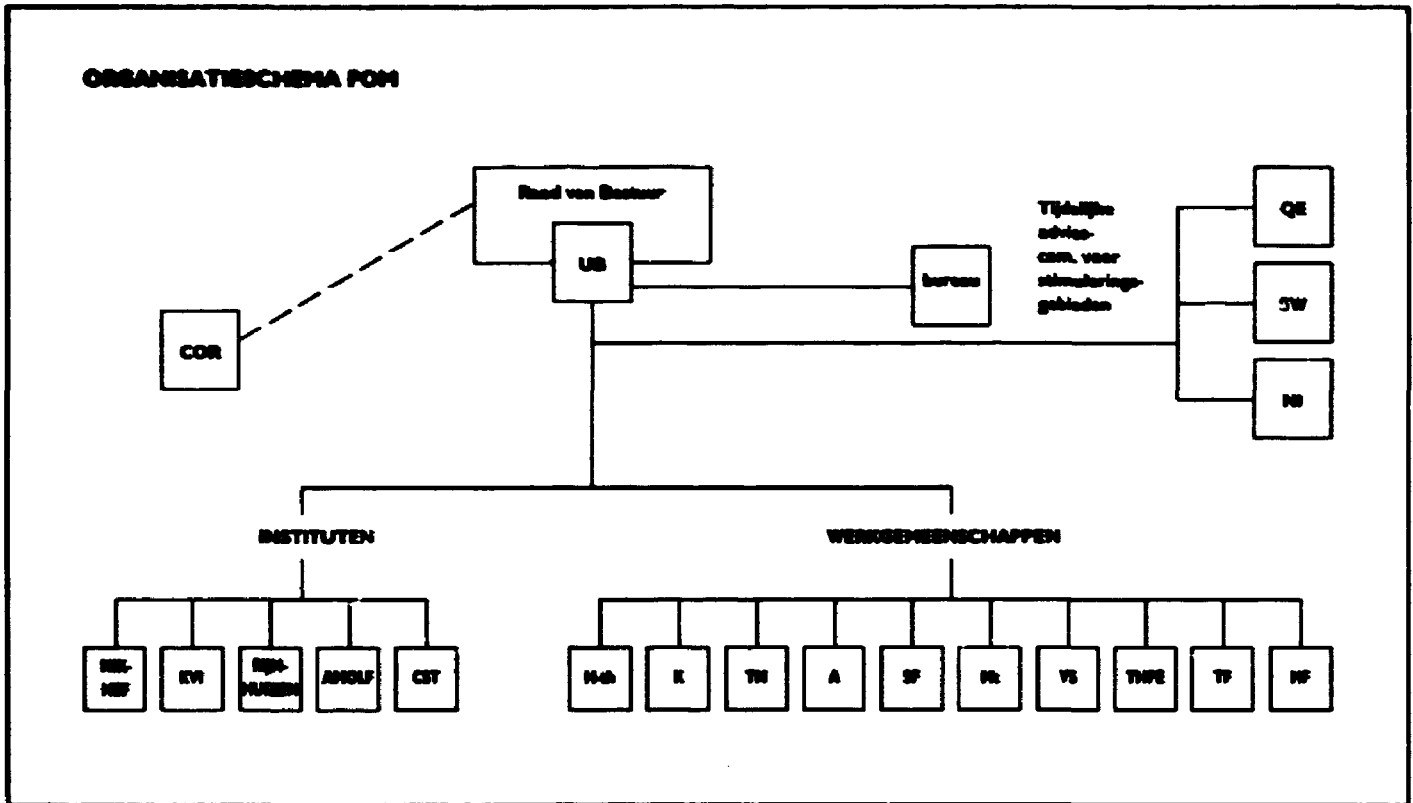
Het organisatieschema van het FOM ziet er als volgt uit (zie fig. 8 ). De stichting FOM krijgt geld van:

- de Nederlandse organisatie voor zuiver wetenschappelijk onderzoek ( ZWO )
- de Europese gemeenschap
- het Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen
- het Ministerie van Economische Zaken
- de Stichting voor de Technische Wetenschappen
- en van Instituutssamenwerking met universiteiten.

In 1987 bedroeg dat in totaal ruim f100 miljoen. Hiervan kreeg het NIKHEF ( sectie H + sectie K ) ruim f31 miljoen ( gegevens: Jaarboek stichting FOM 1987 ).

Het NIKHEF wordt gefinancierd door de gezamenlijke partners, de medewerkers ( ong. 335 ) zijn in dienst van stichting FOM ( 80 % ), de UvA

## ORGANISATIESCHEMA FOM



### AFKORTINGEN

<b>H-th</b> : theoretische hoge-energiefysica	<b>Mt</b> : materialen	<b>QE</b> : quantumelektronica
<b>K</b> : kernfysica	<b>VS</b> : vaste stof	<b>SW</b> : strooming en warmte
<b>TN</b> : thermonucleair onderzoek en plasmafysica	<b>THFE</b> : halfgeleiders	<b>NI</b> : natuurkundige informatica
<b>A</b> : atoomfysica	<b>TF</b> : technische fysica	<b>COR</b> : centrale ondernemingsraad
<b>SF</b> : statistische fysica	<b>MF</b> : mathematische fysica	<b>UB</b> : uitvoerend bestuur

**Figuur 8.**

( 10 % ), de VU ( 5 % ) of de KUN ( 5 % ). Ongeveer 55 % van het personeel behoort tot technische en 30 % tot wetenschappelijke groepen/diensten.

### Leiding.

De dagelijkse leiding van het NIKHEF berust bij de directie. Deze bestaat uit drie personen: de wetenschappelijk directeur van de sectie K, de wetenschappelijk directeur van de sectie H en de beherend directeur. De directieleden worden, voor bepaalde tijd, benoemd door het NIKHEF-bestuur.

Het NIKHEF-bestuur bestaat uit 8 leden. Drie leden worden door stichting FOM, twee door de UvA, twee door de KUN en een lid wordt door de VU benoemd, elk voor een termijn van drie jaar. Naast het vaststellen van meerjarenplannen, jaarbegrotingen en het formuleren van het algemeen beleid heeft het bestuur vooral een toezichthoudende functie.

De NIKHEF-directie wordt bij de uitvoering van haar taak mede bijgestaan en gecontroleerd door de NIKHEF Ondernemingsraad ( NOR ). De NOR is samengesteld uit 15 NIKHEF medewerkers; de leden worden eens per twee jaar door de NIKHEF medewerkers gekozen. Van de 15 leden worden er 4 naar de Centrale Ondernemings Raad ( COR ) van FOM afgevaardigd.

## Communicatie.

Ter coordinatie van de dagelijkse gang van zaken en ter ondersteuning van een gedegen besturing van het NIKHEF is een aantal overlegvormen gestructureerd. De belangrijkste zijn:

### algemeen

- Het NIKHEF-bestuur vergadert eens in de zes weken, in aanwezigheid van de NIKHEF-directie.
- De NOR en de beherend directeur ( BD ) overleggen eens per zes weken in de NIKHEF-OR overlegvergadering.

### sectie H

- De wetenschappelijk directeur-H ( WD-H ) en de leiders van technische en wetenschappelijke groepen van de sectie H bespreken eens per maand de lopende zaken in de planningvergadering.
- De WD-H en een aantal, door het NIKHEF-bestuur benoemde, senior wetenschappelijk medewerkers van de sectie H vormen samen de Wetenschappelijke Advies Commissie ( WAC-H ), die het NIKHEF-bestuur informeert omtrent het wetenschappelijk beleid.

### beheersectie

- De BD en de diensthoofden van de beheersectie bespreken eens in de drie maanden zaken van algemeen belang in het Diensthoofdenoverleg.

### sectie K

- De Technisch Coordinator en alle hoofden van de technische ondersteunende groepen van de sectie K overleggen eens per twee weken in de Technische Groeps Leiders vergadering.
- De WD-K en de hoofden van de wetenschappelijke groepen van de sectie K overleggen eens per twee weken over het wetenschappelijk beleid in de Wetenschappelijke Groeps Leiders vergadering.
- De WD-K, de Technisch Coordinator en een aantal senior wetenschappelijk medewerkers bespreken eens per zes weken de planning en de voortgang van de onderzoeksprogramma's in de Wetenschappelijke Raad.
- De WD-K is tevens lid van de Wetenschappelijke Advies Commissie ( WAC-H ), een lichaam van internationale samenstelling dat twee maal per jaar adviezen uitbrengt aan het NIKHEF-bestuur omtrent het wetenschappelijk beleid van de sectie K.

Naast deze formele communicatiestructuur wordt er binnen het NIKHEF ook informeel overleg gepleegd. Zo is het werkoverleg niet formeel vastgelegd: iedere groep c.q. dienst is zelf verantwoordelijk voor de wijze waarop zij het werkoverleg invult.

Tevens bestaan er enkele overlegplatformen tussen NIKHEF, FOM, andere FOM-instituten en NIKHEF partners.

## Externe samenwerkingsverbanden.

Naast het in de bestuurlijke overeenkomst geschetste samenwer-

kingsverband ( FOM, UvA, VU en KUN ) werkt het NIKHEF ook samen met:

- CERN ( personeel gedetacheerd )
- DESY ( Deutsches Elektronen SYNchrotron ) in Hamburg ( eveneens personeel gedetacheerd )
- Dutch Scientific ( een samenwerkingsverband tussen tal van Nederlandse ondernemingen met als doel het contacten leggen c.q. verbeteren tussen research en development ondernemingen/instellingen en de industrie)
- Verscheidene ondernemingen: contracten, werk voor derden, etc.
- Vakgroepen binnen de Rijks Universiteit Leiden, de Technische Universiteit Delft en de Rijks Universiteit Utrecht.
- Stichting Beheer WCW ( Wetenschappelijk Centrum Watergraafsmeer ) met als overige deelnemers:
  - AMOLF ( FOM instituut voor Atoom- en MOLEcuuIFysica )
  - SMC ( Stichting Mathematisch Centrum met haar instituut: het CWI ( Centrum voor Wiskunde en Informatica ))
  - SARA ( Stichting Academisch Rekencentrum Amsterdam ).