

TNO-Defensieonderzoek

Prins Maurits Laboratorium TNO

TD 92-1311

TNO-rapport  
PML 1992-91

september 1992  
Exemplaar no: 10

Flitseenheid voor ultra snelle fotografie

①

AD-A263 285



**TDCK** RAPPORTENCENTRALE

Frederikkazerne, gebouw 140  
v/d Burchlaan 31 MPC 16A  
TEL. : 070-3166394/6395  
FAX. : (31) 070-3166202  
Postbus 90701  
2509 LS Den Haag



**S** DTIC  
ELECTE  
APR 28 1993  
**C** **D**

**DISTRIBUTION STATEMENT A**  
Approved for public release  
Distribution Unlimited

# TNO-Defensieonderzoek

Prins Maurits Laboratorium TNO

Lange Kleweg 137  
Postbus 45  
2280 AA Rijswijk

Fax 015 - 84 39 91  
Telefoon 015 - 84 28 42

TNO-rapport  
PML 1992-91

Flitseenhed voor ultra snelle fotografie

september 1992  
Exemplaar no: 10

Auteur(s):  
M. Koops  
T. Huijser

Totaal aantal pagina's:  
(excl. distr. lijst en RDP)  
50

Aantal bijlagen:  
5

Aantal figuren:  
32

Aantal tabellen:  
1

DO-opdrachtnummer:  
A87/K/046

Oplage:  
27

Rubriceringen:  
Rapport:  
UNCLASSIFIED

Titel:  
UNCLASSIFIED

Samenvatting:  
UNCLASSIFIED

Bijlage(n):  
A-E UNCLASSIFIED

Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag worden  
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt  
door middel van druk, fotokopie, microfilm  
of op welke andere wijze dan ook, zonder  
voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd  
uitgebracht, wordt voor de rechten en  
verplichtingen van opdrachtgever en  
opdrachtnemer verwezen naar de  
Algemene Voorwaarden voor Onderzoek,  
opdrachten aan TNO, dan wel de  
betreffende terzake tussen partijen  
gesloten overeenkomst.  
Het ter inzage geven van het TNO-rapport  
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

TNO

|                    |                                     |
|--------------------|-------------------------------------|
| Accession For      |                                     |
| NTIS CRA&I         | <input checked="" type="checkbox"/> |
| DTIC TAB           | <input type="checkbox"/>            |
| Unannounced        | <input type="checkbox"/>            |
| Justification      |                                     |
| By                 |                                     |
| Distribution /     |                                     |
| Availability Codes |                                     |
| Dist               | Avail and/or Special                |
| A-1                |                                     |

93-08831



De afbeelding is een voorbeeld van  
een document van het Prins Maurits Laboratorium

De afbeelding is een voorbeeld van  
een document van het Prins Maurits Laboratorium



93 426 130

### Samenvatting

Dit rapport beschrijft de ontwikkeling van een hoog energetische gepulste lichtbron ten behoeve van de ultra snelle fotografie. De gebouwde flitseenheid bestaat uit een Xenon flitsbuis en een gepulste energiebron gevormd door een semi-transmissielijn.

De flitseenheid levert een blokvormige lichtpuls met een tijdsduur van 1ms en een elektrische energie van maximaal 4 kJ.

Het rapport is tevens bedoeld als een handleiding bij het gebruik van de flitseenheid. Relevante technische gegevens van de gebruikte componenten zijn toegevoegd in de vorm van bijlagen.

### Summary

This report treats the development of a high energy pulsed light source for the application of high-speed photography. The flash unit uses a Xenon flash tube and a pulsed energy source, consisting of a semi-transmission line.

The flash unit supplies a square light pulse of 1 ms duration. The electrical energy delivered by the unit amounts to 4 kJ.

The report is also meant to be the operation manual for the flash unit. Relevant technical data of the applied components is added in the form of supplements.

## INHOUDSOPGAVE

|     |   |    |
|-----|---|----|
|     | SAMENVATTING/SUMMARY                            | 2  |
|     | INHOUDSOPGAVE                                   | 3  |
| 1   | INLEIDING                                       | 4  |
| 2   | THEORIE VAN DE FLITSBUIS                        | 5  |
| 3   | THEORIE VAN DE GEPULSTE ENERGIEBRON             | 8  |
| 4   | ONTWERP VAN DE FLITSEENHEID                     | 18 |
| 4.1 | Besturingselektronica                           | 18 |
| 4.2 | Inductoren                                      | 20 |
| 4.3 | Parabolische reflector                          | 25 |
| 5   | HANDLEIDING BIJ HET GEBRUIK VAN DE FLITSEENHEID | 28 |
| 5.1 | Aansluiten                                      | 28 |
| 5.2 | Gebruiksaanwijzing                              | 29 |
| 6   | TESTRESULTATEN                                  | 31 |
| 7   | ONDERTEKENING                                   | 36 |
| 8   | REFERENTIES                                     | 37 |
| 9   | GEBRUIKTE SYMBOLEN                              | 38 |
|     | BIJLAGE A DATA FLITSBUIS                        |    |
|     | BIJLAGE B DATA IMAGE CONVERTER CAMERA           |    |
|     | BIJLAGE C INDELING FLITSEENHEID                 |    |
|     | BIJLAGE D GEBRUIKTE ONDERDELEN                  |    |
|     | BIJLAGE E ELEKTRONISCH SCHEMA FLITSEENHEID      |    |

## 1 INLEIDING

Ultra snelle fotografie is een zeer geschikte diagnostische techniek voor het vastleggen van snelle verschijnselen zoals die zich o.a. voordoen op het werkgebied Pulsfysica. Zowel één- als tweedimensionale tijdsopgeloste opnamen, die kunnen worden verkregen met high-speed streak en framing camera's, geven belangrijke informatie voor het bestuderen van - bijvoorbeeld - het gedrag van hyper snelle projectielen in vlucht en schakelmechanismen onder operationele condities. De bij het Laboratorium voor Pulsfysica aanwezige Cordin Image Converter Camera is in staat opnamen te maken met een maximale beeldfrequentie van 2.000.000 beelden/s of een maximale streaksnelheid van 100 mm/ $\mu$ s.

Voor een succesvolle toepassing van een ultra snelle camera is een lichtbron van voldoende sterkte noodzakelijk voor het verkrijgen van een juiste belichting van het onderwerp. Daarnaast kan het onder bepaalde omstandigheden gewenst zijn om bij het vastleggen van verschijnselen die gepaard gaan met sterke lichtflitsen, bijvoorbeeld het fotograferen van een projectiel in aanwezigheid van een mondingsvlam, juist extra te verlichten, zodat een gecontroleerde belichting kan plaatsvinden.

Dit rapport behandelt de ontwikkeling van een hoog energetische gepulste lichtbron met de volgende ontwerpspecificaties:

pulsduur : 1 ms  
elektrische energie : 1000 - 2000 J

Deze specificaties zijn vastgesteld eind 1989 op grond van de toen beschikbare gegevens van de in aanbouw zijnde Image Converter Camera [7] en zijn vergelijkbaar met een door Cordin op de markt gebrachte flash unit model 359. De uiteindelijke specificaties van de Cordin camera wijken enigszins hiervan af (zie bijlage B).

De flitseenheid bestaat uit twee onderdelen, te weten de lichtbron en de gepulste elektrische energiebron.

Bij de aanschaf van de componenten voor de energiebron is er van uit gegaan dat deze eventueel ook voor andere toepassingen dan voor de flitseenheid inzetbaar dient te zijn. Indien deze wordt gebruikt als condensatorbank is in totaal een elektrische energie van 18 kJ beschikbaar.

De volgende hoofdstukken behandelen achtereenvolgens de theoretische achtergronden van de lichtbron (Hoofdstuk 2) en de gepulste energiebron (Hoofdstuk 3). De hierop gebaseerde simulatie van het elektrische gedrag van flitsbuis en energiebron leidt tot het basisontwerp van de flitseenheid. Hoofdstuk 4 beschrijft de implementatie van dit ontwerp. De constructie van de flitseenheid en werking van de besturingselektronica komt in dit hoofdstuk aan de orde. Hoofdstuk 5 vormt een

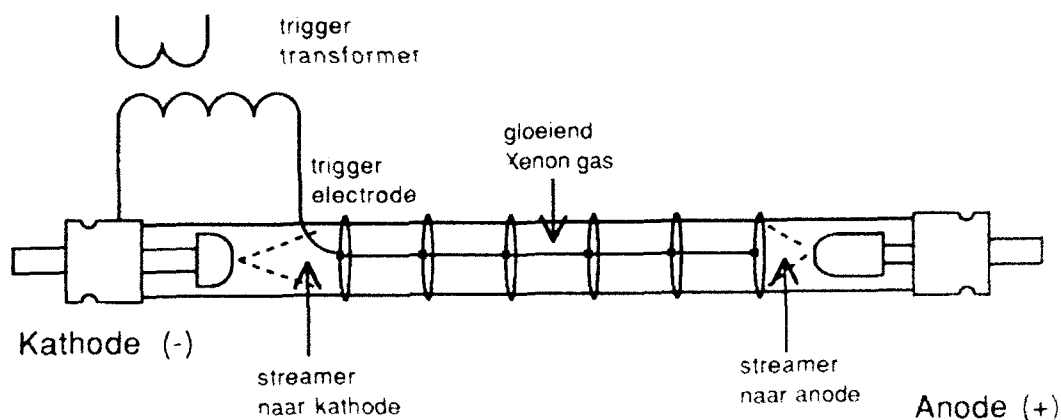
handleiding bij gebruik van de flitseenheid voor ultra snelle fotografie. De uitleg beperkt zich tot het werkvoorschrift en een overzicht van de verschillende instelmogelijkheden.

Hoofdstuk 6 beschrijft tenslotte kwalitatief de prestaties van de ontwikkelde flitseenheid.

Aangezien dit rapport tevens als gebruikershandleiding bedoeld is, zijn in de bijlagen A tot en met E relevante technische gegevens opgenomen van de gebruikte componenten.

## 2 THEORIE VAN DE FLITSBUIS

Als lichtbron voor de ontwikkelde flitseenheid is een lineaire Xenon flitsbuis gekozen. Deze flitsbuis bestaat uit een dunne capillair van kwartsglas, waarin zich een Xenon atmosfeer bevindt, en een tweetal hoogspanningselektroden (zie figuur 1).



Figuur 1 Tekening van een Xenon flitsbuis met triggerelektrode

Een Xenon gasontlading tussen de twee elektroden vindt plaats door een energiebron te ontladen via de flitsbuis. De ontsteking van de flitsbuis vindt plaats door een vonkkanaal (spark streamer) van geïoniseerde atomen te creëren in het gasvolume van de flitsbuis, waardoor een sterke momentane reductie van de weerstand van het medium zal optreden. Het genereren van een vonkkanaal kan plaatsvinden door het introduceren van een zeer hoge spanningsgradiënt binnen het gasvolume als gevolg van het aanbieden van een spanning over de elektroden die een zekere waarde overstijgt of een hoogspanningsspuls op een externe trigger elektrode.

Deze laatste methode van initiëren van een lichtflits heeft een aantal voordelen in vergelijking met het aanbieden van een zeer hoge anode-kathode spanning.

Met het gebruik een externe trigger-elektrode vervalt de noodzaak om een extra schakelaar op te nemen in serie met de flitsbuis en neemt de onzekerheid ("jitter") in het tijdstip van initiatie af.

De toevoer van energie aan de flitsbuis is gebonden aan een maximum, namelijk de energie waarbij de flitsbuis explodeert, de explosie energie. Deze maximale belasting die een flitsbuis kan weerstaan wordt bepaald door de vorm van de buis, de booglengte van de vonkdoorslag, het materiaal van de omhullende en de duur van de lichtpuls. Bij benadering geldt de volgende relatie voor de explosie energie [3]:

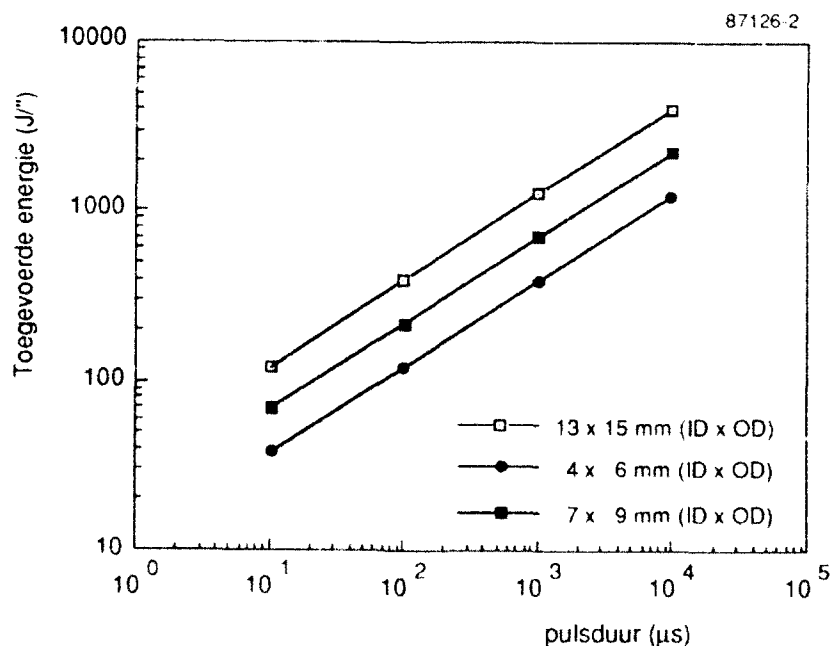
$$E_{exp} = 12 l \cdot d \cdot \sqrt{\tau} \quad (2.1)$$

$l$  = booglengte gasontlading (cm)

$d$  = boring van de buis (cm)

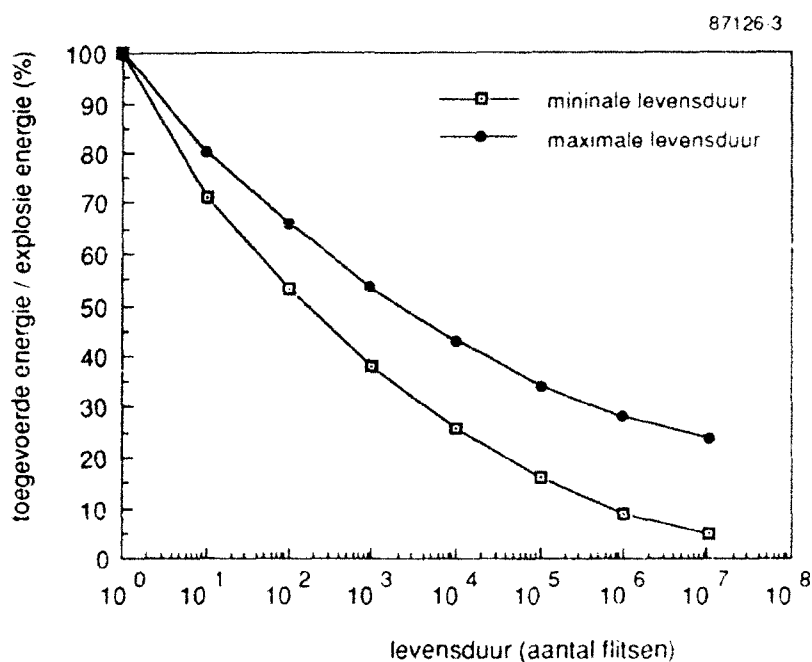
$\tau$  = pulsduur van de lichtflits

Figuur 2 geeft de explosie energie weer als functie van de pulsduur voor de geselecteerde flitsbuis [4] (kwarts omhulling). De ordinaat geeft de afhankelijkheid van de vorm (lineair) weer.



Figuur 2 Belasting van de flitsbuis in termen van de toegevoerde energie per lengte eenheid van de vonkboog als functie van de flitsduur. In de figuur is de binnendiameter van de flitsbuis met ID en de buitendiameter met OD aangegeven

De levensduur is afhankelijk van de belasting van de flitsbuis, uitgedrukt in het percentage van de



Figuur 3 Verwachting voor de levensduur van de flitsbuis als functie van de belasting uitgedrukt in een percentage van de explosie energie

Een flitsbuis wordt verder gekarakteriseerd door zijn elektrische eigenschappen, met name de minimale spanning benodigd om doorslag tot stand te brengen (minimum starting voltage), het minimum trigger voltage en de impedantie van de flitsbuis tijdens de doorslag, welke bij benadering ( $\pm 20\%$ ) wordt gegeven door [4]:

$$Z_f = \frac{\rho_f \cdot l}{A} = \frac{4 \cdot \rho_f \cdot l}{\pi d^2} \quad (2.2)$$

met:  $Z_f$  = buis impedantie ( $\Omega$ )  
 $\rho_f$  = soortelijke weerstand ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )  
 $l$  = booglengte (inches)  
 $d$  = boring van de buis (cm)

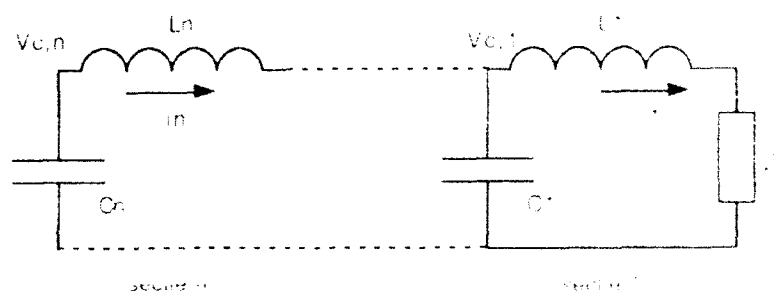
$\rho_f$  is een functie van de flitsduur en derhalve ook  $Z_f$  ( $\rho_f = 0,015$  voor  $\tau \leq 100\mu\text{s}$ ;  $\rho_f = 0,020$  voor  $\tau \geq 100\mu\text{s}$  en  $\leq 1000\mu\text{s}$ ;  $\rho_f = 0,025$  voor  $\tau \geq 1000\mu\text{s}$ ).

Een overzicht van de eigenschappen van de gebruikte Xenon flitsbuis, EG&G type FX-47C-6.5, is te vinden in bijlage A.



### 3 THEORIE VAN DE GEPULSTE ENERGIEBRON

De pulsduur van de flitseenheid wordt voornamelijk bepaald door de gebruikte elektrische energiebron. Om een zo uniform mogelijke belichting van het te fotograferen onderwerp te verkrijgen geniet een blokvormige stroompuls de voorkeur. Als energiebron is daarom gekozen voor een pulsformend netwerk bestaande uit  $n$  in serie geschakelde secties LC combinaties (figuur 4).



Figuur 4 Gepulste energiebron voor de flitseenheid, bestaande uit een aantal in serie geschakelde LC secties

De hoogspanningscondensatoren  $C$  worden vooraf opgeladen tot een spanning  $V_0$ . Ontlading via de door de flitsbuis gevormde belasting  $Z_f$  kan op elk willekeurig tijdstip plaatsvinden door een hoogspanningspuls aan te bieden op de triggerelektrode.

De totale pulsduur  $\tau$  van de door het netwerk geleverde stroom wordt gegeven door [1,5]:

$$\tau = 2 \cdot n \cdot \sqrt{L \cdot C} \quad (3.1)$$

De impedantie van de door de in serie geschakelde LC secties gevormde energiebron is in eerste benadering gelijk aan de karakteristieke impedantie van een verliesvrije transmissielijn met inductantiegraadient  $L'$  en capaciteitsgraadient  $C'$ :

$$Z_k = \sqrt{\frac{L'}{C'}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (3.2)$$

De totale energie die is opgeslagen in het netwerk bedraagt:

$$E = \frac{n \cdot C}{2} \cdot V_0^2 \quad (3.3)$$

Deze totale energie is beschikbaar voor het vormen van de lichtpuls, mits de impedantie van de semi-transmissielijn goed op die van de flitsbuis is afgestemd. Indien dit niet het geval is zal er reflectie van de elektrische puls optreden, hetgeen leidt tot energieverlies en een verandering van de pulsvorm. De reflectiecoëfficiënt  $r$  is een functie van beide impedanties:

$$r = \frac{Z_k - Z_f}{Z_k + Z_f} \quad (3.4)$$

Het effectieve vermogen bedraagt dan:

$$P_{\text{eff}} = (1 - r^2) \cdot P_0 = (1 - r^2) \cdot \frac{E}{\tau} \quad (3.5)$$

waarbij  $P_0$  het totale ingekoppelde elektrische vermogen is.

Het rendement waarmee de elektrische energie wordt omgezet in lichtenergie ligt volgens de fabrikant (EG&G) in de orde van 10%.

Op basis van de in December 1989 beschikbare gegevens van de in aanbouw zijnde Cordin Model 170 Image Converter Camera [7] zijn de volgende ontwerp specificaties opgesteld:

$$E = 1000 - 2000 \text{ J} \quad (3.6)$$

$$\tau = 1 \text{ ms}$$

De beschikbare energie is dan vergelijkbaar met die van de commercieel verkrijgbare Cordin 359 flitseenheid. De pulsduur van de blokvormige lichtpuls zorgt voor een identieke belichting van de vijf afzonderlijke beelden met een interframe tijd van maximaal 250 $\mu$ s.

Daarnaast dient de karakteristieke impedantie van de transmissielijn zo goed mogelijk gelijk te zijn aan de impedantie van de flitsbuis  $Z_f$  bij de gebruikte flitsduur  $\tau$ :

$$Z_k = Z_f \quad (3.7)$$

Het gedrag van het in figuur 4 afgebeelde pulsvormende netwerk (pfn) kan mathematisch worden beschreven door  $2n$  gekoppelde differentiaalvergelijkingen.

$$V_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + i_1 Z_f \quad (3.8a)$$

$$C_1 \frac{dV_1}{dt} = i_2 - i_1 \quad (3.9a)$$

$$V_n = L_n \frac{di_n}{dt} + V_{n-1} \quad (3.10a)$$

$$C_{n-1} \frac{dV_{n-1}}{dt} = i_n - i_{n-1} \quad (3.11a)$$

$$C_n \frac{dV_n}{dt} = -i_n \quad (3.12a)$$

Wanneer ook de serie weerstand van de inductoren wordt meegenomen gaat de set vergelijkingen (3.8a) tot en met (3.12a) over in

$$V_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + i_1 Z_f + i_1 R_{L1} \quad (3.8b)$$

$$C_1 \frac{dV_1}{dt} = i_2 - i_1 \quad (3.9b)$$

$$V_n = L_n \frac{\partial i_n}{\partial t} + V_{n-1} + i_n R_{L,n} \quad (3.10b)$$

$$C_{n-1} \frac{\partial V_{n-1}}{\partial t} = i_n - i_{n-1} \quad (3.11b)$$

$$C_n \frac{\partial V_n}{\partial t} = -i_n \quad (3.12b)$$

Wanneer ook de serieweerstand van de condensatoren wordt meegenomen gaat de set vergelijkingen (3.8b) tot en met (3.12b) over in:

$$V_1 = L_1 \frac{\partial i_1}{\partial t} + i_1 Z_f + i_1 R_{L,1} \quad (3.8c)$$

$$C_1 \frac{\partial}{\partial t} (V_1 - R_{C,1} (i_2 - i_1)) = i_2 - i_1 \quad (3.9c)$$

$$V_n = L_n \frac{\partial i_n}{\partial t} + V_{n-1} + i_n R_{L,n} \quad (3.10c)$$

$$C_{n-1} \frac{\partial}{\partial t} (V_{n-1} - R_{C,n-1} (i_n - i_{n-1})) = i_n - i_{n-1} \quad (3.11c)$$

$$C_n \frac{\partial}{\partial t} (V_n - R_{C,n} (-i_n)) = -i_n \quad (3.12c)$$

Indien ook de serie-inductantie  $L_{C_n}$  van de capaciteit  $C_n$  wordt meegenomen volgt voor (3.11c) en (3.12c):

$$C_{n-1} \frac{\partial}{\partial t} \left( V_{n-1} - R_{C_{n-1}}(i_n - i_{n-1}) - L_{C_{n-1}} \frac{\partial}{\partial t} (i_n - i_{n-1}) \right) = i_n - i_{n-1} \quad (3.11d)$$

$$C_n \frac{\partial}{\partial t} \left( V_n - R_{C_n}(-i_n) - L_{C_n} \frac{\partial}{\partial t} (-i_n) \right) = -i_n \quad (3.12d)$$

Dit leidt tot een tweede-orde vergelijking. De term tussen de grote haken is de spanning  $V_C$  over de condensator, want  $V_1 = R_{C_1}(i_2 - i_1) + V_L + V_C$ .

Om het gedrag van het elektrische netwerk goed te kunnen voorspellen is de respons van het netwerk gesimuleerd met een vereenvoudigd state-space concept. Onderstaande matrix vergelijking voor  $2n$  gekoppelde differentiaal vergelijkingen is opgelost met een speciaal daarvoor geschreven programma gebaseerd op de 4e orde Runge-Kutta methode.

$$\frac{\partial \mathbf{x}}{\partial t} = \mathbf{M} \cdot \mathbf{x} \quad (3.13)$$

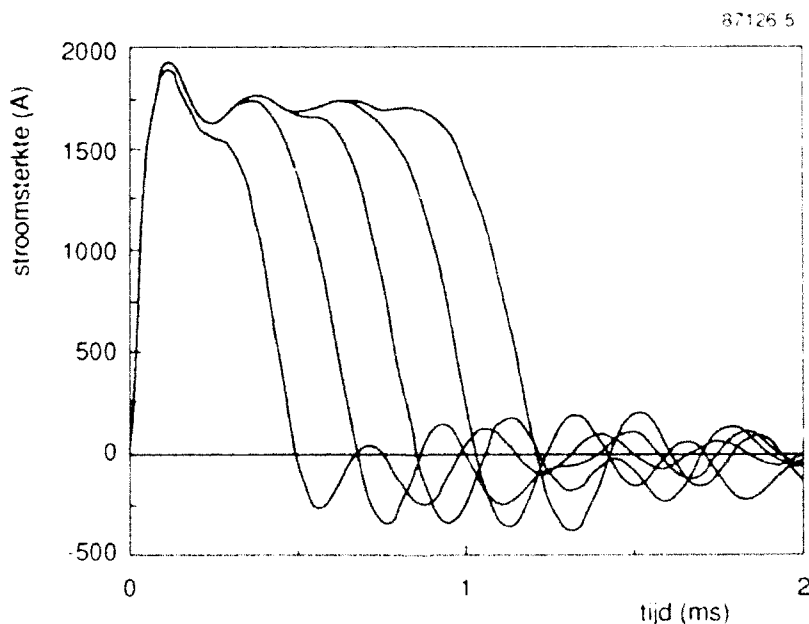
$$\frac{\partial \mathbf{x}}{\partial t} = \begin{pmatrix} \frac{\partial i_1}{\partial t} \\ \frac{\partial V_1}{\partial t} \\ \frac{\partial i_2}{\partial t} \\ \dots \\ \frac{\partial i_n}{\partial t} \\ \frac{\partial V_n}{\partial t} \end{pmatrix} \quad (3.14)$$

$$\mathbf{x} = \begin{pmatrix} i_1 \\ V_1 \\ i_2 \\ \dots \\ i_n \\ V_n \end{pmatrix} \quad (3.15)$$

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} m_{1,1} & m_{1,2} & \dots & m_{1,2n} \\ m_{2,1} & m_{2,2} & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{2n,1} & \dots & \dots & m_{2n,2n} \end{pmatrix} \quad (3.16)$$

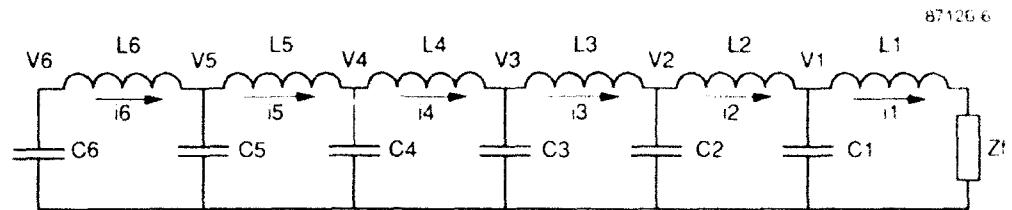
Een iteratief proces, waarbij de keuze van een geschikte flitsbuis met voldoende lange levensduur en het aantal LC secties varieerde, bepaalde de keuze voor het pulsformende netwerk.

In figuur 5 is het resultaat van de berekeningen weergegeven voor een toenemend aantal LC secties en een waarde van  $0,58 \Omega$  voor zowel bron- als belastingsimpedantie. De waarden voor L en C, respectievelijk  $50 \mu\text{H}$  en  $150 \mu\text{F}$ , zijn zodanig gekozen dat een pulsduur van 1 ms resulteert indien zes secties in serie worden gezet. De blokvormigheid is voor dit netwerk het best, i.e. vlakke top en weinig "undershoot". Bij deze simulaties is nog geen rekening gehouden met eventuele resistieve verliezen.



Figuur 5 Berekende stroompuls voor een uit 2, 3, 4, 5 en 6 LC secties bestaande energiebron. De impedantie van bron en belasting zijn gelijk verondersteld. De oplaadspanning bedraagt 2kV

Op grond van bovenstaande resultaten is besloten verder te rekenen met een energiebron bestaande uit 6 LC secties, zoals weergegeven in figuur 6.



Figuur 6 Energiebron voor de flitseenheid bestaande uit een door 6 LC secties gevormde verliesvrije semi-transmissie lijn

De bijbehorende matrix  $M$  ziet er als volgt uit:

$$M = \begin{pmatrix} -Z_f/L_1 & 1/L_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1/C_1 & 0 & 1/C_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1/L_2 & 0 & 1/L_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1/C_2 & 0 & 1/C_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1/L_3 & 0 & 1/L_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1/C_3 & 0 & 1/C_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1/L_3 & 0 & 1/L_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1/C_4 & 0 & 1/C_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1/L_4 & 0 & 1/L_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1/C_5 & 0 & 1/C_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1/L_5 & 0 & 1/L_5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1/C_6 & 0 \end{pmatrix}$$

Voor het implementeren van het basis-ontwerp is het noodzakelijk de invloed van de karakteristieke eigenschappen van de te gebruiken componenten, zoals serieweerstand van de inductoren en condensatoren en de serie-inductantie van de condensatoren, te beoordelen. Om een afschatting te maken van de maximaal te tolereren waarde van de resitieve componenten is het elektrische model uitgebreid. De bijbehorende matrix luidt:

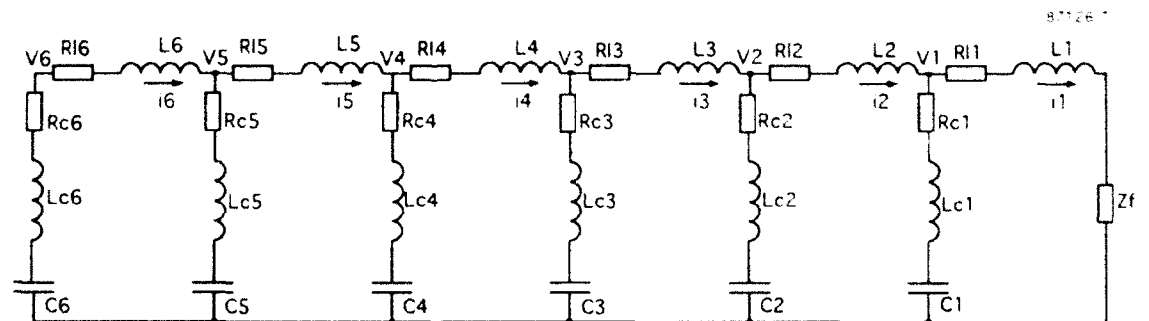
Uit verschillende simulaties blijkt dat een waarde van  $30 \text{ m}\Omega$  voor de serieweerstanden en de verliezen in de bekabeling niet tot ernstige afwijkingen in de pulsvorm leidt. De keuze van de condensatoren en de draaddikte van spoelen moet zodanig zijn dat deze waarden niet worden overschreden. De invloed van de serie-inductantie is gering bij de gewenste totale pulsduur en is derhalve niet kritisch.

De waarde van  $50 \mu\text{H}$  voor de spoelen is zeer goed realiseerbaar met een lage Ohmse weerstand  $R_L$  [11] (zie ook hoofdstuk 4:  $R_L = 26 \text{ m}\Omega$ ).

Een geschikte ( $\pm 150 \mu\text{F}; > 2 \text{ kV}$ ) speciale pulscondensator (lage serie R en L), die eventueel nog voor andere doeleinden te gebruiken is, was commercieel verkrijgbaar (zie bijlage D). Deze condensator, met een waarde van  $145 \mu\text{F}$ , kan een maximale oplaadspanning van  $6,5 \text{ kV}$  en een maximale ompoling van 20% weerstaan. De dissipatie factor  $k$ , i.e. ratio van de ESR (equivalent series resistance) en de capacitieve reactantie waarde is kleiner dan 0,0035. De waarde van de serieweerstand  $R_C$  bij een hoekfrequentie  $\omega$  bedraagt derhalve:

$$k = R_C \cdot \omega \cdot C \text{ zodat } R_C < 24 \text{ m}\Omega.$$

De serie-inductantie  $L_C$  bedraagt  $100 \text{ nH}$ . Figuur 7 geeft het complete elektrische schema van het pulsvormende netwerk van de flitsseenheid.



Figuur 7 Schema van het pulsvormende netwerk dat gebruikt wordt als energiebron voor de flitsbuis

Bij de berekening van de pulsvorm zijn de volgende karakteristieke waarden voor gebruikte componenten gehanteerd:

$$n = 6$$

$$L = 50 \mu\text{H}$$

$$C = 145 \mu\text{F}$$

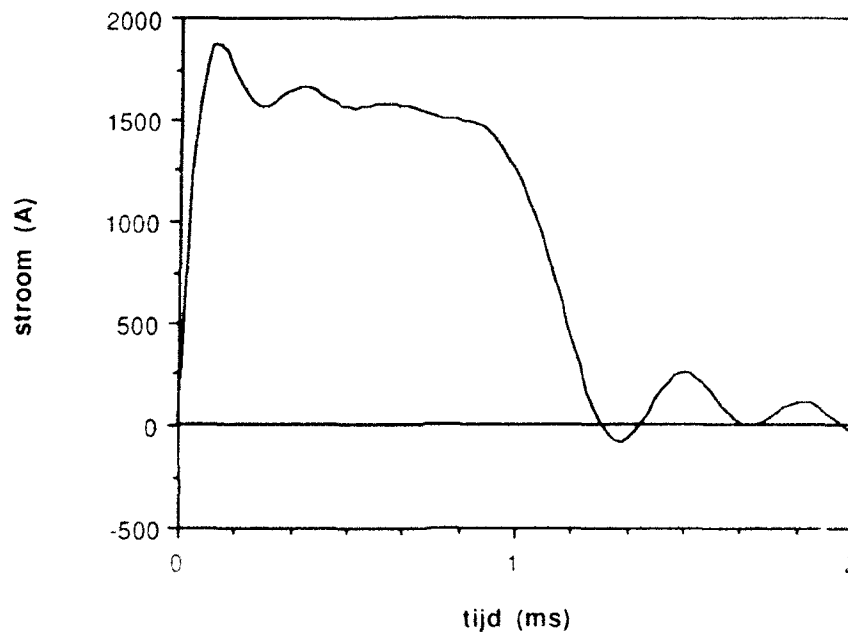
$$R_L = 26 \text{ m}\Omega$$

$$R_C = 24 \text{ m}\Omega$$

$$L_C = 100 \text{ nH}$$



Figuur 8 toont het resultaat van de simulatie.



Figuur 8 Berekende pulsvorm voor het netwerk uit figuur 7

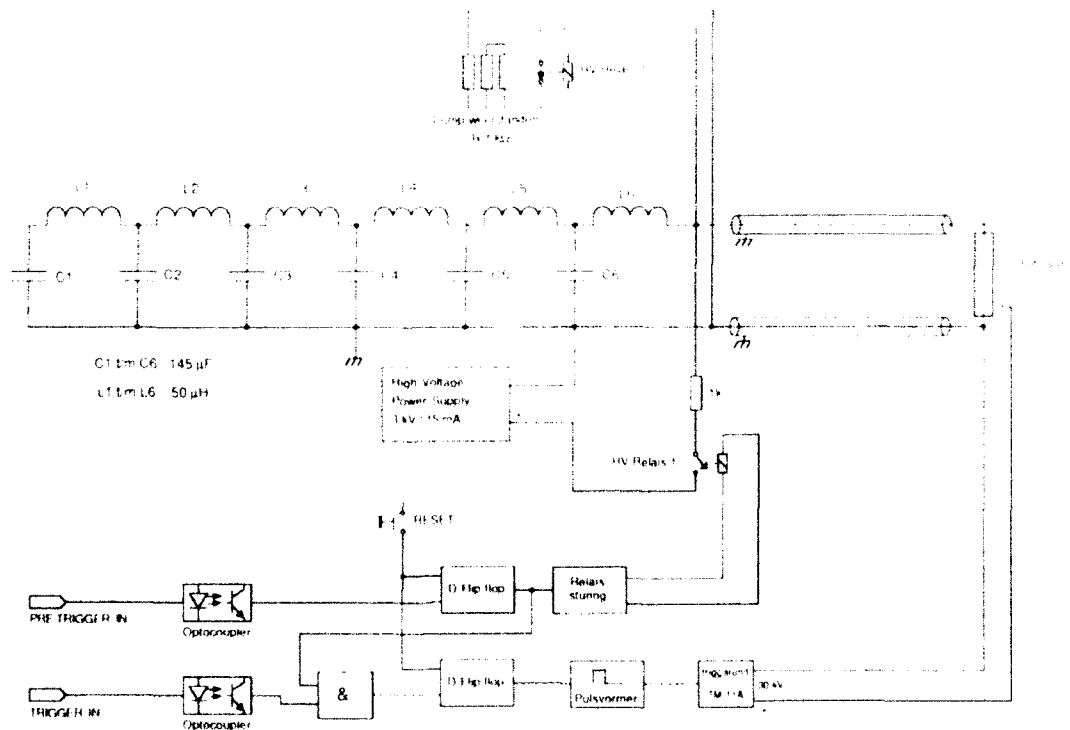
Ter controle zijn tevens berekeningen uitgevoerd om de invloed van de variatie van waarden van verschillende componenten op de pulsvorm te beoordelen.

#### 4 ONTWERP VAN DE FLITSEENHEID

Dit hoofdstuk gaat in op het ontwerp van de flitseenheid en geeft een beschrijving van de werking ervan. De eerste paragraaf beschrijft het ontwerp en de werking van de triggerschakeling en het laad- en ontlaadcircuit. Vervolgens behandelt paragraaf 4.2 het ontwerp van de inductoren van het pulsformende netwerk. Paragraaf 4.3 behandelt het ontwerp en de constructie van de reflector voor de flitsbuis.

##### 4.1 Besturingselektronica

Figuur 9 toont het blokschema van de flitseenheid.



Figuur 9 Blokschema van de flitseenheid

Twee coaxiale kabels verbinden het pulsvormende netwerk met de flitsbuis. De buitenmantels van deze kabels zijn verbonden met de randaarde.

Van elke condensator is één contact en de metalen buitenkant met de randaarde verbonden.

Een hoogspanningsvoeding van 0 - 3 kV, 15 mA zorgt voor het opladen van de condensatoren. Deze voeding is via HV Relais 1 verbonden met de condensatoren. Bij het opladen worden Relais 1 en 2 omgeschakeld totdat de condensatoren het gewenste spanningsniveau hebben bereikt. Tijdens het ontsteken van de flitsbuis moet de hoogspanningsvoeding zijn losgekoppeld van de condensatoren. De hoogspanningsvoeding wordt op deze manier beschermd tegen piekspanningen en -stromen. Bovendien wordt op deze manier voorkomen dat na het ontsteken van de flitsbuis de condensatoren direct weer worden opgeladen.

Een TTL signaal op de "PRE TRIGGER IN" ingang of een handmatige triggerpuls zorgt voor het ontkoppelen van de hoogspanningsvoeding. Wanneer vervolgens een TTL signaal of een handmatige triggerpuls aan de "TRIGGER IN" ingang wordt aangeboden, genereert de triggerunit een 30 kV puls waarmee de flitsbuis wordt ontstoken. Hoogspanningsrelais HV Relais 2 zorgt voor het ontladen van de condensatoren over een drietal dumpweerstanden. Dit relais is normaal gesloten zodat de condensatoren worden ontladen bij het wegvallen van de voedingsspanning.

Bijlage E toont het elektronische schema van de triggerschakeling en de aansluiting van de relais. Door het intoetsen van de "CHARGE" schakelaar (maak contact) schakelt relais 3 om. Op dit moment gaat HV Relais 2 open zodat de dumpweerstanden worden losgekoppeld. Relais 3 schakelt ook een 12 Volt gelijkspanning, benodigd voor HV Relais 1. HV Relais 1 sluit en koppelt de hoogspanningsvoeding aan het pulsvormende netwerk, zodat de condensatoren worden opgeladen. De twee trigger-ingangen zijn galvanisch gescheiden van de rest van het circuit middels twee opto-couplers. Hiertoe zijn drie verschillende 5 Volt voedingen toegepast. In het schema van bijlage E zijn de +5V en de bijbehorende aarde aansluitingen voor de opto-couplers aangeduid met \* en \*\*. Het pre-trigger signaal gaat via de opto-coupler naar een pulsvormer (1/2 74LS221). Het signaal wordt hier omgezet in een gedefiniëerde TTL puls met een breedte van 3,3 ms. Deze puls wordt aangeboden aan een D-flipflop 74LS74. Uitgang 1Q wordt hoog, zodat de pre-trigger LED gaat branden en HV Relais 1 open gaat. De hoogspanningsvoeding is nu los van de condensatoren. Wanneer nu een puls verschijnt aan de "TRIGGER IN" ingang, wordt deze doorgegeven via een opto-coupler en een pulsvormer (1/2 74LS221) aan een EN-poort (1/4 74LS00). Het pre-trigger signaal heeft de D-flipflop doen omklappen, zodat ingang 1B van de EN-poort hoog is geworden. De EN-poort geeft het triggersignaal dus alleen door, wanneer eerst een pre-trigger signaal is gepasseerd. Het triggersignaal wordt in dit geval doorgegeven aan een D-flipflop. De uitgang 2Q van de D-flipflop wordt hoog, zodat de trigger LED gaat branden. De uitgang 2Q wordt eveneens

aangeboden aan een pulsformer (1/2 74LS221). De uitgang is door T5 gebufferd en wordt aangeboden aan de trigger unit TM-11 A. Deze unit levert de 30 kV trigger puls die nodig is voor de ontsteking van de flitsbuis.

#### 4.2 Inductoren

Deze paragraaf beschrijft het ontwerp van de inductoren van de energiebron. Voor dit pulsvormende netwerk zijn zes inductoren van 50 $\mu$ H nodig. De afmetingen van de inductoren zijn aan twee voorwaarden gebonden:

- 1 de weerstand van een inductor moet lager zijn dan 30m $\Omega$ ;
- 2 om de inductoren in de kast van de flitseenheid te kunnen inbouwen mag de buitendiameter niet groter zijn dan ca. 10 cm.

De inductoren van de flitseenheid zijn ontworpen volgens het model van Brooks [11]. Een inductor die volgens dit concept is gebouwd levert voor een gegeven draadlengte een maximale inductantie. Figuur 10 toont de verhouding van de afmetingen van een Brooks spoel.

De inductantie L van een Brooks spoel wordt bij benadering gegeven door :

$$L = 1,6994 \cdot a \cdot N^2 \quad (\mu\text{H}) \quad (4.1)$$

a = gemiddelde straal van de spoel (m)

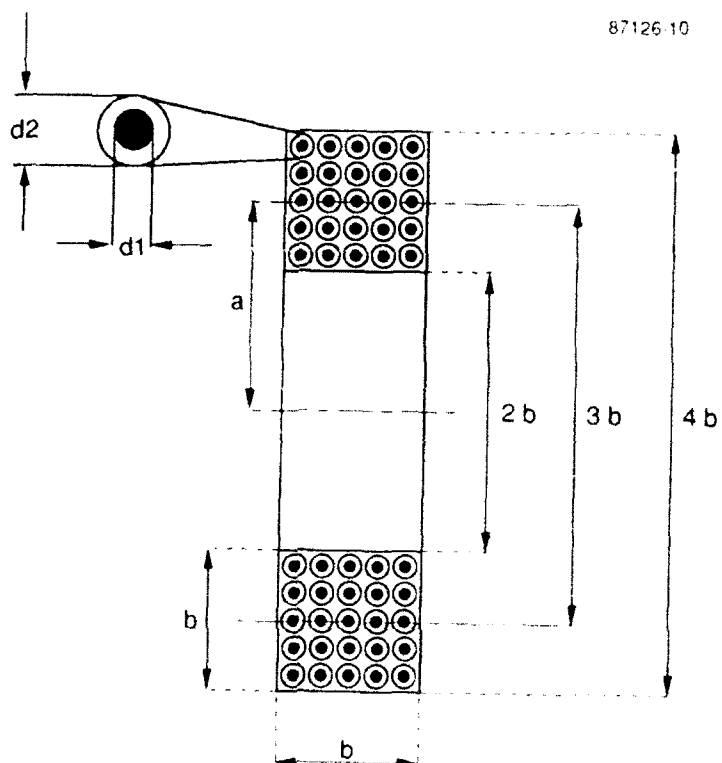
N = aantal wikkelingen (-)

Voor de dikte van de draadislatie geldt een correctiefactor ( $\lambda$ ):

$$\lambda = 1 + \frac{0,739}{N} \cdot \left( \ln \frac{p}{d_1} + 0,155 \right) \quad (4.2)$$

p = afstand tussen de centra van naast elkaar gelegen wikkelingen (mm)

d<sub>1</sub> = diameter van de draadkern (mm)



Figuur 10 Doorsnede van een Brooks spoel

Voor de weerstand van een draad geldt :

$$R = \rho \cdot \frac{x}{O} \quad (4.3)$$

R = elektrische weerstand van de draad ( $\Omega$ )

$\rho$  = soortelijke weerstand van het materiaal ( $\Omega \cdot m$ )

x = draadlengte (m)

O = oppervlakte van de draaddoorsnede ( $m^2$ )

Voor de draadlengte x geldt :

$$x = N \cdot \pi \cdot 2 \cdot a \quad (4.4)$$

Volgens (4.1) geldt bij benadering :

$$a = \frac{L}{1,6994 \cdot N^2} \quad (4.5)$$

Substitutie van (4.5) in (4.4) geeft :

$$x = 2 \cdot \pi \cdot \frac{L}{1,6994 \cdot N} \quad (4.6)$$

Voor het oppervlak O van de draaddoorsnede geldt :

$$O = \pi \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot d_1\right)^2 \quad (4.7)$$

Voor een draad met geïsoleerde buitenmantel geldt bij benadering :

$$d_1 = 0,56 \cdot d_2 \quad (4.8)$$

$d_2$  = diameter van de draadisolatie (m)

Volgens figuur 10 geldt :

$$d_2 = \frac{b}{\sqrt{N}} \quad (4.9)$$

$$b = \frac{2}{3} \cdot a \quad (4.10)$$

b = binnendiameter Brooks spoel (m)

Uit (4.8), (4.9) en (4.10) volgt :

$$d_1 = \frac{2}{3} \cdot 0,56 \cdot \frac{a}{\sqrt{N}} \quad (4.11)$$

Substitutie van (4.11) in (4.7) geeft :

$$O = 0,109 \cdot \frac{a^2}{N} \quad (4.12)$$

Substitutie van (4.5) in (4.12) geeft :

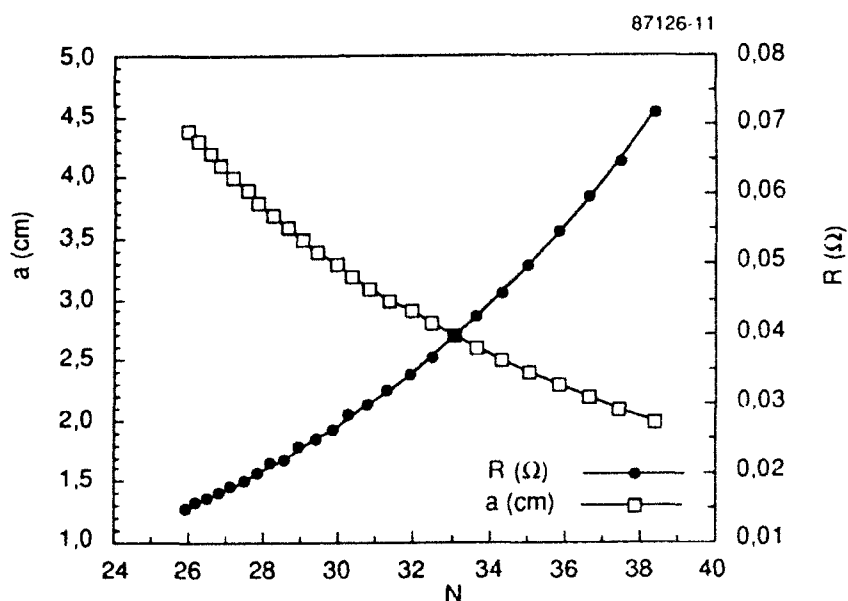
$$O = 0,109 \cdot \frac{L^2}{2,8880 \cdot N^5} \quad (4.13)$$

Substitutie van (4.6) en (4.13) in (4.3) geeft :

$$R = \rho \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot \frac{L}{1,6994 \cdot N}}{0,109 \cdot \frac{L^2}{2,8880 \cdot N^5}} \quad (4.14)$$

De spoel L moet een inductantie hebben van 50  $\mu$ H (zie hoofdstuk 3). Als wikkeldraad wordt geïsoleerd koperdraad gebruikt met een massieve kern. De resistiviteit van koper bedraagt  $1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$ . Wanneer deze waarden voor L en  $\rho$  worden ingevuld in vergelijking (14) geeft dat :

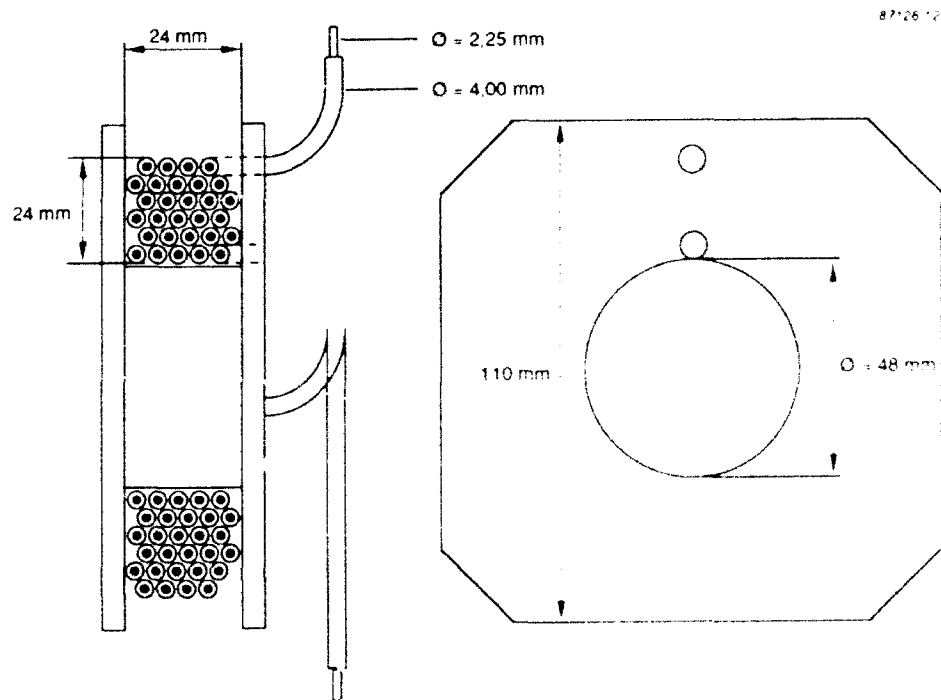
$$R = 3,316 \cdot 10^{-8} \cdot N^4 \quad (4.15)$$



Figuur 11 Gemiddelde diameter (a) en spoelweerstand (R) als functie van het aantal wikkelingen (N) van een Brooks-spoel van  $50\mu\text{H}$

Figuur 11 toont de spoelweerstand als functie van het aantal wikkelingen. Aan de eerst genoemde voorwaarde ( $R_L < 30\text{m}\Omega$ ) wordt voldaan als  $N < 31$ . Als tweede voorwaarde geldt dat de grootte van de inductor kleiner is dan 10 cm. Aan deze voorwaarde wordt voldaan wanneer  $4b < 10$  cm. Volgens (4.10) geldt dan:  $a < 3,75$  cm. Figuur 11 laat zien dat het aantal wikkelingen N groter moet zijn dan 27. Om aan beide voorwaarden te voldoen moet het aantal wikkelingen 28, 29 of 30 zijn. Er is gekozen voor een inductor met 29 wikkelingen. Figuur 12 toont het uiteindelijke ontwerp van de inductor met de bijbehorende afmetingen.

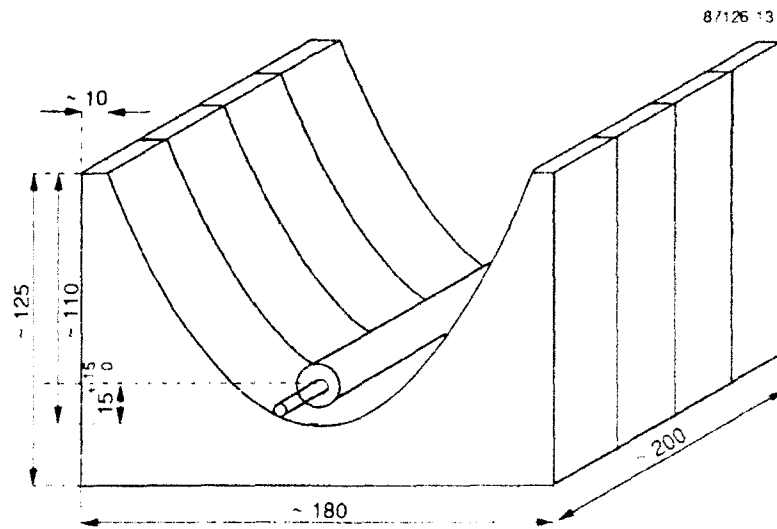




Figuur 12 Ontwerp voor een  $50 \mu\text{H}$  inductor

#### 4.3 Parabolische reflector

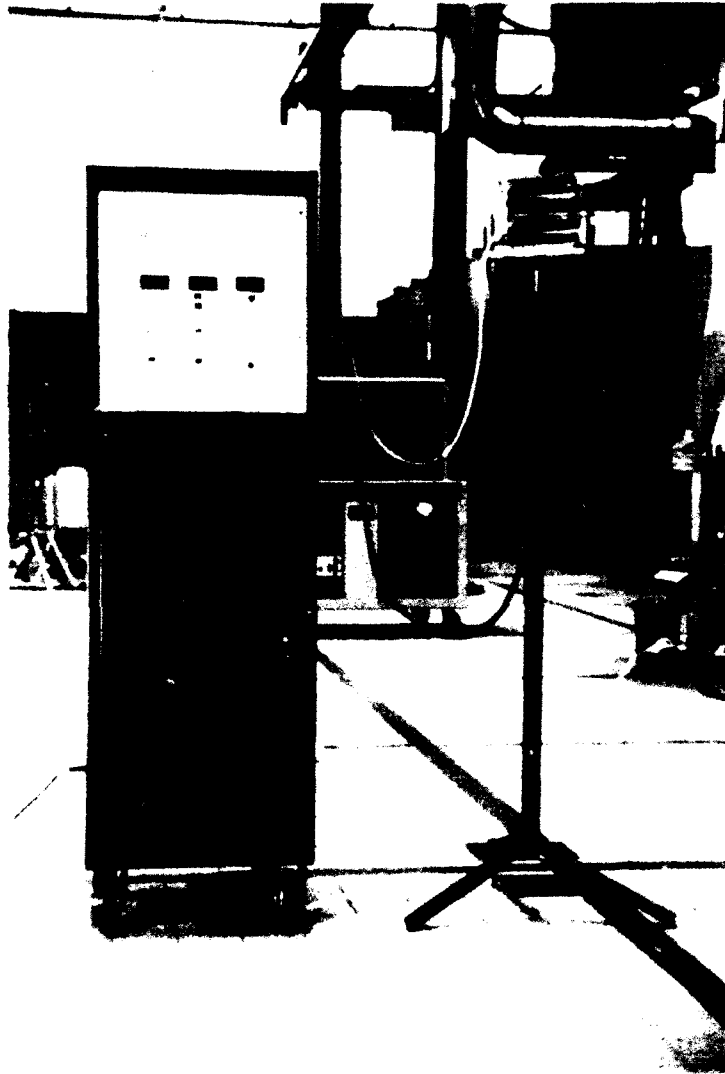
Voor het verkrijgen van een zo hoog mogelijke lichtopbrengst is de flitsbuis geplaatst in het brandpunt van een parabolische reflector. De hoogte van de uitredende bundel bedraagt ongeveer 17 cm, hetgeen overeenkomt met de binnendiameter van de diagnostiekpoorten van de range elementen. Verplaatsing van de as van flitsbuis in het symmetrievlak van de reflector maakt het mogelijk om het licht nog enigszins te focuseren. Figuur 13 is een tekening van de parabolische reflector, die is opgebouwd uit een viertal segmenten, welke met behulp van een CNC freesbank uit aluminium zijn vervaardigd. De mathematische beschrijving van het spiegelvlak is aangegeven in de figuur. Figuur 14 is een foto van de parabolische reflector met de daarin gemonteerde flitsbuis.



Figuur 13      Ontwerp van de parabolische reflector van de flitscr. Het spiegeloppervlak voldoet aan de vergelijking  $y = \frac{1}{60} x^2$  (in mm). De brandpuntsafstand bedraagt derhalve 15 mm



Figuur 14      De parabolische reflector met flitsbuis



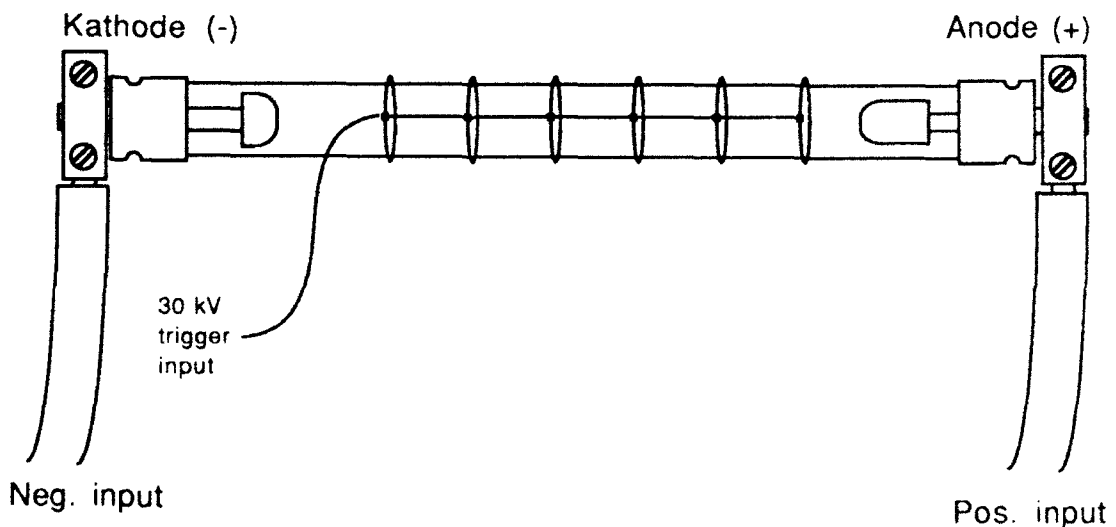
Figuur 15 De complete flitseenheid

Figuur 15 toont de complete flitseenheid. In het blauwe 19" rack bevindt zich de gepulste elektrische energiebron en de besturingselektronica. Alle noodzakelijke functies zijn vanaf het frontpaneel te bedienen. Naast het 19" rack is de in hoogte verstelbare losse lichtbron opgesteld.

## 5 HANDLEIDING BIJ HET GEBRUIK VAN DE FLITSEENHEID

### 5.1 Aansluiten

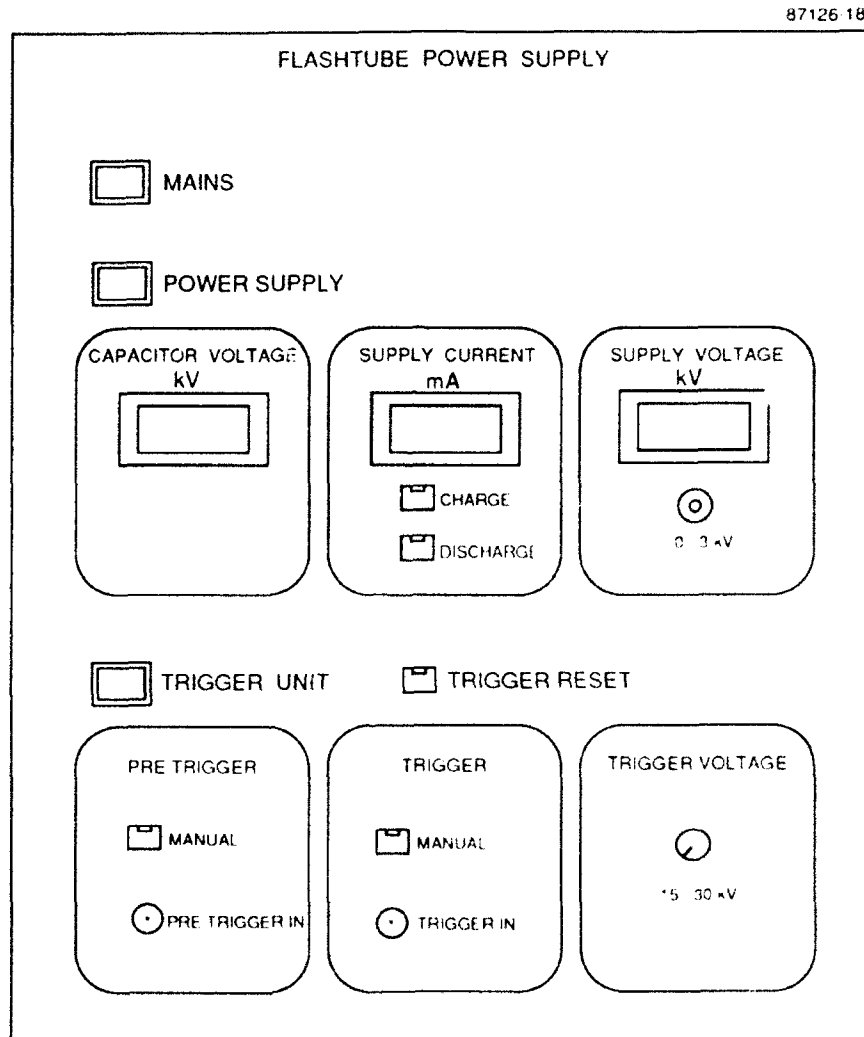
Het gebruik van hoogspanning vereist een aantal voorzorgsmaatregelen. Voor maximale veiligheid moet het statief waarop de reflector en de flitsbuis zijn geplaatst verbonden zijn met de randarde. De reflector en de buis moeten zijn afgeschermd met een perspex plaat. Deze plaat biedt bescherming bij het eventueel exploderen van de flitsbuis. Tijdens het ontsteken van de flitsbuis kan op de reflector een spanning van 30 kV optreden. De reflector en de aansluitingen van de buis moeten daarom goed zijn geïsoleerd met behulp van een kunststof mantel. Controleer vóór het inschakelen van de voedingsspanning de aansluitingen van de flitsbuis. Figuur 17 toont de aansluitingen van de buis. De anode van de flitsbuis is aan de zijkant met een "+" gemerkt. Verkeerd aansluiten van de buis kan tot gevolg hebben dat de buis explodeert.



Figuur 17 Aansluitingen van de flitsbuis

In verband met de hoge intensiteit van de lichtflits is het verstandig tijdens het opladen van de condensatoren direct oogcontact met de buis te vermijden of de buis af te schermen met een lichtdichte plaat. De deur aan de achterzijde van de kast moet gesloten zijn (interlock).

Figuur 18 toont het frontpaneel van de flitseenheid. Behalve een "MAINS" schakelaar zijn voor de hoogspanningsvoeding en de triggerunit aparte schakelaars aangebracht.



Figuur 18 Frontpaneel van de flitseenheid

## 5.2 Gebruiksaanwijzing

Bij het bedieningsgedeelte van de hoogspanningsvoeding zijn drie uitlezingen aangebracht. De uitlezing "CAPACITOR VOLTAGE" is een monitor die continu de spanning over de condensatoren weergeeft.

De uitlezing "SUPPLY CURRENT" geeft de stroom aan waarmee de condensatoren worden opgeladen. De laadstroom is begrensd tot 15 mA. De uitlezing "SUPPLY VOLTAGE" geeft de eindwaarde van de condensatorspanning in kVolts aan. Deze waarde wordt ingesteld met de daaronder geplaatste meerslagspotmeter.

Op het onderste gedeelte van de frontplaat bevindt zich het bedieningspaneel van de triggereenheid. De trigger-signalen kunnen met een TTL puls en handmatig worden gegenereerd. Met behulp van een pre-trigger wordt de hoogspanningsvoeding losgekoppeld van de condensatoren. De trigger zorgt voor het ontsteken van de flitsbuis. De trigger-spanning is instelbaar (15 - 30 kV) met de "TRIGGER VOLTAGE" potmeter.

De schakelaars voor handmatig triggeren hebben elk een ingebouwde LED die gaat branden, zodra er een triggersignaal is geweest. Wanneer de LED's branden is de triggereenheid non-actief totdat een "TRIGGER RESET" wordt gegeven.

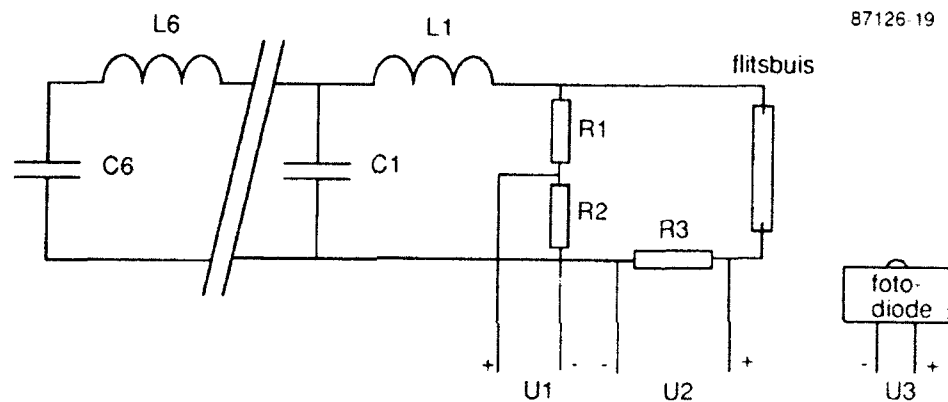
De procedure voor het gebruik van de flitseenheid is als volgt:

- 1 sluit de flitsbuis en de triggerkabels aan;
- 2 schakel achtereenvolgens de "MAINS", de "POWER SUPPLY" en de "TRIGGER UNIT" aan;
- 3 stel de gewenste laadspanning in op ca. 2 kV;
- 4 stel de gewenste trigger-spanning in;
- 5 geef een "TRIGGER RESET" indien de trigger-LED's branden;
- 6 laad de condensatoren op met de "CHARGE" schakelaar;
- 7 koppel de hoogspanningsvoeding los met een pre-trigger;
- 8 ontsteek de flitsbuis met een triggerpuls;
- 9 toets de "DISCHARGE" schakelaar in om de resterende energie uit de condensatoren te verwijderen.

Bij het openen van de deur aan de achterzijde van de flitser wordt de netspanning uitgeschakeld met behulp van een interlock schakelaar. De condensatoren worden op dat moment automatisch ontladen. Wanneer echter op de condensatoren nog een hoge spanning aanwezig is duurt het enkele seconden voordat de condensatoren volledig ontladen zijn. Het is daarom verstandig om gebruik te maken van de "DISCHARGE" schakelaar en de monitor voor de condensatorspanning op het frontpaneel.

## 6 TESTRESULTATEN

Bij het testen van de flitseenheid zijn de stroom door en de spanning over de flitsbuis gemeten volgens het schema van figuur 19.



$$R1 = 999 \text{ k}\Omega$$

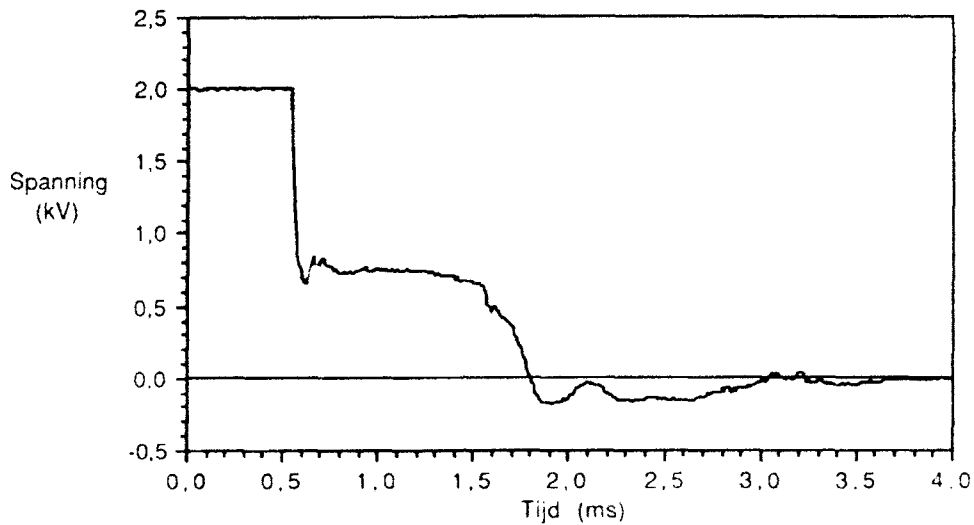
$$R2 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R3 = 0,025 \text{ m}\Omega \text{ (shuntweerstand)}$$

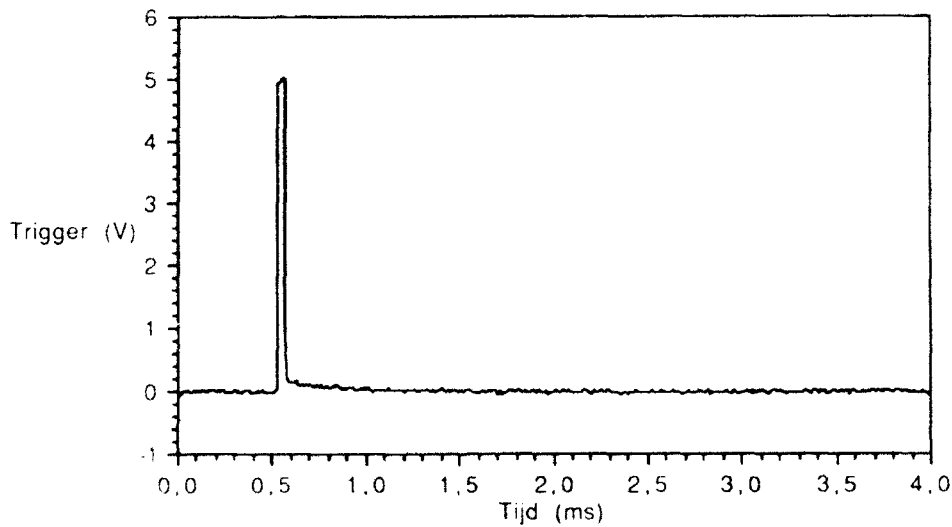
Figuur 19 Testmetingen

Tijdens een ontlading van de flitsbron (2 kV) zijn in totaal vier signalen opgenomen: de spanning over de flitsbuis, de stroom door de flitsbuis, de lichtintensiteit en de ingang van het triggersignaal als tijdreferentie. Alle metingen zijn uitgevoerd met een Tektronix oscilloscoop, type 2430A. Deze oscilloscoop heeft een 8-bits resolutie.

Met behulp van een spanningsdeler (1:1000) is de spanning over de flitsbuis gemeten tijdens een ontlading van de flitsbron (U1). De spanningsdeler heeft een bandbreedte van 85 kHz (-3dB). Figuur 20 toont het verloop van de spanning over de flitsbuis. Figuur 21 toont het TTL-signaal van de "TRIGGER IN".



Figuur 20 Gemeten spanning over de flitsbuis



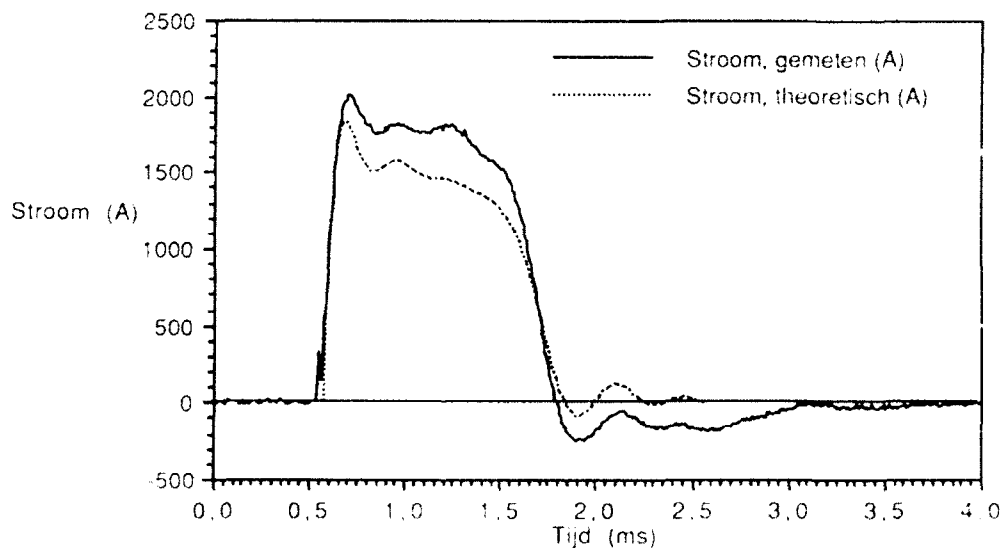
Figuur 21 Triggerpuls

De stroom door de buis is gemeten met een shunt-weerstand van  $0,025 \text{ m}\Omega$ . De spanning  $U_2$  heeft dus een gevoeligheid van  $25 \text{ mV/kA}$ . Om aardlussen te voorkomen is tijdens het meten het chassis van de oscilloscoop losgemaakt van de randaarde. De gegevens van de stroomshunt zijn weergegeven in tabel 1.



Tabel 1 Gegevens stroomshunt

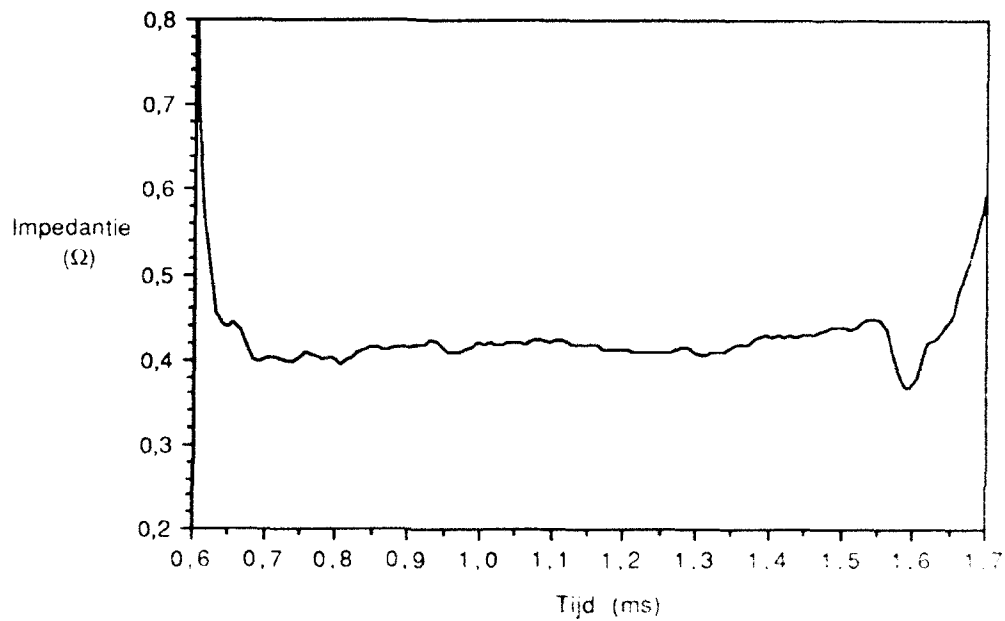
|                         |  |
|-------------------------|--|
| Merk                    | HILO TEST  |
| Type                    | ISM 1600   |
| Impuls belastbaarheid   | 150 kA (maximaal $5,6 \cdot 10^7$ A <sup>2</sup> /s) |
| Continu belastbaarheid  | 1600 A   |
| Weerstand (20°C)        | 0,025 mΩ ± 1%  |
| Temperatuurscoëfficiënt | $20 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$                  |
| Bandbreedte (-3dB)      | 2 MHz  |
| Aanstijgtijd            | 175 ns   |



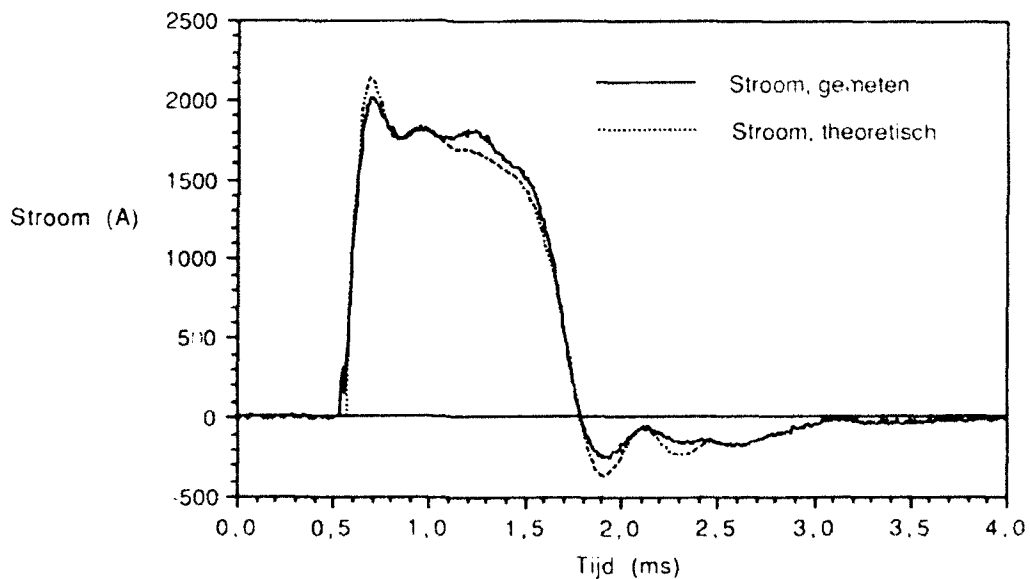
Figuur 22 Gemeten stroom door de flitsbuis

Figuur 22 laat het gemeten verloop van de stroom zien tijdens ontlading. Deze figuur toont tevens het stroomverloop volgens de berekeningen van hoofdstuk 3. De berekende waarde blijkt ongeveer 10% onder de gemeten waarde te liggen. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de flitsbuis een lagere impedantie heeft dan de door de fabrikant opgegeven waarde ( $0,58 \Omega \pm 10\%$ ). Bij de berekeningen is uitgegaan van deze impedantie. Figuur 23 toont de werkelijke impedantie tijdens het ontsteken van de flitsbuis. De meetwaarden in deze grafiek zijn verkregen door de spanning over de

buis (figuur 20) te delen door de stroom door de buis (figuur 22). Gedurende de flitstijd blijkt de impedantie ongeveer  $0,41 \Omega$  te zijn. Wanneer deze buisimpedantie in de berekeningen van hoofdstuk 3 wordt ingevoerd levert dit een stroomverloop zoals afgebeeld in figuur 24.

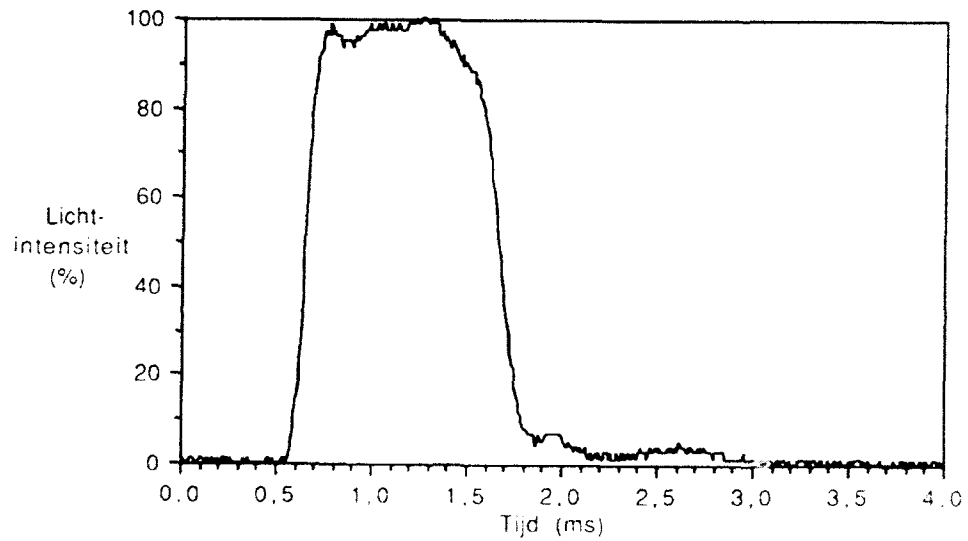


Figuur 23 Impedantie van de flitsbuis



Figuur 24 Stroom door een flitsbuis met impedantie van  $0,41 \Omega$

De lichtintensiteit is gemeten met behulp van een fotodiode. Figuur 25 laat zien dat de pulsduur ongeveer 1 ms bedraagt overeenkomstig de in de inleiding geformuleerde eis.



Figuur 25 Lichtintensiteit

7 ONDERTEKENING

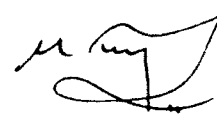


W. Karthaus  
(Projectleider)



M. Koops  
(Auteur)

b.a.



T. Huijser  
(Auteur)

---

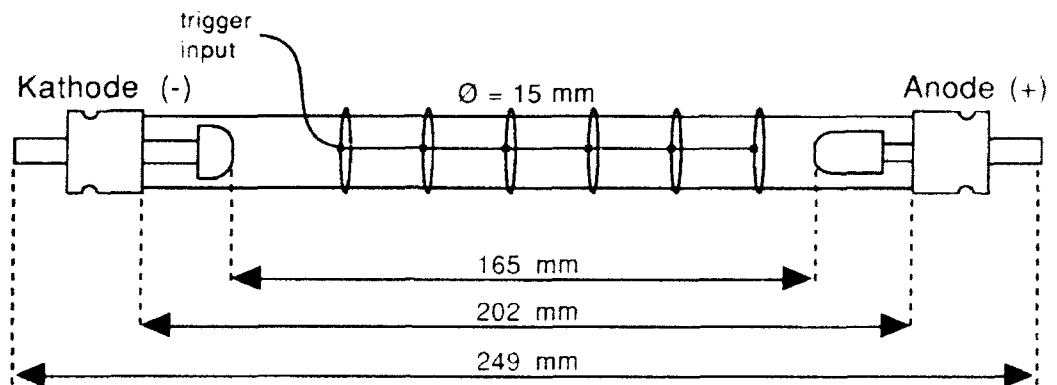
## 8 REFERENTIES

- 1 Dethlefsen, R. and Holland, M., "2 MJ, 22 KV pulser to drive an electrothermal gun", 4th Symposium on Electromagnetic Launch Technology, April 1988, Austin, Texas.
- 2 Shinnars, S.M., "Modern control systems theory and application", 2nd ed. Addison Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts.
- 3 Früngel, F.B.A., "High speed pulse technology, Volume IV: sparks and laser pulses", hoofdstuk 4, Academic Press, 1980.
- 4 Data-sheet F1002D-4 : Linear Xenon Flashtubes Quartz Envelope, EG&G Electro-optics.
- 5 Olderen, A.S.J. van, "Xenon flitbuizen als lichtbron voor het filmen van ultra snelle verschijnselen", TNO-rapport PML 1983-IM33.
- 6 Olderen, A.S.J. van, "Xenon flashtubes as a special light source for ultra-high speed photography", 35th Meeting ARA, 1984 Sept. Meppen, FRG.
- 7 Cordin catalogus 1989
- 8 Handleiding Cordin Model 170 Image Converter Camera, Doc. Nr. MK0004/90
- 9 Handleiding Cordin Model 1745 Framing Plug-in, Doc. Nr. MK0002/90
- 10 Handleiding Cordin Model 1764 High Speed Streak Plug-in, Doc. Nr. MK0001/90
- 11 Grover, F.W., "Inductance Calculations, Working Formulas and Tables", Dover Publications Inc., New York, 1946.
- 12 Operation Manual No. B-4542 "TM-11A Trigger Module", 10 April 1986, EG&G Electro-optics, Doc. Nr. MK0005/90.

## 9 GEBRUIKTE SYMBOLEN

|                  |   |                    |
|------------------|---|--------------------|
| a                | gemiddelde straal Brooks spoel                | [m]                |
| A                | oppervlakte doorsnede flitsbuis               | [cm <sup>2</sup> ] |
| b                | binnendiameter Brooks spoel                   | [m]                |
| C                | capaciteit                                    | [F]                |
| C                | capaciteitsgradiënt transmissielijn           | [F/m]              |
| d                | diameter van de flitsbuis                     | [cm]               |
| d <sub>1</sub>   | diameter draadkern                            | [m]                |
| d <sub>2</sub>   | diameter draadisolatie                        | [m]                |
| E                | energie                                       | [J]                |
| E <sub>exp</sub> | explosie energie flitsbuis                    | [J]                |
| I                | stroomsterkte                                 | [A]                |
| l                | booglengte vonk                               | [inches]           |
| L                | inductantie                                   | [μH]               |
| L'               | inductantiegradiënt transmissielijn           | [H/m]              |
| λ                | correctiefactor voor isolatiedikte Brookspoel | [—]                |
| r                | reflectiecoëfficiënt                          | [—]                |
| R                | weerstand                                     | [Ω]                |
| ρ                | resistiviteit                                 | [Ω.cm]             |
| ρ <sub>f</sub>   | resistiviteit gasvulling flitsbuis            | [Ω.cm]             |
| τ                | pulsduur                                      | [s]                |
| N                | aantal windingen                              | [—]                |
| O                | oppervlakte draaddoorsnede                    | [m <sup>2</sup> ]  |
| p                | steek van de windingen van de Brooks spoel    | [m]                |
| P                | elektrisch vermogen                           | [J.s]              |
| P <sub>0</sub>   | ingekoppelde elektrisch vermogen energiebron  | [J.s]              |
| V                | spanning                                      | [V]                |
| ω                | hoekfrequentie                                | [s <sup>-1</sup> ] |
| Z <sub>k</sub>   | karakteristieke impedantie transmissielijn    | [Ω]                |
| Z <sub>f</sub>   | impedantie flitsbuis                          | [Ω]                |

## BIJLAGE A DATA FLITSBUIS



|   |                   |
|---|-------------------|
| <i>Tube description</i>                 | <i>FX-47C-6.5</i> |
| Quartz Envelope (ID x OD mm)            | 13 x 15           |
| Arc Length (inches/mm)                  | 6.5/165           |
| <i>Electrical characteristics</i>       |                   |
| Minimum Starting Voltage V (kV dc)      | 1                 |
| Minimum Trigger Voltage $V_T$ (kV)      | 25                |
| At $t = 100\mu\text{s}$ Flash duration  |                   |
| Maximum energy input (J)*               | 1865              |
| Tube impedance                          | 0.19              |
| At $t = 1000\mu\text{s}$ Flash duration |                   |
| Maximum energy input (J)*               | 5500              |
| Tube impedance                          | 0.25              |

Figuur A1 Relevante data EG&amp;G Xenon Quartz Envelope Linear Flashtube [4]

\* Energy rating based on 70% of explosion,  $E = \frac{C}{2} V^2$

BIJLAGE B DATA IMAGE CONVERTER CAMERA

Relevante data Cordin Image Converter Camera [8,9,10].

*Frame plug-in*

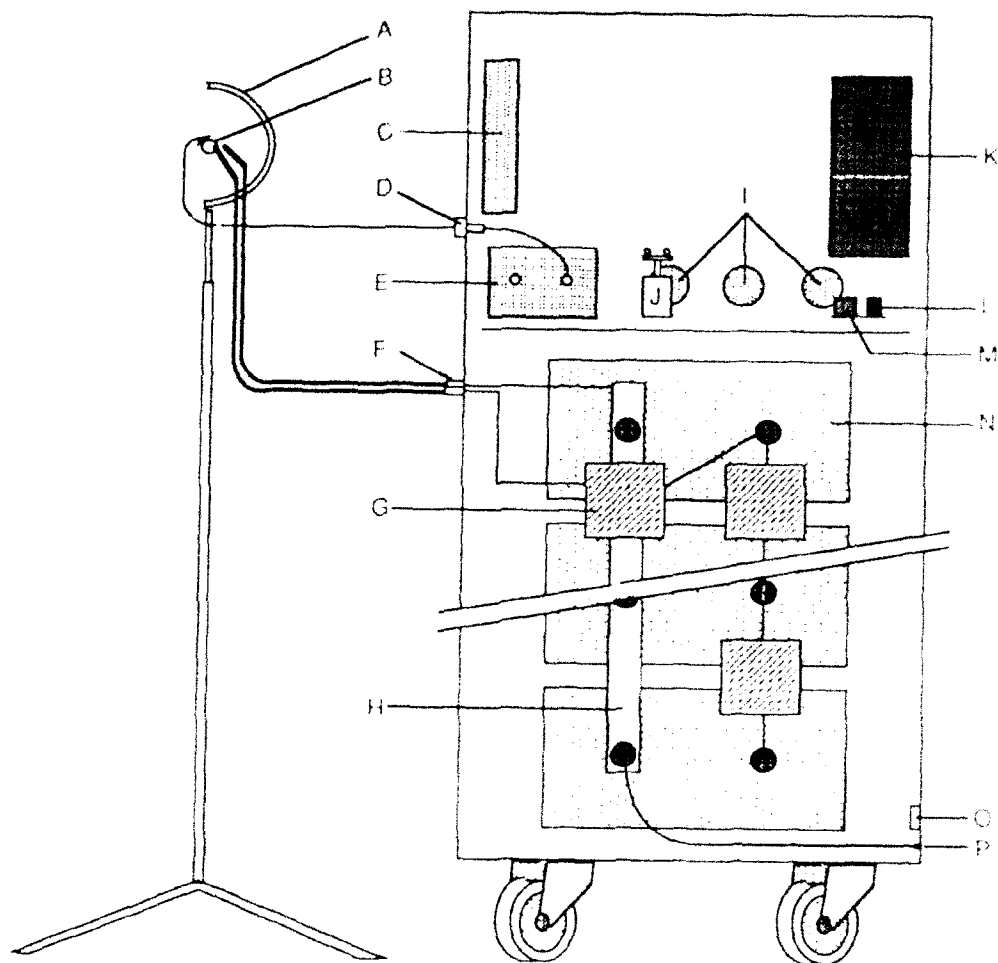
Exposure times : 50, 100, 200, 500 ns  
Interframe times : 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50  $\mu$ s, ext.  
frame size : 11 x 25 mm  
Trigger Level : TTL  
Spacial Resolution : 8 lp/mm

*Streak plug-in*

Streak writing rates : 100, 50, 25, 10, 5 mm/ $\mu$ s  
Streak Duration : 0.5, 1, 2, 5, 10  $\mu$ s  
streak size : 25 x 50 mm  
Trigger Level : TTL  
Time Resolution : 0.5 ns at shortest streak time



## BIJLAGE C INDELING FLITSEENHEID



- |   |                                    |   |                             |
|---|------------------------------------|---|-----------------------------|
| A | Reflector                          | I | Dumpweerstand (3 x 1 kΩ)    |
| B | Flitsbuis                          | J | HV Relais 2                 |
| C | Pre-trigger en triggerschakeling   | K | Hoogspanningsvoeding        |
| D | Doorvoer 30 kV triggersignaal      | L | HV Relais 1                 |
| E | Triggerunit TM - 11 A              | M | Voeding voor HV enable      |
| F | Doorvoeren aansluitingen flitsbuis | N | Condensator 145 µF / 6,5 kV |
| G | Inductor 50 µH                     | O | Interlock                   |
| H | Koperen buswerk                    | P | Aansluiting randaarde       |

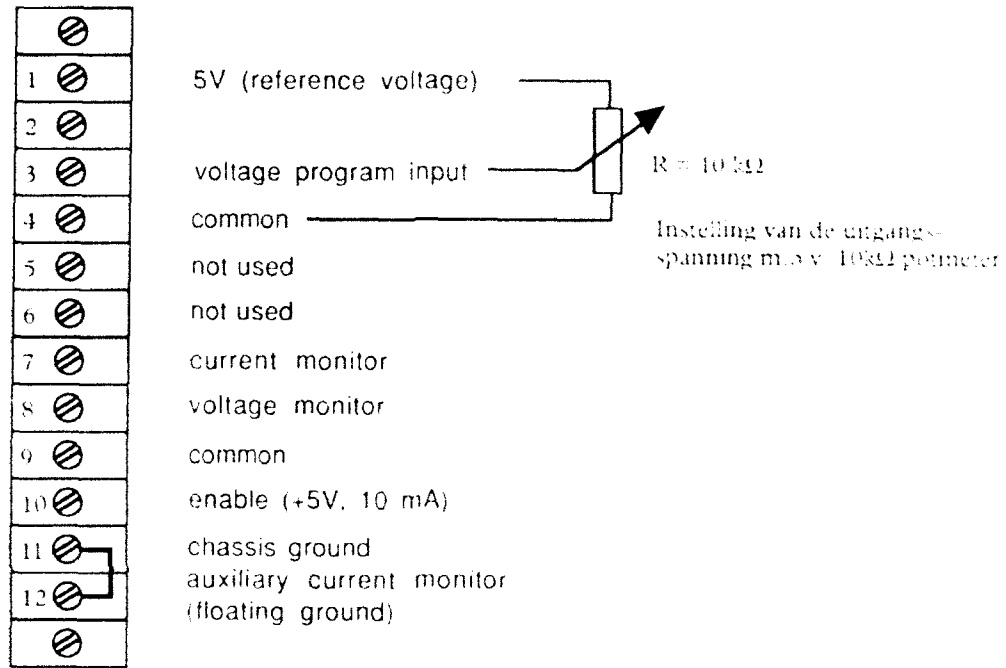
## BIJLAGE D GEBRUIKTE ONDERDELEN

## HIGH VOLTAGE POWER SUPPLY

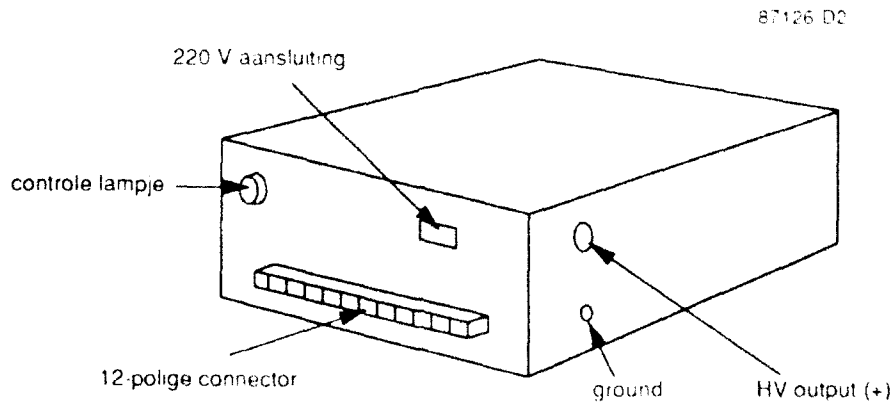
|                         |   |
|-------------------------|---|
| Model                   | MR3 - 15P/220   |
| Fabrikant               | Gamma High Voltage Research inc.<br>1096 NO. US HIGHWAY, Ormond Beach |
| Leverancier             | COIMEX TECH TRADING<br>Postbus 19, 8050 AA Hattem                     |
| Specificaties:          |   |
| Uitgangsspanning        | 0 - 3 kV  |
| Uitgangsstroom          | max. 15 mA  |
| Nauwkeurigheid          | < 0,01 %  |
| Rimpel                  | < 0,05 %  |
| Stabiliteit             | 0,05 %  |
| Temperatuur coëfficiënt | 100 PPM°C   |
| Voedingsspanning        | 220 V, AC   |

De positieve uitgang is met een RG 8U connector aangesloten. De negatieve uitgang is met het chassis verbonden. De power supply wordt bestuurd via een twaalf polige connector (figuur D1).

De "current monitor" (uitgang 7) levert een spanning die evenredig is met de uitgangsstroom. Een spanning van +5 volt komt overeen met een laadstroom 15 mA. De "voltage monitor" (uitgang 8) levert een spanning die evenredig is met de uitgangs(hoog)spanning. Een spanning van +5 volt komt overeen met 3 kV. Een "enable" spanning van 5 volt, 10 mA is vereist om de hoogspanningsvoeding te activeren.



Figuur D1 Connector ter besturing van de hoogspanningsvoeding



Figuur D2 Aansluitingen van de hoogspanningsvoeding, model MR3 - 15P/220

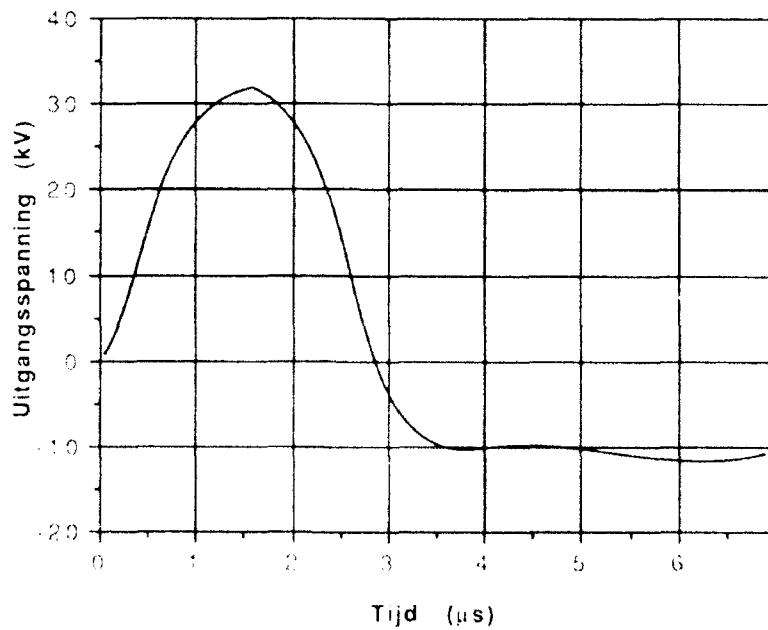
## HIGH VOLTAGE TRIGGER UNIT

Model TM - 11 A  
Fabrikant EG&G Electro Optics  
135 Congress street, Salem  
Leverancier OPTILAS B.V.  
Postbus 222 2400 AE Alphen a/d Rijn

## Specificaties :

Uitgangsspanning 15 - 30 kV, instelbaar mbv. 50 k $\Omega$  potmeter  
Pulsduur ca. 3  $\mu$ s  
Trigger input +2,5 Volt, min.  
Impedantie trigger input 1 k $\Omega$   
Voedingsspanning 220 V, AC

Het verloop van de uitgangsspanning is afgebeeld in figuur D3.



Figuur D3 Pulsvorm van de uitgangsspanning van de TM-11A triggerunit

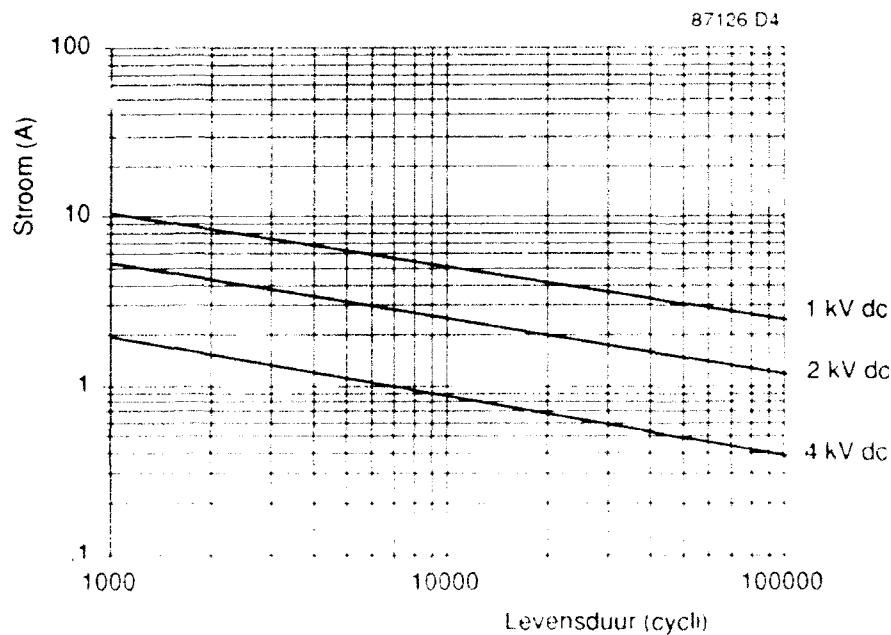
Overige informatie is te vinden in de "Operation manual" [12] van de TM-11A.

## HV RELAIS 1

Model K 81 A  
 Fabrikant Kilovac, Santa Barbara  
 Leverancier Nijkerk Elektronika B.V.  
 Drentestraat 7 1083 HK Amsterdam

## Specificaties :

Type contacten normaal geopend  
 Spanning max. 8 kV  
 Stroom max. 10 A, continu



Figuur D4 Levensduur van HV Relais 1 voor verschillende schakelspanningen en -stromen

Spoelweerstand 70  $\Omega$   
 Spoelspanning (Vdc) 12 V, nominaal  
 8 V inschakelspanning  
 .5 - 5 V uitschakelspanning  
 Inschakeltijd max. 10 ms  
 Uitschakeltijd max. 10 ms  
 Levensduur afhankelijk van geschakelde spanning en stroom, zie figuur D4

## HV RELAIS 2

Model E15-NC-15-1-3  
Fabrikant ROSS engineering corp.  
540 Westchester drive, Cambell  
Leverancier COIMEX TECH TRADING  
Postbus 19, 8050 AA Hattem

## Specificaties :

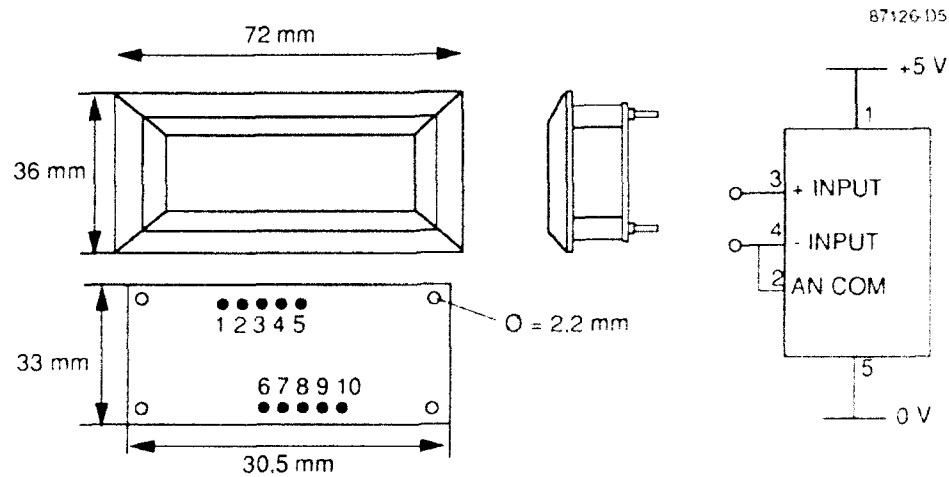
Type contacten normaal gesloten  
Spanning max. 15 kV  
Stroom max. 125 A, continu  
Schakelstroom 1 A, 15 kV  
Contactweerstand max. 0,8 m $\Omega$   
Spoelspanning 220V, 50Hz  
Inschakeltijd 20 ms  
Uitschakeltijd 50 - 90 ms

## PANEELMETERS

Model DPM 40  
Fabrikant LASCAR Electronics Limited,  
Whiteparish, Salisbury, Wiltshire  
Leverancier Display Elektronika  
Coloradodreef 18 3565 BT Utrecht

## Specificaties :

Nauwkeurigheid 0,05 - 0,1 %  
Lineariteit +/- 1 count  
Sample frequentie 3 s<sup>-1</sup>  
Temp. stabiliteit 150 ppm/ $^{\circ}$ C  
Bedrijfstemperatuur 0 - 50  $^{\circ}$ C  
Voedingsspanning 5 - 5,5 V dc  
Voedingsstroom 100 - 200 mA  
Ingangsspanning max. +/- 20 V



Figuur D5 Aansluitingen van de paneelmeeters

|   |                          |    |        |
|---|--------------------------|----|--------|
| 1 | +5 Volt voedingsspanning | 6  | DP1    |
| 2 | AN COM                   | 7  | DP2    |
| 3 | IN HI                    | 8  | DP3    |
| 4 | IN LO                    | 9  | CLOCK  |
| 5 | 0 Volt                   | 10 | DP COM |

#### ONTLADINGSWEERSTANDEN

|                      |   |
|----------------------|---|
| Model                | 1000 $\Omega$   |
| Fabrikant            | Stackpole Corporation (Carbon Division)<br>St. Marys, PA 15857  |
| Leverancier          | COLMEX TECH TRADING<br>Postbus 19, 8050 AA Hattem   |
| Specificaties :      |   |
| Lengte               | 330 mm  |
| Diameter             | 40 mm   |
| Dissipatie           | max. 0,75 Watt/cm <sup>3</sup> continu<br>max. $2,4 \times 10^6$ Watt/s/cm <sup>3</sup> bij ontlading |
| Spanning             | max. 4 kV/cm  |
| Temp. stabiliteit    | - 130 PPM/°C  |
| Bedrijfstemperatuur  | max. 250 °C   |
| Spanningscoëfficiënt | max. 0,003%/°C  |

## CONDENSATOREN

|                 |   |
|-----------------|---|
| Model           | 6N7306  |
| Fabrikant       | CSI Capacitors<br>810 Rancheros Drive, San Marcos |
| Leverancier     | COIMEX TECH TRADING<br>Postbus 19, 8050 AA Hattem |
| Specificaties : |   |
| Capaciteit      | 145 $\mu$ F                                       |
| Spanning        | max. 6,5 kV                                       |
| Energie         | 3060 Joules                                       |



TNO-rapport

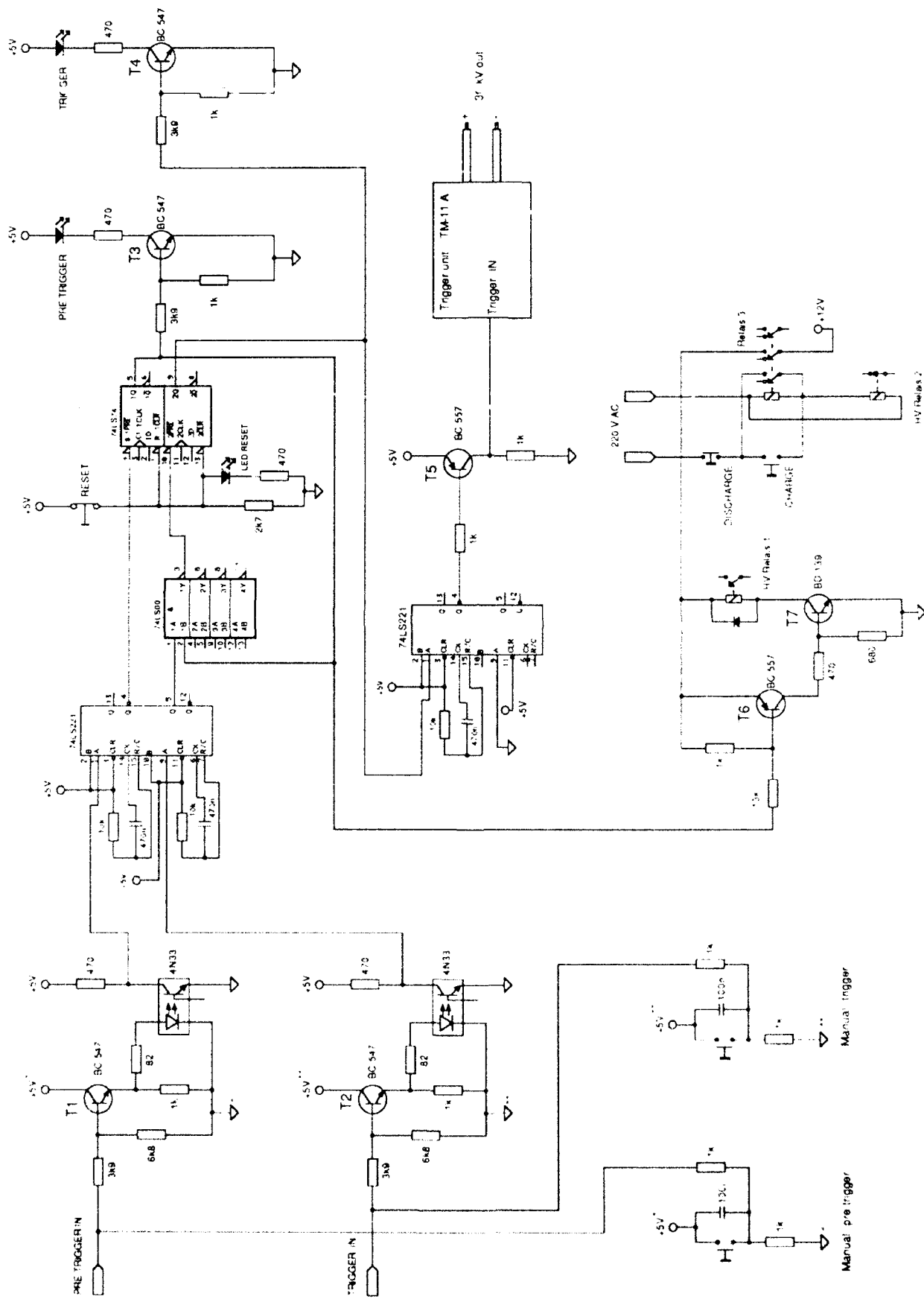
PMI. 282487126

BIJLAGE E

Pagina

1

BIJLAGE E ELEKTRONISCH SCHEMA FLITSEENHEID



# REPORT DOCUMENTATION PAGE

(MOD NL)

|   |  |  |
|---|--|--|
| 1. DEFENSE REPORT NUMBER (MOD-NL)<br>TD92-1511  | 2. RECIPIENT'S ACCESSION NUMBER                        | 3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER<br>PML1992-91     |
| 4. PROJECT/TASK/WORKUNIT NO.<br>282487126   | 5. CONTRACT NUMBER<br>A87/K/046                        | 6. REPORT DATE<br>September 1992                           |
| 7. NUMBER OF PAGES<br>50  | 8. NUMBER OF REFERENCES<br>12                          | 9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED<br>Final               |
| 10. TITLE AND SUBTITLE<br>Flash unit for high-speed photography<br>(Flitseenheid voor ultra snelle fotografie)  |  |  |
| 11. AUTHOR(S)<br>M. Koops<br>T. Huijser   |  |  |
| 12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES)<br>TNO PML-Pulse Physics Laboratory<br>P.O. Box 45, 2280AA Rijswijk, The Netherlands<br>visiting address: Schoemakerstraat 97, 2628 VK Delft, The Netherlands   |  |  |
| 13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES)<br>DWOO, Plein 4, 2511 CR The Hague, The Netherlands.<br>DO-TNO, P.O. Box 6006, 2600 JA Delft, The Netherlands.<br>US Department of Defense, SDIO, The Pentagon, Washington D.C., USA   |  |  |
| 14. SUPPLEMENTARY NOTES   |  |  |
| 15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE))<br><p>This report treats the development of a high energy pulsed light source for the application of high-speed photography. The flash unit uses a Xenon flash tube and a pulsed energy source, consisting of a semi-transmission line.</p> <p>The flash unit supplies a square light pulse of 1 ms duration. The electrical energy delivered by the unit amounts to 4 kJ.</p> <p>The report is also meant to be the operation manual for the flash unit. Relevant technical data of the applied components is added in the form of supplements.</p> |  |  |
| 16. DESCRIPTORS<br>Flash Lights<br>High Speed Photography<br>Manuals  | IDENTIFIERS  |  |
| 17A. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT)<br>UNCLASSIFIED  | 17B. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE)<br>UNCLASSIFIED | 17C. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT)<br>UNCLASSIFIED |
| 18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT<br>Unlimited distribution   |  | 17D. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES)<br>UNCLASSIFIED   |

Distributielijst

- 1 DWOO
- 2 HWO-KL
- 3/4 HWO-KLu
- 5 HWO-KM
- 6 PHWO-KM
- 7 DMKLu/AWO/WO4 Elt Ir. J.M.A. v.d. Heuvel
- 8 DMKM/WCS/COSPON, Drs. W. Pelt
- 9/11 TDCK
- 12 Hoofddirecteur DO-TNO
- 13 Lid Instituuts Advies Raad PML  
Prof. drs. P.J. van den Berg
- 14 Lid Instituuts Advies Raad PML  
Prof. ir. M.A.W. Scheffelaar
- 15 Lid Instituuts Advies Raad PML  
Prof. ir. H. Wittenberg
- 16 PML-TNO, Directeur; daarna reserve
- 17 PML-TNO, Programmadirecteur; daarna reserve
- 18 PML-TNO, Secretaraat Divisie 3, Groep 3
- 19 PML-TNO, Documentatie
- 20 PML-TNO, Archief
- 21 PML-TNO Pulsfysica, Hoofd
- 22 PML-TNO Pulsfysica, Archief
- 23 PML-TNO Pulsfysica, Documentatie
- 24/26 PML-TNO Pulsfysica, Sectie EML
- 27 PML-TNO Pulsfysica, Sectie PPR