

Onderzoek naar bellenbestuiving door gepulste hoogspanning

Citation for published version (APA):

van der Heijden, T. A. H., & van Heesch, B. (1991). *Onderzoek naar bellenbestuiving door gepulste hoogspanning*. Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/05/1991

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

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

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

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Onderzoek naar:
Bellenverstuiving door
gepulste hoogspanning

door: T.A.H. van der Heijden
 EH.91.A.114 HBO

*De faculteit Elektrotechniek van de
Technische Universiteit Eindhoven
aanvaardt geen verantwoordelijkheid
voor de inhoud van stage- en
afstudeerverslagen.*

Afstudeerwerk verricht o.l.v.:

dr.ir. E.J.M. van Heesch (TUE)
ir. C.J. Damsteeg (HTS-Eindhoven)

ONDERZOEK NAAR ;
BELLENVERSTUIVING DOOR EEN GEPULSTE HOOGSPANNING

In opdracht van : Ir. C.J. Damsteeg (Afstudeermentor)
Dr. Ir. E.J.M. van Heesch (Bedrijfsmentor)

T.A.H. van der Heijden
Student HTS Eindhoven
Elektrotechniek
Eindhoven, 23 mei 1991

SAMENVATTING

Indien er een hoogspanning tussen twee elektroden wordt gezet, en er gas door een van beide wordt ingevoerd, zal verstuiwing van de gasbellen optreden. De verstuiwing werkt voor zowel gepulste spanning als gelijkspanning. Bij de faculteit Chemische technologie heeft men proeven gedaan met een gelijkspanning. Werken met een gelijkspanning brengt echter beperkingen met zich mee omdat vloeistoffen zoals water niet geschikt zijn voor een hoge gelijkspanning vanwege de elektrische geleiding en vanwege elektrolyse. Bij gepulste hoogspanning vindt snelle verstuiwing plaats gedurende de korte puls; tussen de pulsen is er geen geleiding. Bij het merendeel van de vloeistof-gas reacties wordt echter water gebruikt zodat met een gepulste spanning moest worden gewerkt.

Om toch alle bellen 'te raken' werd de puls met een hoge frequentie herhaald. Een vonkbrug als hoogspanningschakelaar voldoet niet meer vanwege de gewenste hoge herhalingsfrequentie; het probleem moest worden opgelost met een hoogspanningbuis. Om de elektronenbuis aan te sturen is een pulsbron gebouwd m.b.v. een GTO-thyristor. Door gebruikmaking van dit element konden zeer snelle pulsen worden gemaakt. Het aansturen kan gebeuren met een triggertrafo zodat een eenvoudige scheiding kan worden gemaakt tussen het hoog- en laagspanningsgedeelte.

Ook bleek de vorm van de elektrodes van belang. Bij de eerste opstelling is gebruik gemaakt van profielen (rogowsky) waardoor een homogeen veld ontstaat tussen de elektrodes. Dit had geen zichtbare invloed op de bellen. Wat voor invloed een gepulste hoogspanning op bellen kan hebben kwam pas naar voren toen gebruik werd gemaakt van een naald als elektrode. Er ontstaat door deze naald plaatselijk een zeer sterk veld. De bellen spatten onder invloed van dit veld uitelkaar. Door deze vergroting van het contactoppervlak tussen gas en vloeistof kunnen chemische reacties veel sneller verlopen.

Met behulp van een microscoop met pc-gekoppeld beeldverwerkingsysteem zijn bellen waargenomen van ongeveer 50 μm bij een pulsbreedte van 3 μs en een herhalingsfrequentie van 3 kHz. Het toegevoerde vermogen in deze situatie bedroeg ongeveer 20 W hetgeen overeenkomt met het opgenomen vermogen in het DC bellen experiment.

VOORWOORD

In de periode januari tot en met juni 1991 ben ik bezig geweest met mijn afstudeeropdracht bij de vakgroep EHO van de Technische Universiteit Eindhoven (TUE). In deze periode heb ik mij bezig gehouden met onderzoek naar het gedrag van bellenverstuiving in een vloeistof.

Met deze wil ik die medewerkers van de vakgroep EHO bedanken die mij geholpen hebben bij het afstuderen. Met name Bert van Heesch en Rob Lemmens.

De hoogspanningsgroep staat onder leiding van Prof. Dr. Ir. van der Laan. Verder werken binnen de vakgroep 13 vaste medewerkers, 2 promovendi en ongeveer 15 studenten. Binnen de vakgroep wordt onderzoek gedaan naar verschillende aspecten van de hoogspanningstechniek zoals :

- corona
- ontladingen in microgolfbuizen van satelieten
- partiële ontladingen
- EMC

Verder wordt onderzoek gedaan naar de meettechnieken die nodig zijn voor het registreren van snelle signalen en het meten in elektromagnetisch gestoorde ruimte. Dit onderzoek gebeurt soms in samenwerking met bedrijven en instellingen als : FOM, Holec, PNEM, KEMA, ESTEC en TNO. Zo wordt er momenteel onderzoek gedaan naar partiële ontladingen in hoogspanningsgeneratoren samen met de KEMA.

INHOUDSOPGAVE

	SAMENVATTING	2
	VOORWOORD	3
1	INLEIDING	5
2	DE PROEFOPSTELLING	6
2.1	De ontwikkeling van de proefopstelling	6,7,8
2.2	De elektronenbuis als schakelement	9,10
2.3	De GTO schakeling als triggerbron	11,12,13
3	HET METEN IN EEN HOOGSPANNINGSHAL	14
3.1	Het meten met hoge spanning	14
3.2	De differentierende integrerende meetmethode	15
3.3	Het meten in een elektromagnetische gestoorde ruimte	16
4	DE RESULTATEN	17
4.1	De gecompenseerde stroommeting	17,18,19
4.2	De optische meting	20,21,22
4.3	De elektrische meetresultaten	23,24
5	MOGELIJKE TOEPASSINGEN	25
6	CONCLUSIE	26
	Literatuurlijst	27
	Lijst van figuren	28
	Bijlage 1 t/m 4	

HFD 1 : INLEIDING

Tijdens mijn afstudeerperiode heb ik gewerkt aan het onderzoek naar : Verstuiving van gasbellen in een vloeistof door gebruik te maken van een gepulste hoogspanning. Binnen de vakgroep hoogspanningstechniek is kennis aanwezig met betrekking tot hoogspanningsverschijnselen in gassen, maar m.b.t. het gedrag in vloeistof was er geen lopend onderzoek. Het nu besproken onderzoek gebeurt in samenwerking met de faculteit Chemische Technologie en vindt plaats binnen het gepulste corona programma. In totaal 8 personen werken binnen dit programma.

Mijn opdracht was het bouwen van een hoogspanningspulsbron, de sturing ervan en het meten aan de elektrische verschijnselen bij de bellenverstuiving. Daartoe was van belang een proefopstelling te bouwen waaraan m.b.v. een optisch beeldsysteem het effect op de bellen wordt bekeken van de gepulste hoogspanning. Ook zijn verschillende elektrische diagnostieken ingebouwd, zoals voor het meten van :

- elektrische lading
- gepulste stroom en spanning

Bij de faculteit Chemische Technologie bestaat belangstelling voor het verschijnsel om scheikundige reacties sneller te laten verlopen. De grootte van de gasbellen in een vloeistof is een belangrijke parameter voor de snelheid van de reactie tussen het gas en de vloeistof. Het oppervlak wordt bij kleinere bellen groter, het reagerende oppervlak neemt dus ook toe. Er zal een verklaring moeten worden gezocht voor het gedrag, verstuiving en het opladen en ontladen van de gasbellen.

De proefopstelling is zo gebouwd dat zo weinig mogelijk moeilijkheden te verwachten zijn t.a.v. de hoogspanning. Vooral aan de overgang vloeistof lucht is aandacht aan besteed. Wanneer een opstelling wordt gebouwd moet vooral voorkomen worden dat sterke inhomogene velden ontstaan. Dit houdt concreet in dat er geen scherpe overgangen of punten in de opstelling mogen zitten. De doorslagspanning zou dan veel kleiner zijn. Ook kunnen er dan corona verschijnselen optreden in zowel lucht als water.

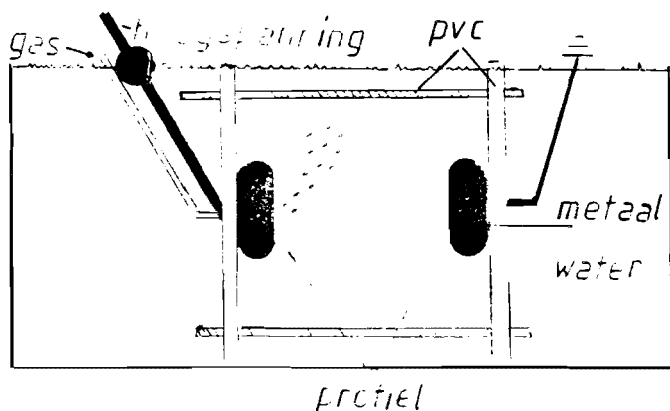
Hoe de opstelling is opgebouwd en hoe de afzonderlijke onderdelen werken is beschreven in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 staat beschreven wat van belang is bij het meten in de hoogspanningshal, en op welke manier gemeten kan worden. In hoofdstuk 4 zijn de resultaten gegeven die door meting zijn bepaald. De mogelijke toepassingen van het verschijnsel 'bellenverstuiving' zijn te vinden in hoofdstuk 5.

2 : DE PROEFOPSTELLING

Om in water tussen twee punten een hoge spanning te kunnen aanbrengen zonder dat er veel energie verloren gaat door geleiding en zonder dat er gelijktijdig electrolyse plaatsvindt, is een gepulste hoogspanning nodig. Water geleid stroom redelijk goed maar wanneer nu een zeer korte puls tussen de elektroden wordt aangeboden zal de capacatieve werking overheersen. De elektrische weerstand heeft minder invloed. De elektrodes met daartussen het water kan worden gezien als een parallel schakeling van een condensator en een weerstand. Bij de faculteit van scheikunde wordt bij slecht geleidende vloeistoffen een DC spanning gebruikt. Maar ook dan gaat er een gelijkstroom door de vloeistof lopen die deze verwarmt. Bij water is een gelijkspanning van 20 kV uitgesloten.

2.1 DE ONTWIKKELING VAN DE OPSTELLING

Als pulsbron werd een gelijkspanningsvoeding met als schakelaar een vonkbrug gebruikt. De eerste opstelling zag er uit als getekend in figuur 1.

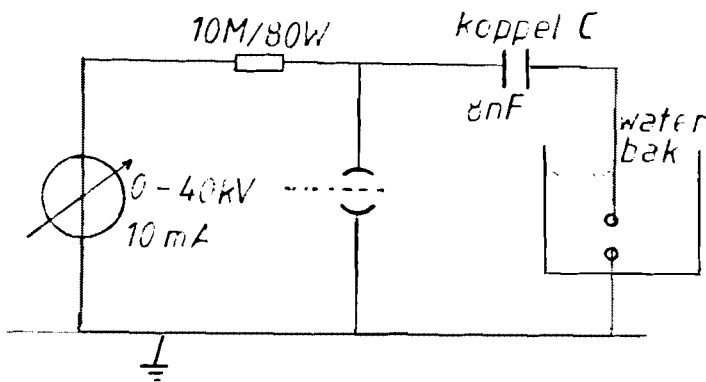


figuur 1 : de eerste proefopstelling

Een vonkbrug bestaat uit twee metalen bollen die je afhankelijk van de gewenste spanning op een afstand van elkaar af zet. In een een van de bollen zit een triggermechanisme dat bestaat uit een naald waar m.b.v. een trafo een hoge spanning op wordt gezet.

Hierdoor ontstaat een vonk tussen de naald en de bol waar de naald in zit. Door de vrijgekomen ladingsdragers zal ook doorslag plaatsvinden tussen de bollen. Tijdens meting bleek dat de maximale frequentie waarmee de bollenvonkbrug kan worden gebruikt te laag is (200 Hz). Er was wel een bellenverstuiving te zien maar uit de waarnemingen kon worden opgemerkt dat niet alle gasbellen werden geraakt met een spanningspuls.

De frequentie was dus duidelijk te laag, de bollen-vonkbrug voldeed dus niet als schakelelement. We zijn toen de Eimacbuis nr 4PR250C gaan gebruiken als schakelelement omdat deze makkelijk een veel grotere frequentie aan kan. Hoe deze buis werkt en hoe hij moet worden aangestuurd is verderop in het verslag te vinden in hoofdstuk 3. Het schema van de schakeling met de buis ziet er als volgt uit :

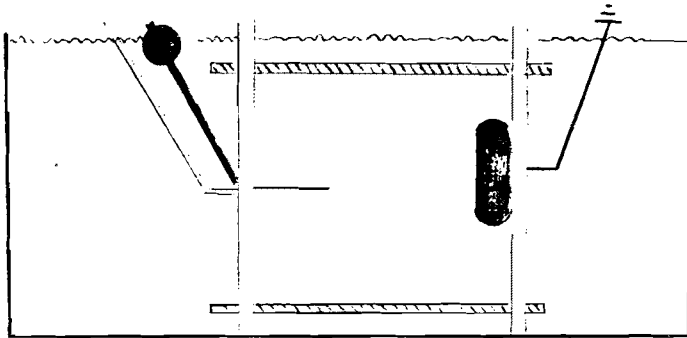


figuur 2 : de buisschakeling

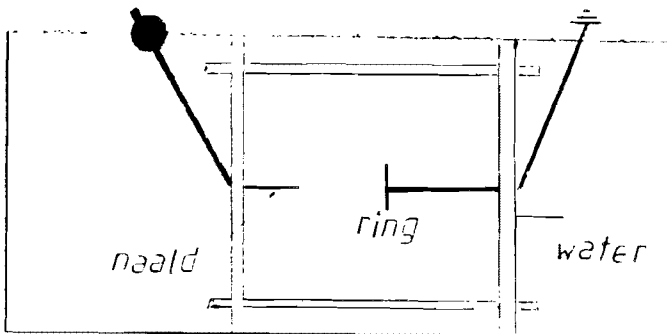
De werking is als volgt : De koppelcondensator wordt opgeladen door de weerstand van 10 Mohm tot b.v. een spanning van 20kV. Wanneer nu de buis wordt aangestuurd zal de anode plotseling met aarde worden verbonden. De spanning over de condensator kan niet springen zodat op de naaldelektrode een spanning komt te staan van -20kV. De condensator wil zich nu over de waterbak ontladen, maar omdat de aantijd van de buis relatief zeer klein is t.o.v. de uittijd kan worden gezegd dat bijna geen lading uit de koppelcondensator wegstroomt. De grootte van de koppelcondensator is zo gedimensioneerd dat ze veel groter is dan de capaciteit tussen naaldelektrode en ring (deze bedraagt ongeveer 200pF maximaal).

Hoe lager waarde van deze capaciteit is hoe beter omdat dan de volledige spanning over de elektroden valt en niet over de koppelcondensator. Om de waarde van deze capaciteit tussen de elektrode kleiner te maken is de hoeveelheid metaal dat in het water zit sterk verminderd.

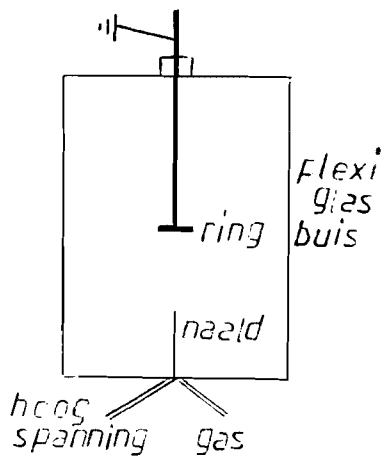
De verminderde hoeveelheid metaal heeft vooral ook een gunstige invloed op de geleidingsstroom door het water. Deze wordt hierdoor kleiner. Hieronder zijn de verbeterde opstellingen getekend in figuur 3 t/m 6.



figuur 3 : eerste verbeterde opstelling



figuur 4 : tweede verbeterde opstelling



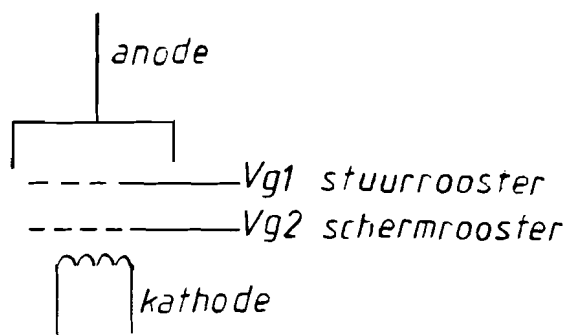
figuur 5 : derde verbeterde opstelling

2.2 DE ELEKTRONENBUIS ALS SCHAKELEMENT

De gebruikte buis is de Eimac 4PR250C, dit is een tetrode buis. Voordat met de bouw van de opstelling kon worden begonnen moest eerst de werking van deze buis worden bekeken, het is daarom ook een onderdeel van mijn werk geweest. Vandaar de nu volgende verklaring.

Om de tetrode te verklaren begin ik eerst iets te vertellen over de triode. Deze bestaat uit een kathode, anode (V_a) en een stuurrooster (V_g). De kathode bestaat uit een gloeidraad die zorgt voor de emissie van elektronen. Deze elektronen worden naar de anode toe getrokken, het stuurrooster zal door het aanbrengen van een negatieve spanning dit verhinderen. Door de spanning op het stuurrooster te veranderen kan de elektronenstroom worden tegengehouden of doorgelaten.

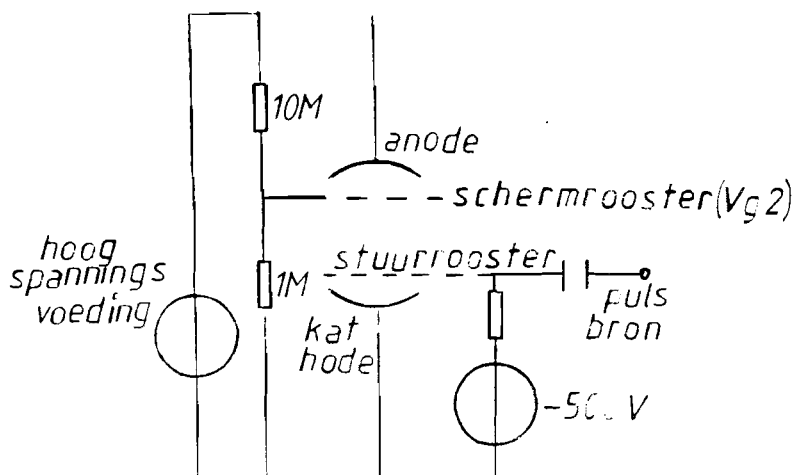
Om de werking van een buis weer te geven worden zgn. buiskarakteristieken gegeven. Een van deze karakteristieken is de I_a - V_g karakteristiek. zie bijlage 1. Hierbij geldt echter de voorwaarde dat V_a constant is. Dit is echter lang niet altijd het geval. Er zal immers door een variatie van de anode stroom een spanningsverandering optreden over de anode weerstand zodat V_a niet constant is. Dit effect de zgn. anode reactie kan grotendeels teniet gedaan worden door het aanbrengen van een tweede rooster, het schermrooster. We krijgen dan een tetrode en die ziet er schematisch uit zoals aangegeven in figuur 6.



figuur 6 : de tetrode-buis

Er is nu bereikt dat I_a grotendeels onafhankelijk is van V_a . De grootte van I_a wordt nu hoofdzakelijk bepaald door V_g . Het toevoegen van het schermrooster houdt echter een beperking in : V_a dient groter te zijn dan V_g .

Om de buis aan te sturen is het volgende schema gebruikt :

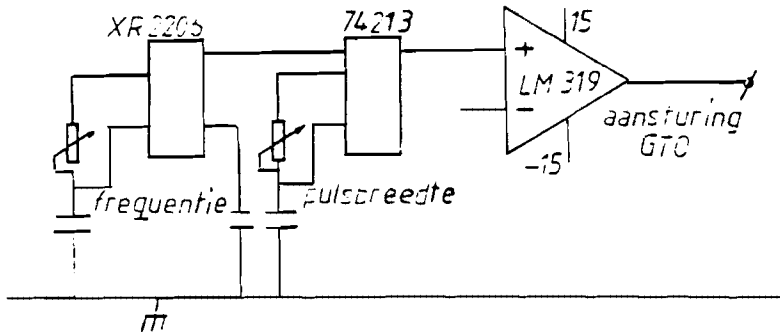


figuur 7 : aanstuurschakeling van de buis

Direkt van de hoogspanningsvoeding is een spanningsdeler gemaakt om het schermrooster (V_{g2}) aan te sturen. Het stuurrooster (V_{g1}) wordt door een negatieve hoogspanningsvoeding op -500 V gezet. Hierdoor zal de buis niet geleiden wanneer er niet wordt gepulst. De gloeidraad wordt gevoed met een aparte voeding van 5 V/20 A. Naar aarde toe is nog een meetweerstand van 10 ohm opgenomen om de stroom door de buis te kunnen bekijken.

2.3 DE GTO SCHAKELING ALS TRIGGERBRON

Om het stuurrooster van de elektronenbuis aan te sturen diende een pulsbron te worden gemaakt met een spanning van 500 V. Als eerste is geprobeerd dit op te lossen door gebruik te maken van transistoren. Dit leverde problemen op, voor lage spanning kan dit zonder veel problemen, maar bij een hoge spanning bestaat het aanbod van transistoren alleen uit het npn type. Het maken van een complementaire trap werd hierdoor onmogelijk. Een GTO-(gate turn off) thyristor bleek zeer geschikt om te gebruiken bij deze hoge spanning. Tevens behoeft niet continu het element te worden aangestuurd zoals bij een transistor, er is daardoor m.b.v. een triggertrafo een gemakkelijke scheiding te maken tussen het hoogspannings- en laagspanningsgedeelte. Zie figuur 8.

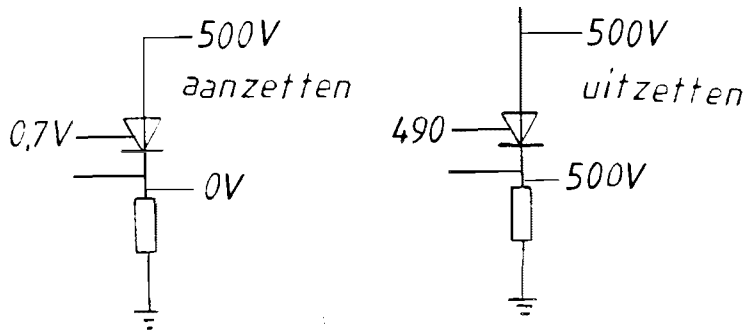


figuur 8 : schema van de pulsbron

De werking van het schema is als volgt.

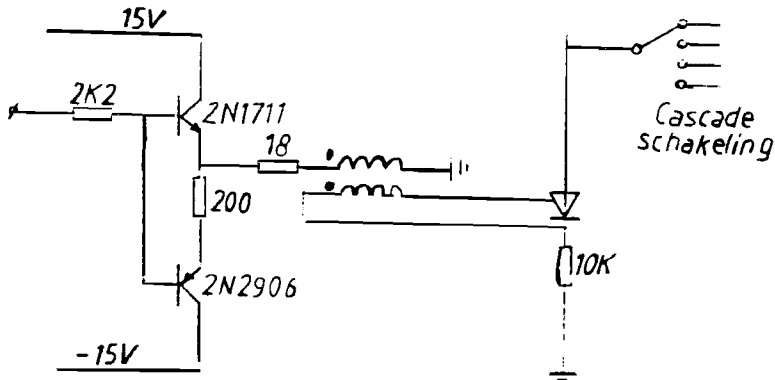
Om een stabiele blokvolggenerator te maken is gekozen voor het IC XR2206. Dit is een funktiegenerator; afhankelijk van externe componenten komt een sinus, blok of driehoekspanning op de uitgang te staan. De frequentie is tevens met externe componenten in te stellen. Om de pulsbreedte los van de frequentie af te kunnen regelen is vervolgens gebruik gemaakt van een non-retriggerable one-shot-IC. Dit IC is tevens met externe componenten (R en C's) de pulsbreedte in te stellen. Bij gebruik van deze componenten is een minimale pulsbreedte gerealiseerd van 0.5 μ s.

Na het one shot ic is nog een snelle opamp gezet om de puls tussen de -15 en 15 V te laten schakelen. Dit is nodig om het circuit van de GTO-thyristor correct te kunnen aansturen. Om het hoogspanningscircuit en de besturingsschakeling van elkaar te scheiden is gebruik gemaakt van een triggertrafo. Ook is dit gedaan om de spanning van de besturingsschakeling niet te laten zweven. Het laten zweven heeft invloed op de snelheid waarmee geschakeld kan worden, de print moet dan telkens opgeladen en ontladen worden. De kathode van de GTO schakelt tussen de 0 en 500 V. Om de GTO aan te sturen zou dus ook de hele besturingsprint moeten volgen indien er niet een trafo wordt gebruikt. Het probleem is hieronder met een plaatje verduidelijkt.



figuur 9 : waarom een triggertrafo wordt gebruikt.

De schakeling voor het aansturen van de GTO ziet er uit als volgt :

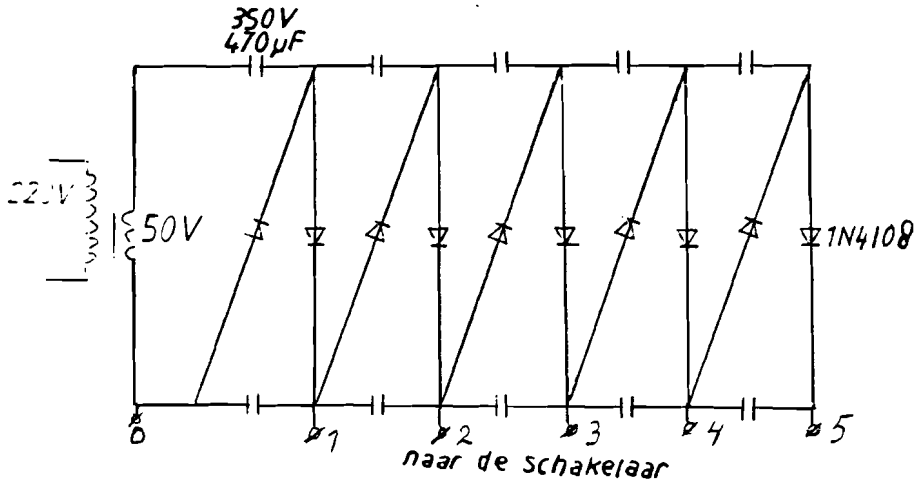


figuur 10 : aanstuurschakeling voor de GTO

Met behulp van twee transistoren, een npn en een pnp type wordt een stroom door de triggertrafo gestuurd. Hierdoor ontstaat aan de secundaire zijde een pulsspanning. Om de GTO-thyristor aan te zetten is een stroom nodig van 200 mA. Bij het uitzetten moet minimaal een spanning van 10 V worden aangeboden tussen kathode en gate.

Om het stuurrooster van de elektronenbuis met instelbare hoge pulsspanningen aan te sturen heb ik gebruik gemaakt van een cascadeschakeling. Met behulp van een meerstanden schakelaar is op een eenvoudige wijze de roosterspanning in te stellen.

De cascadeschakeling is hieronder getekend.



figuur 11 : de cascade schakeling

De uitgangspuls van de gebouwde triggerbron kan nu op spanningen worden ingesteld tussen de 100 V en 500 V. De pulsbreedte kan worden gevarieerd tussen de 3 µs en 30 µs. De frequentie kan worden ingesteld tussen de 50 Hz en de 3 kHz. Hiermee is een triggerbron gebouwd waarvan de parameters in een breed gebied kunnen worden ingesteld.

3 HET METEN IN EEN HOOGSPANNINGSHAL

Om in een hoogspanningshal te meten worden speciale regels gesteld om dit veilig te doen. Ook moet extra aandacht worden besteedt aan het ontstoren van de meetkabels en het beschermen van de apparatuur tegen deze storingen. Voor het meten van snelle pulsen zijn bijzondere meetmethoden nodig.

3.1 HET METEN MET EEN HOGE SPANNING

Tijdens mijn afstudeerperiode heb ik vaak in de hoogspanningshal gewerkt. In deze hal gelden bepaalde voorschriften om te mogen werken met deze hoge spanningen. Onder hoge spanningen worden overeenkomstig NEN 1010 verstaan spanningen hoger dan 500 V. Onder gevaarlijk lage spanningen wordt verstaan spanningen lager dan 500 V maar hoger dan 42 V. Voordat men binnen de vakgroep EHO gaat werken wordt je bekend gemaakt met de veiligheidsvoorschriften binnen de vakgroep. In de eerste plaats dienen deze voorschriften ter bescherming van personen. Daarnaast wordt het voorkomen van beschadiging van veelal kostbare apparaten beoogd.

De algemene voorschriften en regels geven aan welke handelwijze gevolgd moet worden door personen die in het laboratorium gaan werken.

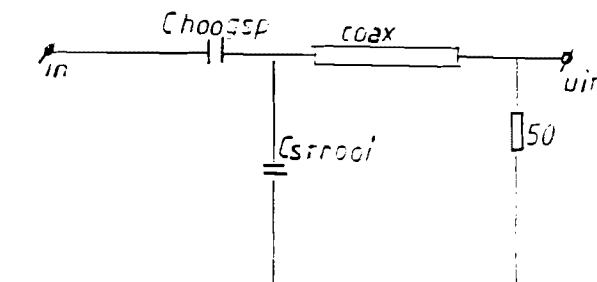
Iedere student moet zijn werkzaamheden verrichten onder verantwoordelijkheid van een lid van de wetenschappelijke staf.

Voor de technische uitvoering wordt hij bijgestaan door een onderwijsassistent. De onderwijsassistent houdt tevens toezicht op de wijze waarop het werk wordt verricht en de zorgvuldigheid waarmee apparaten en materialen worden behandeld.

De opsomming van de belangrijkste regels is te vinden in bijlage 2.

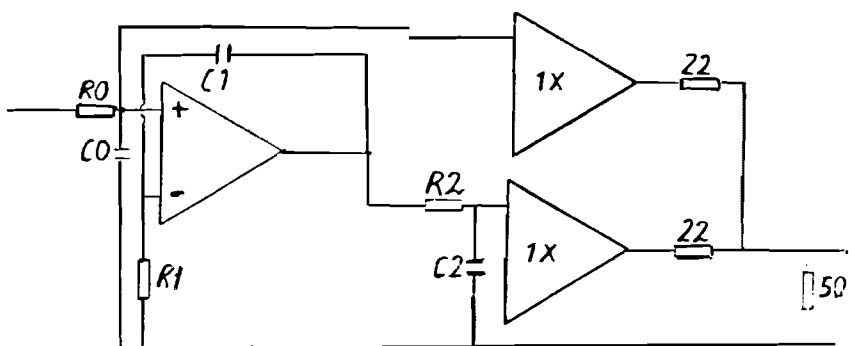
3.2 DE DIFFERENTIERENDE INTEGRERENDE MEETMETHODE

Om een gepulste hoge spanning goed te kunnen meten wordt gebruikt gemaakt van deze differentierende/integrerende meetmethode om zeer steile pulsen toch correct te meten. De sensoren voor het D/I systeem zijn differentierend; een spanningssensor is een capacitieve elektrode naar de hoogspanning die is aangesloten op een karakteristiek afgesloten coaxiale meetkabel. Binnen de bandbreedte van de sensor krijgen we zo $V = RC \frac{d}{dt}$ (Vhoogspanning).



figuur 12 : de capacitieve opnemer

Om het oorspronkelijke signaal weer terug te krijgen moet het worden geïntegreerd. Dit gebeurt met een actieve en passieve integrator in serie. Het schema is hieronder getekend.



figuur 13 : schema van de integrator

$$\tau_0 = R_0 * C_0$$

$$\tau_1 = R_1 * C_1$$

$$\tau_2 = R_2 * C_2$$

De verdere berekeningen aan deze integrator staan in bijlage 4.

3.3 HET METEN IN EEN ELEKTROMAGNETISCH GESTOORDE RUIMTE

Om te kunnen meten in ruimten met sterk elektromagnetische storingen is de afscherming van je meetdraden en beveiliging van je meetapparatuur een vereiste. Deze bescherming is tijdens mijn afstuderen een belangrijk onderdeel geweest omdat bij het bouwen van de proefopstelling rekening moest worden gehouden met deze EMC aspecten. Elektromagnetische velden kunnen storingen veroorzaken in meetsystemen. Afhankelijk van de grootte van het meetsignaal kan de storing het meetsignaal vervormen of totaal onherkenbaar maken.

Op veel plaatsen worden volledig gesloten omkastingen gebruikt ter bescherming tegen de elektromagnetische storingen. Door een goede benaderingswijze van de storingsoorzaak kan volstaan worden met een aan één zijde open omkasting. Alle kabels van en naar de in de omkasting opgestelde apparatuur moeten dicht bij elkaar via een goed geleidend paneel in de achterzijde aangesloten worden. De ommanteling van de coax-kabels moeten rondom op dit paneel aangesloten worden.

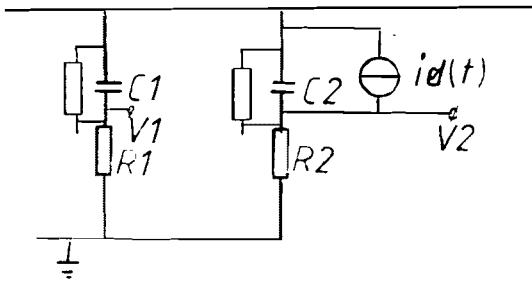
De voedende netspanning moet via een netfilter buiten op dit paneel ingevoerd worden.

Het netfilter bestaat uit een LC-kring die een laagdoorlaatkarakteristiek heeft (50/60 Hz). Voor hoge frequenties moet het filter sperren. Zie bijlage 3. Door op deze manier te werk te gaan worden de door de magnetische velden opgewekte stoorstromen buiten de meetkast gehouden (aardlussen zijn daarbij soms zeer nuttig). Het D/I systeem zorgt voor onderdrukking van de door deze stromen ingekoppelde storing op de meetkabels.

4 DE RESULTATEN

4.1 DE GECOMPENSEERDE STROOMMETING

Om het ontladingsgedrag van de bellen te kunnen bestuderen is een proefopstelling opgezet om dit te bekijken. Om iets te kunnen meten moest een opstelling worden gemaakt waarbij de elektrische weerstand en capaciteit tussen de twee elektroden 2 keer hetzelfde is. Dit kan door twee dezelfde naalden in een vat te plaatsen, waarbij we één naald gebruiken om het gas in te voeren. Naar aarde toe wordt voor beide naalden een weerstand gezet. Er ontstaat nu het volgende schema.



figuur 14 : principe schema van de gecompenseerde stroommeting

Het ladingstransport kan nu worden voorgesteld door een stroombron parralel aan C2. Er kan nu worden gesteld dat :

$$V1 = i * R1 + R1C1 \frac{dU}{dt}$$

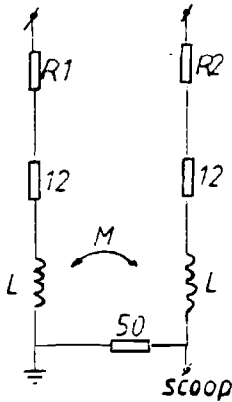
$$V2 = i * R2 + R2C2 \frac{dU}{dt} + id(t) * R$$

$$id(t) = \text{de ontladingsstroom}$$

Met behulp van een aftrekschakeling kan nu de term $id(t) * R$ eruit gehaald worden. Het is niet mogelijk de verschilspanning rechtstreeks op de oscilloscoop af te lezen omdat dan één van de twee meetpunten (V1, V2) met aarde moet worden doorverbonden. Op de beschikbare oscilloscoop zit wel een verschilingang maar deze wordt door EMC problemen niet gebruikt. De beste methode om dit probleem op te lossen is gebruik te maken van een zogenaamde balun (balanced unbalanced). Deze balun maakt gebruik van een spoel vanwege de hoogfrequent eigenschappen. Een coax wordt hiervoor tot een spoel opgewikkeld, voor de common mode stroom zal deze spoel een grote zelfinductie zijn, voor de differential mode stroom een kleine. Deze spoel kan nu wel worden afgesloten en met één kant aan aarde worden verbonden. Dit kan alleen met signalen met een frequentie hoger dan 100 Hz. De term $id(t) * R$ kan nu rechtstreeks worden bekeken over de weerstand van 50 ohm, waarmee de coax moet worden afgesloten. Wanneer nu de bellen elektrische lading transporteren kunnen we dit op de oscilloscoop bekijken

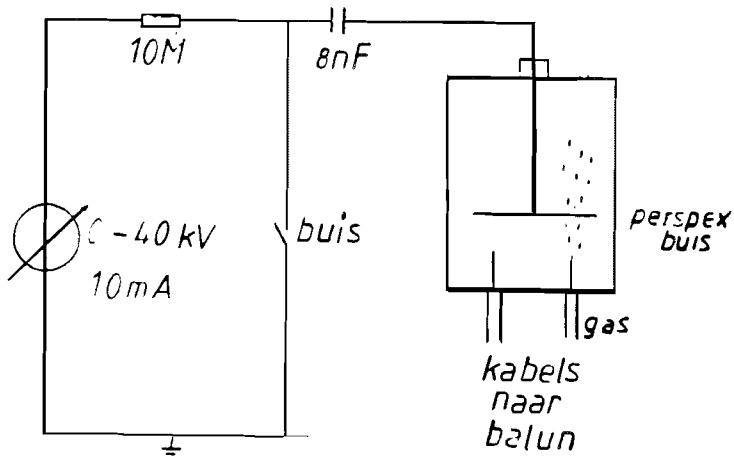
Er kan dan een goede inschatting kunnen worden gemaakt wat de oppervlaktevergrotenende werking is van de gepulste hoogspanning.

Bij deze meting wordt gebruik gemaakt van een balun. De schakeling daarvan is hieronder getekend.



figuur 15 : de balun schakeling

De proefopstelling zag er uit als volgt :



figuur 16 : de proefopstelling

Tijdens de eerste meting hieraan is komen vast te staan dat wel degelijk een ladingstransport plaatsvindt. Wanneer het gas wordt uitgezet waren dit meerdere slingeringen, als het gas stroomde was dit één slingering met een zeer grote amplitude. Het doel van de gecompenseerde stroommeting is het bekijken of met deze methode het mogelijk is het aantal bellen te kunnen registreren. Het debiet zou m.b.v van een debietregelaar kunnen worden ingesteld Wanneer nu het aantal bellen bekend zou zijn zou de gemiddelde grootte berekend kunnen worden.

4.2 DE OPTISCHE METING

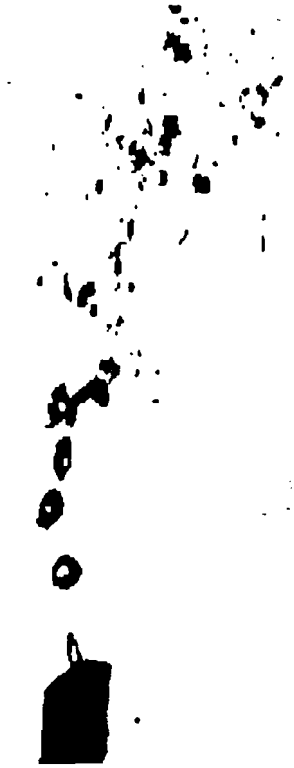
Om de meetgegevens op te slaan en objectief de belgrootte en het aantal bellen te bepalen is gebruik gemaakt van een beeldverwerkingsysteem. Van de bellen wordt m.b.v. een camera een plaatje gemaakt. De camera zendt dit plaatje vervolgens via een digitale uitgang naar de computer. Het is ook mogelijk de beelden op diskettes op te slaan.

Van de bereikte verbeteringen zijn hieronder enkele beelden opgenomen. Het eerste plaatje is opgenomen toen de spanning nog uit stond. Onder op het plaatje is de naald te zien, daar boven bevinden zich 3 gasbellen. De ware grootte van de naald is 0.5 mm, de bellengrootte is ongeveer 1.5 mm.



figuur 17 : belgrootte zonder spanning

Hieronder is te zien wat er gebeurt wanneer een gepulste hoogspanning op de naald wordt gezet. De bellen spatten als het ware uit elkaar. De belgrootte is nu ongeveer met een factor 10 verkleind.



figuur 18 : belgrootte bij een gepulste hoogspanning

Na ongeveer een halve minuut drijven boven in de vloeistof zeer kleine belletjes. Om deze ook te registreren en de grootte te kunnen bepalen is een ijzerdraad als referentiemaat in de vloeistof gehangen. De ijzerdraad is 0.6 mm dik. Het plaatje hiervan is hieronder te zien.



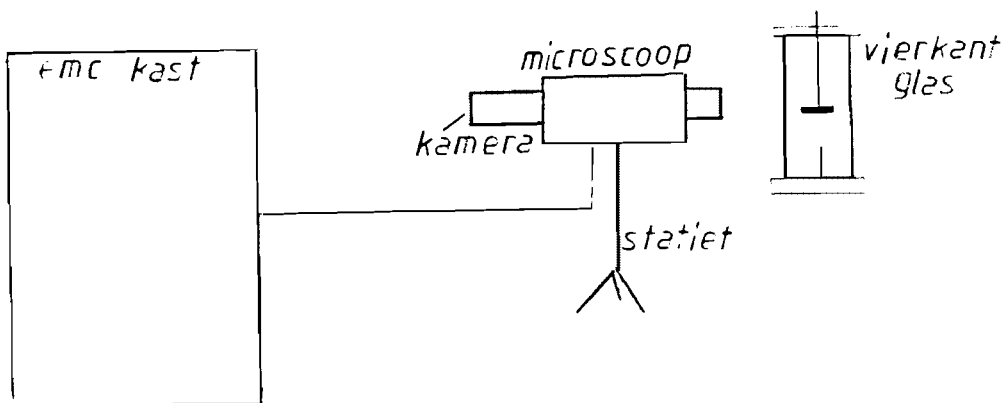
figuur 19 : de kleinste belletjes

Als laatste plaatje is te zien wat het effect is van een gelijkspanning van 5 KV in een niet geleidende vloeistof. De belgrootte is weliswaar kleiner geworden maar niet zo klein als bij de gepulste spanning.



figuur 20 : de belgrootte bij een DC-spanning

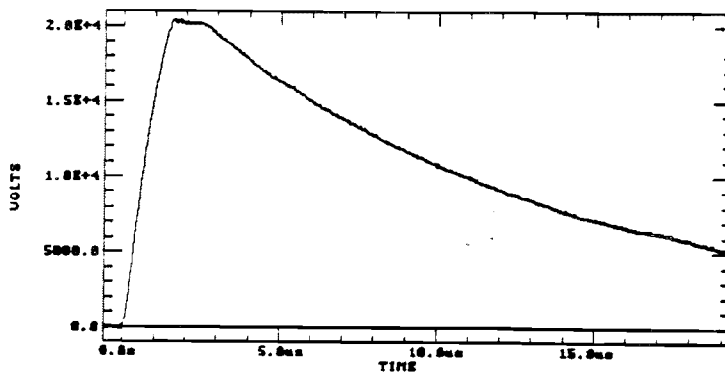
Hoe het optische beeldverwerkingsysteem is opgesteld is te zien in figuur 21



figuur 21 opstelling van het optisch beeldverwerkingsysteem

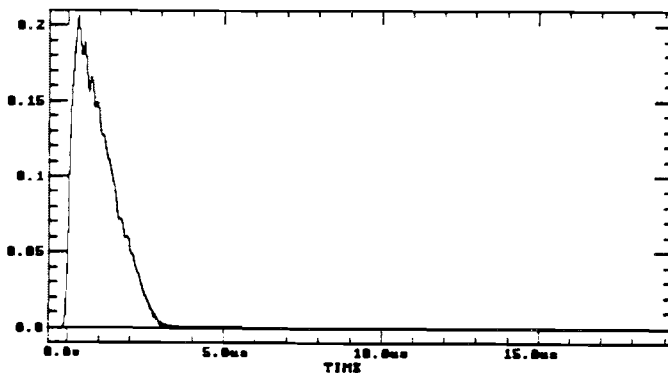
4.3 DE ELEKTRISCHE MEETINGEN

Om te bepalen hoeveel energie en welk vermogen nu eigenlijk in het water wordt gedissipeerd zijn beelden die op de osiloscoop te zien waren opgeslagen in het geheugen en vervolgens bewerkt met de computer. Het programma dat deze gegevens kan bewerken heet VU-point. Het programma kan bijvoorbeeld twee plaatjes met elkaar vermenigvuldigen wat makkelijk is om het vermogen te bepalen. Op het eerste plaatje is te zien hoe de spanning er uit ziet die tussen de elektroden staan. De spanning is gemeten met de D/I meetmethode.



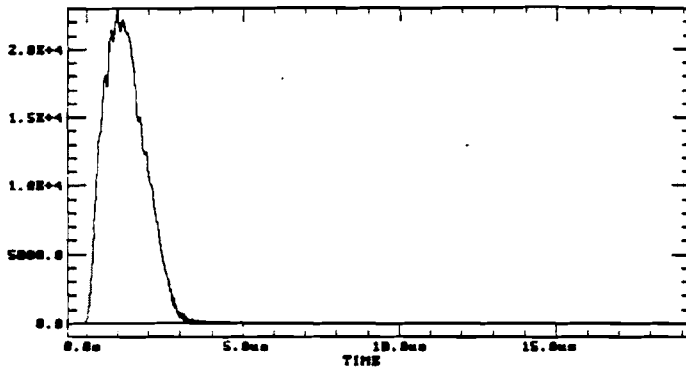
figuur 22 : de spanning tussen de elektroden

Op het tweede plaatje is te zien hoe de stroom er uit ziet die door de elektronenbuis loopt. In serie met de buis is een meetweerstand opgenomen waarover de spanning wordt bekeken.



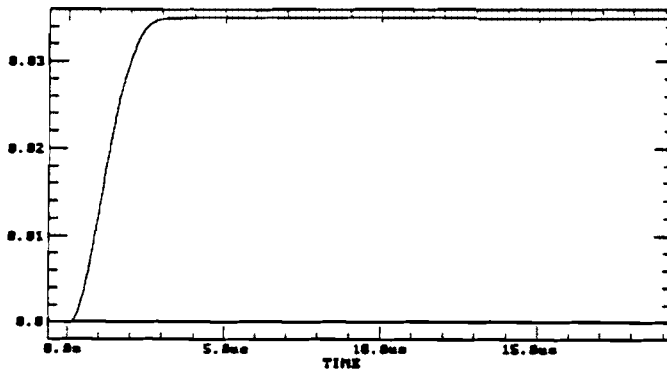
figuur 23 : de stroom door de buis

Op het derde plaatje is het vermogen te zien dat gedurende de puls in de waterbak wordt gedissipeerd. Dit plaatje is op de computer gemaakt.



figuur 24 : het vermogen dat in het water gedissipeerd wordt.

Als laatste plaatje is te zien hoeveel energie per puls in het water terecht komt. Dit plaatje is tevens op de computer gemaakt.



figuur 25 : de energie in het water

5 MOGELIJKE TOEPASSINGEN

Gezien de positieve resultaten die bereikt zijn, vooral bij water, is het te verwachten dat er een groot toepassingsgebied is voor deze manier van bellenverkleining. Enkele mogelijke toepassingen staan hieronder beschreven.

Nu :

Bij de bereiding van drinkwater wordt het water versproeid om zuurstof uit de lucht op te lossen. Het is de bedoeling dat de zuurstof met het ijzer en mangaan reageert, zodat er ijzer- en mangaanoxide ontstaat. Deze stoffen worden er vervolgens uitgehaald door ze te laten bezinken in een bezinkbak. Een nadeel van deze methode is dat grote hoeveelheden water verpompen veel energie kost.

Met puls :

Als je een systeem zou kunnen maken waarbij de zuurstof met zeer fijne belletjes in het water kan worden ingebracht zou dit een grote energiebesparing zijn.

Een mogelijke andere toepassing zou kunnen zijn een gasbellenverstuiving in een gas-vloeistofreactor. In dit type reactor wordt m.b.v. een schoep een vloeistof in beweging gebracht die de bellen kapot slaat.

Nadeel is ook hier weer de hoeveelheid energie die nodig is om de complete vloeistof in beweging te krijgen en houden.

6 Conclusie

Tijdens mijn afstudeerperiode heb ik gewerkt aan een opstelling voor onderzoek naar bellenverstuiving in een vloeistof met behulp van een gepulste hoogspanning. Aanvankelijk was het nog onduidelijk of deze verstuiving mogelijk was bij een gepulste spanning. Met een gelijkspanning was al aangetoond dat het verschijnsel optrad. Door een gepulste hoogspanning te gebruiken werd het mogelijk ook water als vloeistof te gebruiken. Dit is een zeer positief resultaat omdat bij een zeer groot deel van alle scheikundige reacties water wordt gebruikt. Het mogelijke toepassingsgebied is hiermee veel breder geworden.

De conventionele bellenverstuivers hebben als nadeel dat deze veel energie verbruiken. Deze verstuivers werken door een schoep snel te laten ronddraaien. De kleinste diameter die hierdoor bereikt kan worden is ongeveer 2 mm. Wanneer een gepulste hoogspanning wordt gebruikt is een belgrootte te bereiken van ongeveer 50 μm . Het reagerende oppervlakte wordt hierdoor veel groter. Een ander voordeel is dat voor de bellenverstuiving door gepulste hoogspanning het benodigde vermogen veel kleiner is.

LITERATUURLIJST

Electric Circuits 2/ED, hoofdstuk 14, Joseph A. Edminster, New York, 1988, 2e druk

Breedbandige integrator, hoofdstuk 2, K.H Langeveld, Eindhoven, 1988, 1e druk

High Voltage Engineering, hoofdstuk 1, E Kuffel, Manitoba, 1983, 1e druk

Een EMC studie, hoofdstuk 1,2, S.A.M. Verhoeven, Eindhoven, 1988, 1e druk

Lijst van figuren

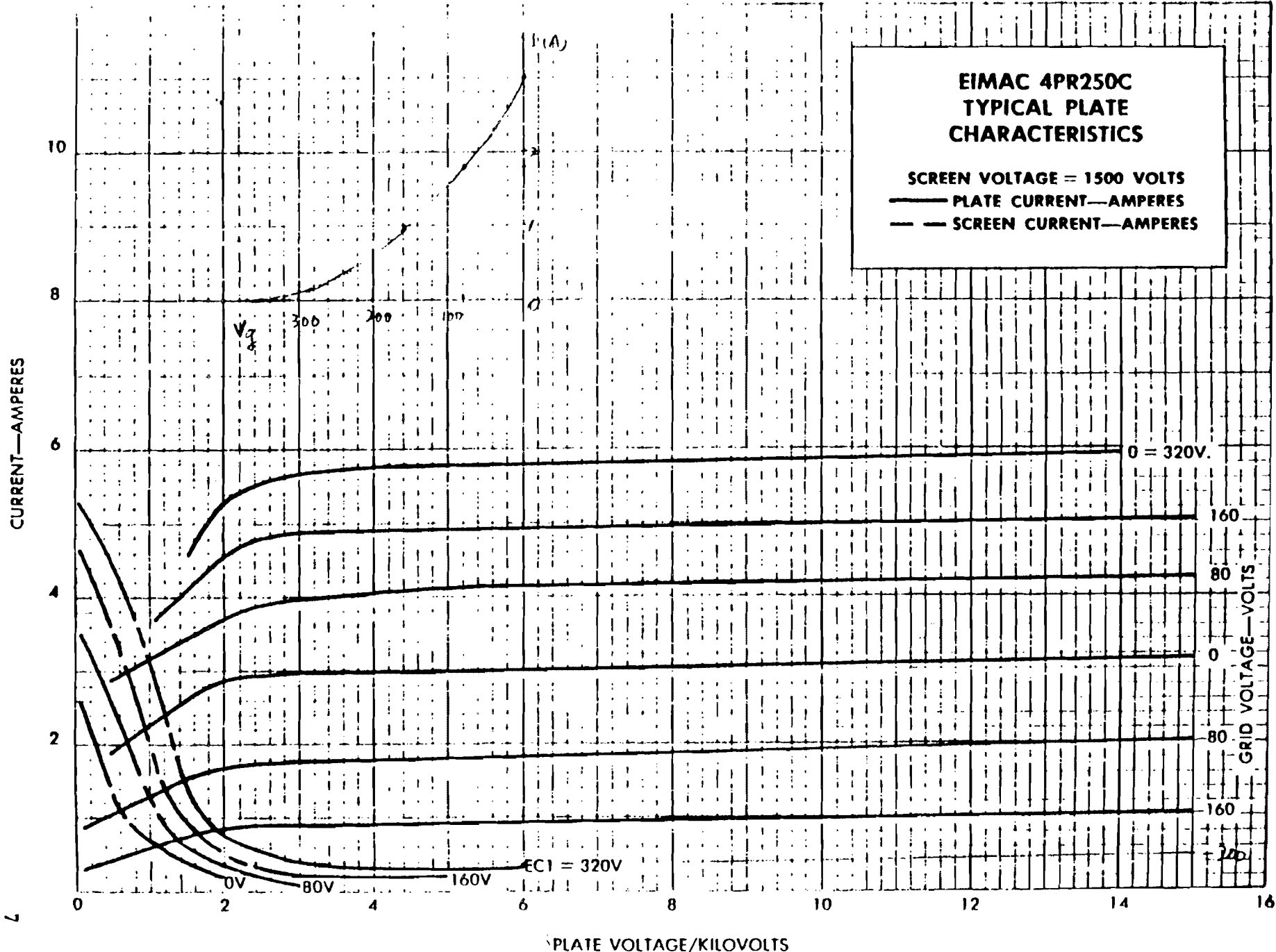
- figuur 1 : de eerste proefopstelling
 - figuur 2 : de buisschakeling
 - figuur 3 : de eerste verbeterde opstelling
 - figuur 4 : de tweede verbeterde opstelling
 - figuur 5 : de derde verbeterde opstelling
 - figuur 6 : de tetrodebuis
 - figuur 7 : de aansturing van de buis
 - figuur 8 : schema van de pulsbron
 - figuur 9 : waarom een triggertrafo wordt gebruikt
 - figuur 10 : aansturing voor de GTO
 - figuur 11 : de cascadeschakeling
 - figuur 12 : de capacitieve opnemer
 - figuur 13 : het schema van de integrator
 - figuur 14 : principeschema van de gecompenseerde stroommeting
 - figuur 15 : de balun schakeling
 - figuur 16 : de proefopstelling bij de gecompenseerde stroommeting
 - figuur 17 : belgrootte zonder spanning
 - figuur 18 : belgrootte bij gepulste hoogspanning
 - figuur 19 : de kleinste belletjes
 - figuur 20 : de belgrootte bij een DC-spanning
 - figuur 21 : opstelling van het optisch beeldverwerkingsysteem
 - figuur 22 : de spanning tussen de elektrode
 - figuur 23 : de stroom door de buis
 - figuur 24 : het vermogen dat gedissipeerd wordt in het water
 - figuur 25 : de energie in het water
-
- bijlage 1 : I_a - V_g karakteristiek van de elektronenbuis
 - bijlage 2 : hoogspanningsvoorschriften
 - bijlage 3 : de filterkarakteristiek
 - bijlage 4 : berekeningen van de integrator

**EIMAC 4PR250C
TYPICAL PLATE
CHARACTERISTICS**

SCREEN VOLTAGE = 1500 VOLTS

— PLATE CURRENT—AMPERES

- - - SCREEN CURRENT—AMPERES



Hier volgt een opsomming van de belangrijkste regels voor het werken in het laboratorium :

Het werken in laboratoriumruimten is slechts toegestaan wanneer ⁿteminste 2 personen in de ruimte aanwezig zijn. Wanneer in een experimenteerkamer slechts één persoon werkzaam is, moet de deur van deze kamer geheel geopend zijn.

De voorwerpen die niet tot de opstelling behoren dienen in het algemeen uit de omgeving van de opstelling verwijderd te worden.

Alle flexibele verbindingen moeten bestaan uit volledig geïsoleerde geleiders (met uitzondering van aardverbindingen) van voldoende diameter en mechanische sterkte.

Niet geaarde ongeïsoleerde delen van het circuit moeten zo zijn opgesteld dat het aanraken ervan tijdens uitvoering van de werkzaamheden zo onwaarschijnlijk mogelijk wordt. Gevaarlijke delen moeten door het plaatsen van geïsoleerde platen, kappen e.d. tegen onwillekeurige aanraking zijn beschermd.

Het hoofdcircuit moet op één plaats geaard zijn, door middel van een blanke of met doorzichtige isolatie omgeven geleider van voldoende diameter. Nooit mag een deel van het aardsysteem deel uitmaken van het hoofdcircuit.

Alle metalen kasten, frames, chassis enz. die binnen een experimenteercel aanwezig zijn, moeten worden geaard, tenzij daardoor de metingen onmogelijk worden.

Aardgeleiders mogen nooit worden onderbroken door een schakelaar.

Het is verboden verbindingen aan te brengen of los te nemen in circuits waarvan de voedingsspanningen niet geheel is onderbroken.

bijlage 2

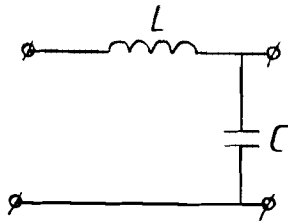
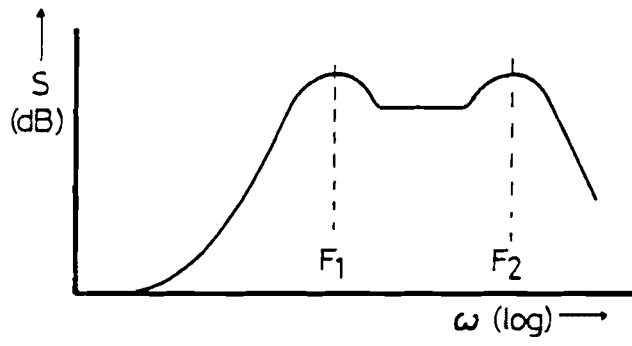
Alle circuits of toestellen die onder hoge spanning (meer dan 500 V) kunnen komen en niet volledig door een geaarde metalen kast zijn omgeven, moeten in het algemeen binnen een geheel gesloten, geaarde metalen omheining, een zogenaamde cel zijn geplaatst.

In de cel moet tenminste een aardingsstok van voldoende lengte met geïsoleerd handvat aanwezig zijn bij elke toegangsdeur. Op iedere aardingsstok is het maximale spanningsniveau aangegeven.

In de cel moet per hoogspanningsvoedingsapparaat een aardingsschakelaar zijn opgesteld die in gesloten toestand de hoogspanningsaansluiting van het apparaat met aarde verbindt.

Bij het openen van een celdeur moeten automatisch de voedingen van alle in de cel geplaatste hoogspanningsapparaten ogenblikkelijk worden onderbroken en de aardingsschakelaars ogenblikkelijk sluiten.

Bijlage 3



$$V_1 = V_0 \cdot \frac{1}{1+j\omega\tau_0}$$

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{1+j\omega\tau_1}{j\omega\tau_1}$$

$$V_2 = V_0 \cdot \frac{1+j\omega\tau_1}{1-j\omega\tau_0} \cdot \frac{1}{j\omega\tau_1} \quad \text{Als } \tau_1 = \tau_0 \text{ geldt:}$$

$$V_2 = V_0 \cdot \frac{1}{j\omega\tau_0}$$

$$V_3 = V_2 \cdot \frac{1}{1+j\omega\tau_2} \quad \text{Als } \tau_2 = \tau_0 \text{ geldt: } V_3 = V_0 \frac{1}{j\omega\tau_0} \cdot \frac{1}{1+j\omega\tau_0}$$

$$V_4 = V_1 \cdot \frac{50//22}{22+50//22} + V_3 \cdot \frac{50//22}{22+50//22} \Rightarrow 2,44 \cdot V_4 = V_3 + V_1 \Rightarrow$$

$$2,44 \cdot V_4 = V_0 \cdot \left[\frac{1}{j\omega\tau_0} \cdot \frac{1}{1+j\omega\tau_0} + \frac{1}{1+j\omega\tau_0} \right] = \left[\frac{1}{j\omega\tau_0(1+j\omega\tau_0)} + \frac{j\omega\tau_0}{j\omega\tau_0(1+j\omega\tau_0)} \right] \cdot V_0$$

$$= V_0 \cdot \left[\frac{(1+j\omega\tau_0)}{j\omega\tau_0(1+j\omega\tau_0)} \right] = V_0 \cdot \frac{1}{j\omega\tau_0} \quad \boxed{V_4 = 0,41 \cdot \frac{1}{j\omega\tau_0} \cdot V_0}$$