RIVO

BIBLIOTHEEK
RIJKSINSTITUUT VOOR
VISSERIJONDERZOEK

TO 84-04

DE OPWEKKING EN HET VERBRUIK VAN ELEKTRISCHE ENERGIE AAN BOORD VAN EEN BOOMKORVISSERSVAARTUIG

J.B. AGRICOLA

TO84-04

RIJKSINSTITUUT VOOR VISSERIJONDERZOEK
IJMUIDEN

RIJKSINSTITUUT VOOR VISSERIJONDERZOEK

Haringkade 1 – Postbus 68 – IJmuiden – Tel. (02550) 3 16 14

Afdeling: TECHNISCH ONDERZOEK

Rapport: TO 84-04
DE OPWEKKING EN HET VERBRUIK VAN ELEKTRISCHE ENERGIE AAN BOORD VAN EEN BOOMKORVISSERSVAARTUIG

Auteur: J.B. AGRICOLA

Project: 7-7182 - Verminderen van energiekosten

Projectleider:

Datum van verschijnen: mei 1984

Inhoud: Zie rapport

DIT RAPPORT MAG NIET GECITEERD WORDEN ZONDER TOESTEMMING VAN DE DIRECTEUR VAN HET R.I.V.O.

2793731

Voorwoord.

Voor de begeleiding en de adviezen bij het schrijven van dit verslag ben ik bijzondere dank verschuldigd aan de heer Ir. H. Mijnarends.
Verder dank ik de heren Ir. H. Koot, Ir. J. Kole en Ir. G. Mackor, docenten aan de "Amstel HTS", en collega's van de Afdeling Technisch Onderzoek van het Rijksinstituut voor Visserij-onderzoek voor hun bijdragen aan verschillende diskussies.

Onderstaande instellingen en bedrijven, in alfabetische volgorde, verstrekten mondelinge en/of schriftelijke informatie, zonder welke de totstandkoming van dit verslag sterk zou zijn bemoeilijkt.

Aeg-Telefunken Nederland N.V.
Scheepsbouwafdeling.
Rotterdam.

Aeg-Telefunken.
Fachgebiet Schiffbau.
Hamburg, West Duitsland.

Bakker Sliedrecht Electro Industrie B.V.
Sliedrecht.

CGE Alsthom Nederland B.V.
Den Haag.

Construcciones Electro-Mecanicas Indar S.A.
Beasain, Spanje.

Directoraat-Generaal Scheepvaart en Maritieme Zaken.
Scheepvaartinspectie.
Rijswijk.

Firma J. Bakker en Zn.
Den Helder.

Instituut voor Wegtransportmiddelen T.N.O.
Delft.

Louis Reyners.
Amsterdam.

Machinefabriek Maaskant B.V.
Stellendam.

Machinefabriek & Technische Handel H. Zwart B.V.
IJmuiden.

Siemens Nederland N.V.
Den Haag.

Siemens A.G.
Erlangen, West Duitsland.

Stichting Coördinatie Maritiem Onderzoek.
Rotterdam.

Technisch Bureau Vogelenzang De Jong Electriciteitswerken B.V.
Krimpen aan den IJssel.

Technisch Handels- en Adviesbureau "Boone B.V.".
Oud-Beijerland.

Technische Hogeschool Delft.
Afdeling der Electrotechniek.
Delft.

Technische Hogeschool Eindhoven.
Afd. E., Vakgroep Elektromechanica en Vermogenselektronica.
Eindhoven.

Van Doorne's Bedrijfswagenfabriek B.V.
Eindhoven.

Van Rietschoten & Houwens Technische Handelmaatschappij B.V.
Rotterdam.

Inhoud.

		Bladzijde
Voorwoord		
1.	Samenvatting	1
2.	De Nederlandse visserij.	2
2.1	De boomkorvisserij.	2
3.	De "Noorderhaaks" HD 22.	8
4.	De elektriciteitsvoorziening aan boord van kotters.	9
4.1	De elektrische installatie van de HD 22.	10
5.	De energiebalans van de HD 22.	12
5.1	Het gelijkstroomnet.	17
5.2	Aandrijfsystemen voor de gelijkstroomgeneratoren.	20
5.3	Het draaistroomnet.	22
5.4	Algemene opmerkingen betreffende het geïnstalleerde vermogen.	27
6.	Kortsluitingen in het draaistroomnet.	28
6.1	Het kortsluitgedrag van een synchrone generator.	28
6.2	Definities en berekeningswijzen van kortsluitstromen volgens verschillende normen.	34
6.3	Definities en berekeningswijzen volgens IEC normen.	36
6.4	Definities en berekeningswijzen volgens DIN normen.	41
6.5	De bijdrage van asynchrone motoren tot de kortsluitstroom.	45
6.6	De berekeningswijze volgens IEC normen	46
6.7	De berekeningswijze volgens DIN normen	47
6.8	Kortsluitberekeningen aan de HD 22 installatie.	49
6.9	Algemene opmerkingen betreffende de IEC en DIN kortsluitberekeningen.	60
6.10	Algemene opmerkingen met betrekking tot schakelapparatuur.	62
7.	Verlaging van de exploitatiekosten van een boomkorvissersvaartuig.	64
7.1	Algemeen	64
7.2	Kostenbesparing.	64
7.3	Energiebesparing.	65

Bladzijde

7.4 Energiebesparing door omschakeling van hulp-diesel- naar nooddieselmotor. 66
7.5 Optimalisering van het prime mover vermogen. 70
8. Asgeneratoren. 71
8.1 Algemeen. 71
8.2 Asgenerator met statische omvormer. 74
8.3 Asgenerator met roterende omvormer. 78
8.4 Asgenerator met mechanische variator. 78
8.5 Asgenerator met hydraulische variator. 80
9. Conclusies en aanbevelingen. 82
9.1 Het gelijkstroomnet. (hoofdstuk 5.1). 82
9.2 Aandrijfsystemen voor de gelijkstroomgeneratoren. (hoofdstuk 5.2). 82
9.3 Algemene opmerkingen betreffende het geïnstalleerde vermogen. (hoofdstuk 5.4). 82
9.4 Kortsluitberekeningen aan de HD 22 installatie. (hoofdstuk 6.8). 83
9.5 Kostenbesparing. (hoofdstuk 7.2). 83
9.6 Energiebesparing door omschakeling. (hoofdstuk 7.4). 83
9.7 Optimaliseren van het prime mover vermogen. (hoofdstuk 7.5). 83
9.8 Asgeneratoren. (hoofdstuk 8). 84
Literatuurlijst 85
Lijst van figuren 87

1. Samenvatting.

De exploitatiekosten van vissersschepen, in het bijzonder boomkorvissersschepen (boomkorkotters of kortweg kotters), zijn door de hoge brandstofprijzen sterk gestegen.
Dit geldt vooral voor de kotters met groot voortstuwingsvermogen: de brandstofkosten van een kotter met een voortstuwingsvermogen $\geqq$1500 kW bedragen circa 36 % van de brutobesomming (opbrengst vangsten aan de markt).
Deze kosten kunnen mogelijk door besparingen verminderd worden. Teneinde de mogelijkheden hiertoe vast te stellen, dient inzicht te zijn in de behoefte aan energie en de opwekking daarvan.

Dit verslag geeft een overzicht van de behoefte aan elektrische energie en de opwekking daarvan aan boord van de boomkorkotter "Noorderhaaks" HD 22 en beoogt het inzicht in dit deel van de energiestroom te verdiepen.
Hiertoe is o.a. een energiebalans van het schip opgesteld.

Veel aandacht is besteed aan het draaistroomvermogen, het kortsluitgedrag van de synchrone generator, de berekeningen van de kortsluitstromen en de invloed hierop van asynchrone motoren.

De keuze van hulp- en nooddieselbedrijf in relatie tot het specifieke brandstofverbruik heeft de nodige aandacht gekregen.

De nieuw ontstane behoefte aan asgeneratorsystemen voor de opwekking van het draaistroomvermogen wordt gesignaleerd; enige bestaande en in ontwikkeling zijnde systemen worden genoemd.

Het verslag wordt afgesloten met enige conclusies en aanbevelingen.

2. De Nederlandse visserij.

De Nederlandse visserij kent de volgende visvangstmethoden:
- trawlvisserij
- spanvisserij
- boomkorvisserij.

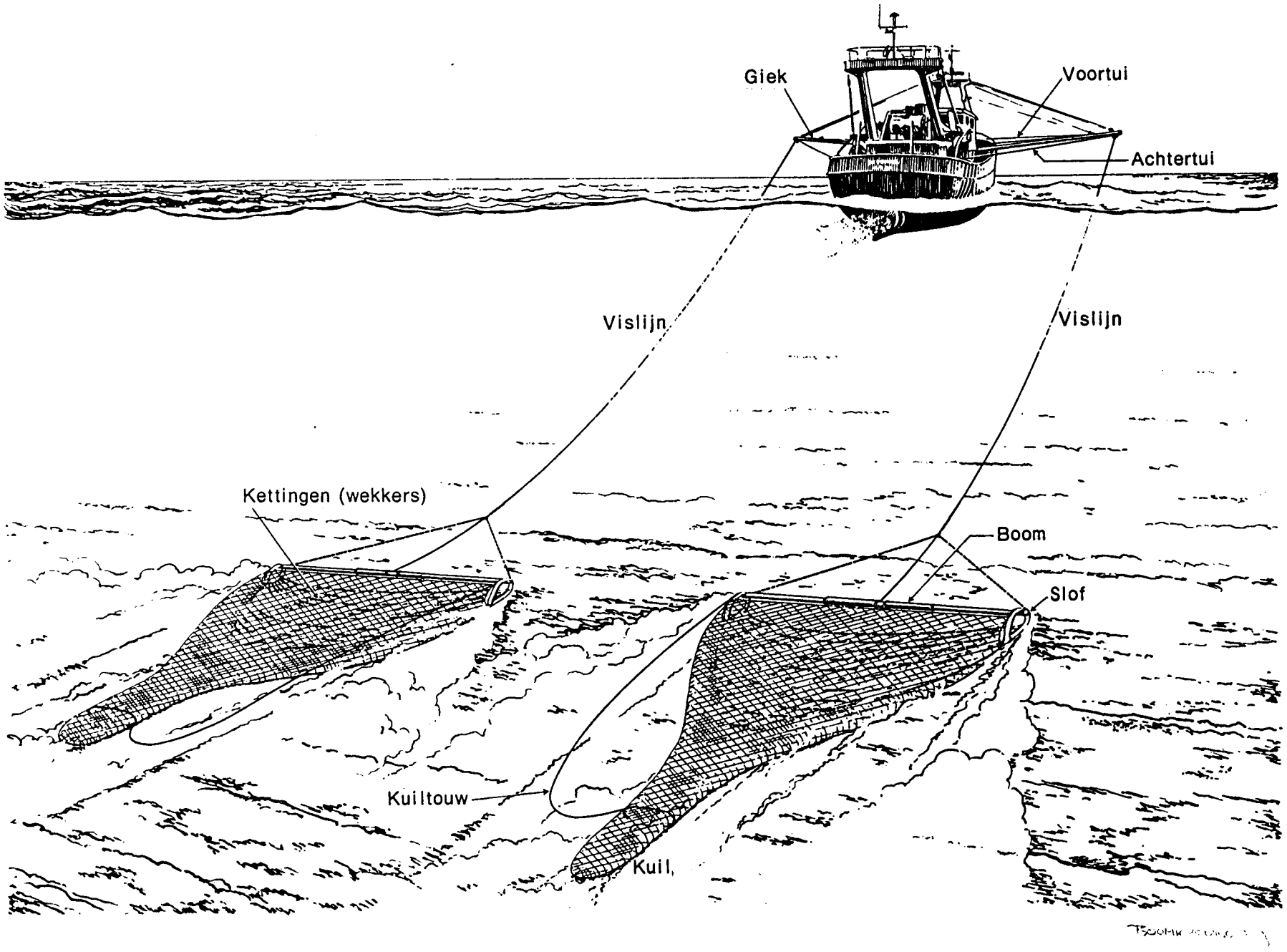
In het kader van dit verslag wordt alleen de boomkorvisserij in beschouwing genomen.

2.1 De boomkorvisserij.

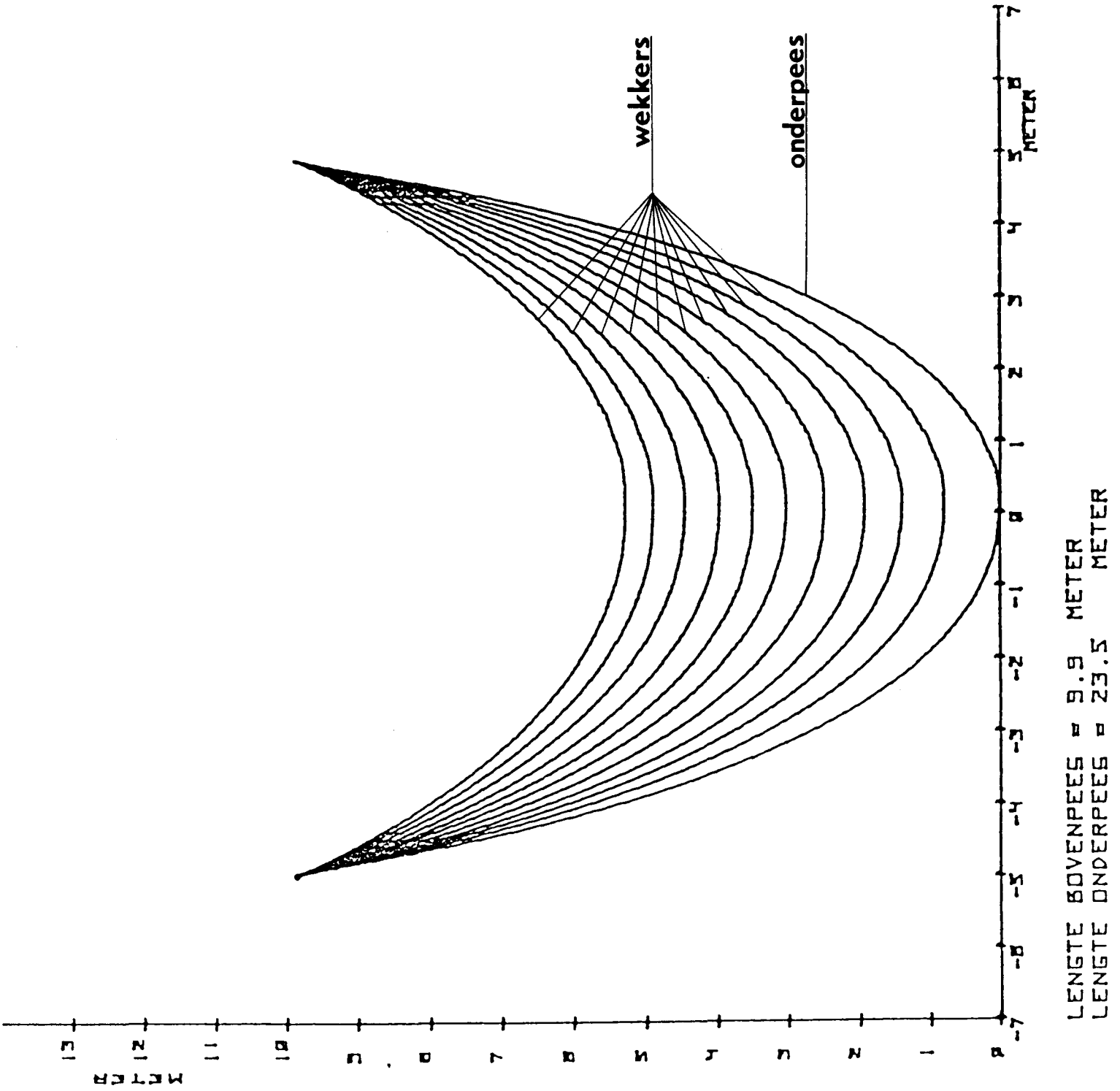
Deze visserijmethode richt zich op de vangst van garnalen en/of platvis.
Onder platvis wordt verstaan vis die direkt op of in de zeebodem leeft zoals tong, schol, schar en tarbot.
Dit verslag behandeld alleen de visserij op platvis daar in deze sektor een sterke schaalvergroting en dientengevolge een onevenredige stijging van de exploitatiekosten plaatsvindt.

Bij de boomkorvisserij worden door één schip twee netten gesleept uit gieken die loodrecht op beide zijden van het schip staan, zie figuur 1.
De netten worden opengehouden door een horizontale pijp die aan de uiteinden afgesteund wordt door stalen sleden, de z.g. sloffen.
Om de vis te dwingen vóór passage van het net los van de grond te komen, wordt het net voorafgegaan door een tiental 14 tot 25 mm Ø kettingen die aan de sloffen zijn bevestigd.
Deze kettingen nemen, evenals de onderpees (begin onderkant net), ongeveer een kettinglijn aan, zie figuur 2.
Om de visnamigheid van het vistuig verder te verbeteren, zijn in het net zelf nog een tiental 10 tot 14 mm Ø kettingen aangebracht.

Het gewicht van een kompleet boomkortuig varieert van 2,5 tot 6,5 ton, afhankelijk van de boomlengte en het aantal kettingen.
De boomlengte varieert van 8 tot 16 meter.
De totale afmetingen en het gewicht van het boomkortuig worden bepaald door de afmetingen van het schip en door de samenstelling van de bodem waar men overwegend de visserij uitoefent.



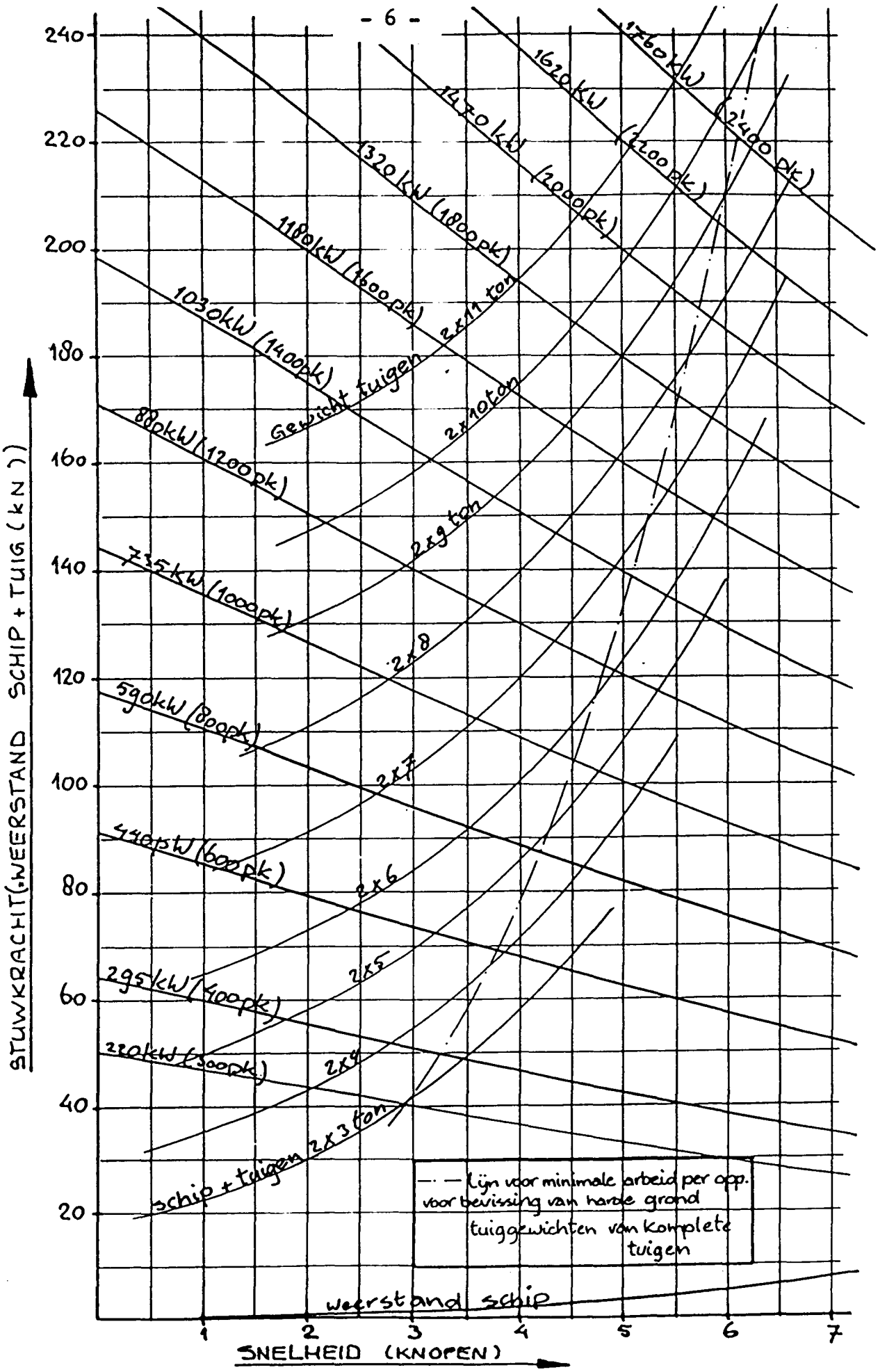
Figuur 1. Boomkorvisserij.



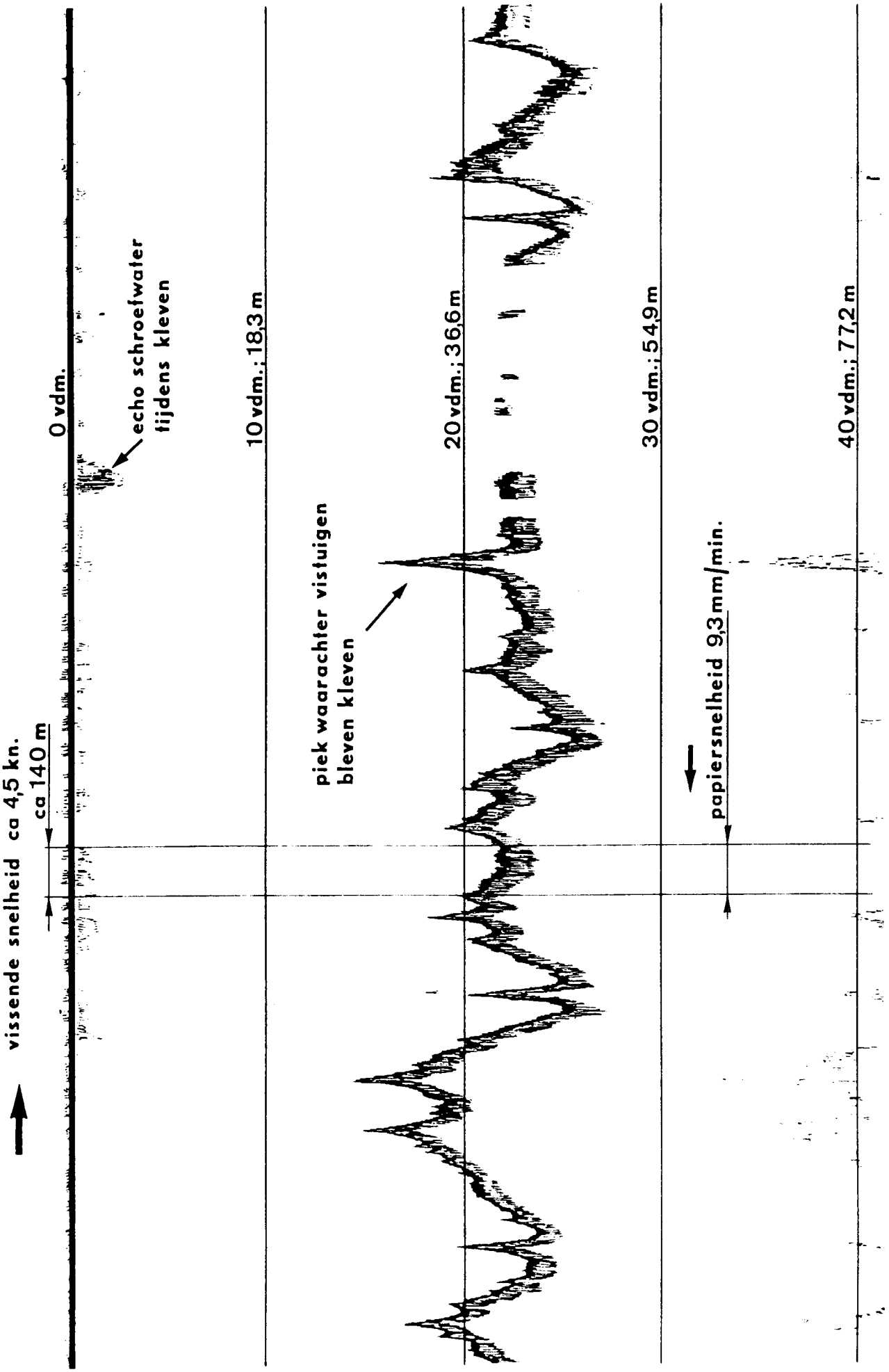
Figuur 2. Stand onderpees en wekkerkettingen.

Deze beide parameters bepalen weer het in het schip geïnstalleerde voortstuwingsvermogen.
Figuur 3 is een nomogram waarin een en ander tot uitdrukking komt. [1]

Wat de samenstelling van de bodem betreft kennen we harde zandgrond, een slappe modderige bodem en een steenachtige of met stenen bezaaide bodem.
Op harde zandgrond kan het vistuig voorzien worden van zoveel kettingen als mogelijk in relatie tot het beschikbare voortstuwingsvermogen; bij een modderige bodem dient het gewicht van het vistuig verminderd te worden om wegzakken te voorkomen terwijl bij de visserij "in de stenen" het vistuig aan de onderzijde voorzien wordt van een z.g. kettingmat om beschadiging van het net en het "opvissen" van stenen te voorkomen.
Het vistuig met kettingmat is de zwaarste variant en vereist het grootste motorvermogen.
Op de bodem van de zuidelijke Noordzee komen verschillende soorten zandduinen voor met een patroon als in figuur 4 weergegeven.
Tijdens passage van deze zandduinen ondervindt het vistuig een verhoogde weerstand waardoor de vissende snelheid van het schip daalt en zelfs tot nul kan afnemen.
Men spreekt in zo'n geval van "kleven" van het vistuig achter een "punt".
Om dit "kleven" op te heffen wordt met de vislier het vistuig gedeeltelijk gehaald en na passage van de top van het duin weer gevierd.
Het motorvermogen wordt bij deze aktie alleen verminderd als dit nodig is in verband met het benodigde of beschikbare liervermogen.
Het vermogen van de vislier is voor het vissen "in de punten" groter dan bij het vissen over een vlakke bodem zoals in de noordelijke Noordzee terwijl de mechanische belasting van de vislijnen, gieken en vistuigen beduidend hoger is. [2]
Door zowel de verschillen in de technische uitrusting van de schepen als de verschillen in de behandeling van het vistuig tijdens het vissen, spreekt men van "noord"- en "zuid"-schepen.
De "Noorderhaaks" HD 22 is een "noord"-schip; een typisch "zuid"-schip is bijvoorbeeld de "Maartje" GO 26 van de Firma W. en J. Lokker uit Goedereede.



Figuur 3. Nomogram stuwkracht - snelheid



Figuur 4. Bodem-echogram zuidelijke Noordzee.

3. De "Noorderhaaks" HD 22.

De hoofdgegevens van het schip zijn:

Lengte over alles	40 meter.
Breedte	9 meter.
Holte	5,1 meter.
Diepgang (gemiddeld)	3,5 meter.
Bouwjaar	1983.
Werf	Machinefabriek Maaskant B.V. Stellendam.
Hoofdmotor	Stork Werkspoor type 6 SW 280. 1560 kW 850 omw./min.
Hulpdiesels	DAF DK 1160. 105 kW. 1500 omw./min. (2x)
Nooddiesel	DAF DD 575. 52 kW. 1500 omw./min.
Vislier	Maaskant M220 EP6-140 EP2. 133 kW.
Aantal bemanningsleden	6.

4. De elektriciteitsvoorziening aan boord van kotters.

De elektrische installatie van vrijwel alle kotters bestaat uit een gelijkstroomnet en een draaistroomnet.
Het gelijkstroomnet voedt de vislierinstallatie en, indien geïnstalleerd, de boegschroef; het draaistroomnet voedt alle hulpwerktuigen voor het voortstuwings- en visbedrijf.
Beide netten worden geheel onafhankelijk van elkaar opgewekt, dat wil zeggen door aparte gelijk- en draaistroomgeneratoren.
De installatie van de HD 22 is ook op deze wijze opgebouwd.

Het draaistroomnet "levert de elektrische energie tot het onderhouden van de voor de voortstuwing en de veiligheid van het schip onontbeerlijke hulpdiensten" (Elektrische Inrichtingen, artikel 11); reden waarom in dit verslag kortsluitberekeningen aan het draaistroomnet van de HD 22 worden uitgevoerd (hoofdstuk 6.8).
Voor het gelijkstroomnet geldt bovenstaande niet: dit net wordt dan ook niet "doorgerekend"; de lierinstallatie is overigens door zijn eigen stuur- en regelcircuits afdoende beveiligd (thyristor veld-geregelde Ward Leonard installatie).

4.1 De elektrische installatie van de HD 22.

De hoofdbestanddelen van de elektrische installatie zijn de volgende, zie figuur 5.

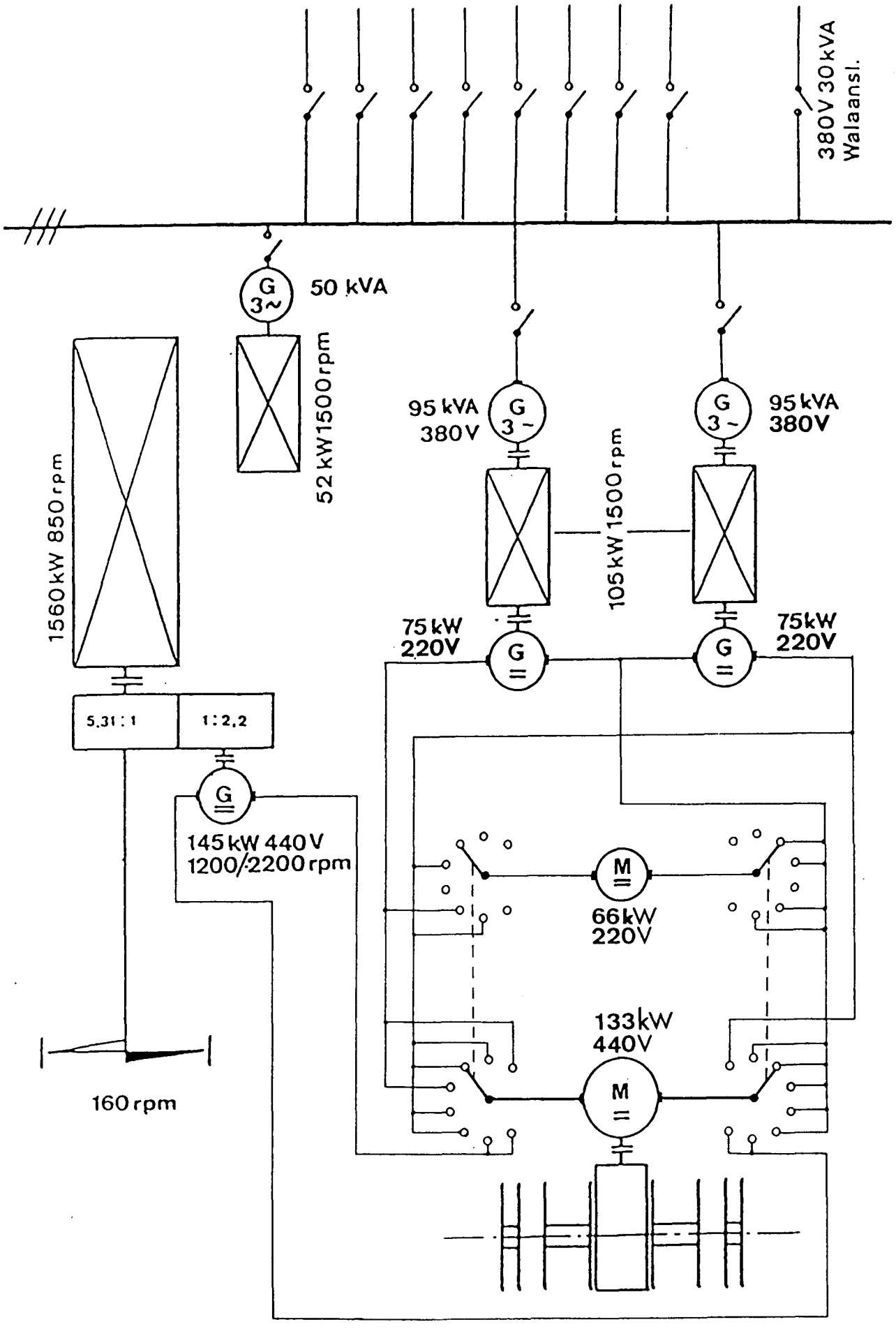
- twee diesel-elektrische aggregaten ieder bestaande uit
  een DAF dieselmotor type DK 1160 M 1500 omw./min. 105 kW.
  een gelijkstroomgenerator type Indar N-280-M-b 75 kW 220 V.
  een draaistroomgenerator type Indar 250-L 95 kVA 220/380 V.
- een nood-diesel-elektrisch aggregaat bestaande uit
  een DAF dieselmotor type DD-575-M 1500 omw./min. 52 kW.
  een draaistroomgenerator type Indar 225-M 50 kVA 220/380 V.
- een gelijkstroomgenerator type Indar N-355-M-a 145 kW 440 V. 330 A. 1200/2200 omw./min. aangedreven door een power-take-off (p.t.o.) van de hydraulische scheepskeerkoppeling type Rhenania AWNS-63 met schroefasrem.
- een gelijkstroommotor type Indar N-355-M-a 133 kW 440 V. 323 A. 1050/2100 omw./min. voor aandrijving van de vislier type Maaskant M220-EP6-140-EP2.
- een gelijkstroommotor type Indar N-250-M-b 66 kW 220 V. 332 A. 1500 omw./min. voor aandrijving van de boegschroef type Promac Pleuger WM-60-85 923 omw./min.

De overbrengingsverhouding van de keerkoppeling naar de p.t.o. bedraagt 1 : 2,2 zodat bij het maximum toerental van de voortstuwingsmotor van 850 omw./min. de gelijkstroom visliergenerator een maximum toerental van 1870 omw./min. heeft.
Het maximaal over te brengen mechanisch vermogen van de p.t.o. is 170 kW.

De gelijkstroom generatoren gekoppeld aan de hulpdiesels kunnen naar keuze ieder apart of in serie de visliermotor voeden. Deze optie is bedoeld voor havenbedrijf en voor het geval dat de hoofdmotor, om welke reden ook, niet kan draaien.

De boegschroef kan alleen gevoed worden door één der aan de hulpdiesels gekoppelde gelijkstroom generatoren.

Eén der 75 kW gelijkstroom generatoren kan gebruikt worden voor het uitvoeren van laswerkzaamheden.



Figuur 5. Hoofdbestanddelen elektrische installatie HD 22.

5. De energiebalans van de HD 22.

De energiebalans is samengesteld op de wijze als door Krebs [3] en Kosack/Wangerin [4] beschreven.
De begrippen rendement, maximum verbruiksfaktor, verbruik, basisverbruik, gebruiksfaktor en gelijktijdigheidsfaktor worden onderstaand toegelicht.

Rendement, kolom IV.

De rendementsfaktor wordt gedefiniëerd als de verhouding tussen het afgegeven- en het toegevoerde vermogen in kW.
De faktor is vastgesteld uit fabrieksgegevens, uit literatuur of ervaringsgewijs.

Maximum verbruiksfaktor, kolom VI.

Deze faktor is te vergelijken met de zogenaamde "Ausnutzungsgrad" volgens Krebs. [3]
De faktor geeft aan welk deel van de aansluitwaarde in kW (kolom V) tijdens normaal bedrijf van de verbruiker nodig is.
Bij het vaststellen van deze faktor is tevens rekening gehouden met de vermogensrange waarin motoren beschikbaar zijn; de geïnstalleerde motor zal vrijwel altijd van groter vermogen zijn dan strikt noodzakelijk.
De faktor is vastgesteld uit fabrieksgegevens, uit literatuur of ervaringsgewijs.

Verbruik, kolommen VII en VIII.

Het verbruik is bepaald voor twee bedrijfstoestanden waarin het schip zich op zee kan bevinden.
Daar tijdens het vissen gedurende een zekere tijd, die bepaald wordt door de grootte van de vangsten en de duur van de trekken, de gevangen vis verwerkt wordt, zijn de bedrijfstoestanden vissen en visverwerken samengevoegd.

Basisverbruik, kolom IX.

Deze kolom kan gezien worden als de minimale verbruikerstoestand waarin het schip zich op zee kan bevinden. Praktisch komt deze toestand voor tijdens (een deel van) de uit- en thuisreis.

Gebruiksfaktor, kolom X.

De gebruiksfaktor geeft aan welk tijdsdeel van een etmaal iedere verbruiker in bedrijf is.
Deze faktor is vastgesteld aan de hand van verzamelde gegevens tijdens een weekreis van de HD 22 in februari 1984 en gegevens verstrekt door de schipper.

Gelijktijdigheidsfaktor.

Volgens Kosack/Wangerin [4] wordt de gelijktijdigheidsfaktor gedefiniëerd als de verhouding tussen het maximale gelijktijdige vermogensverbruik van alle verbruikers tot de aansluitwaarde van alle verbruikers.
Er zijn echter ook andere definities. [3]
In dit verslag wordt bovenstaande definitie aangehouden, echter betrokken op de verbruiksvermogens genoemd in kolommen VII, VIII en IX.
Bij grote installaties is het aan te bevelen deze faktor te bepalen voor groepen verbruikers tijdens de verschillende bedrijfstoestanden.
In de praktijk wordt de faktor ervaringsgewijs bepaald en op 0,7 gesteld; voor de HD 22 is deze waarde aangehouden.

Arbeidsfaktor, $\cos\varphi$.

Om het schijnbare vermogen te bepalen is een $\cos\varphi$ van 0,8 aangehouden.
Deze waarde volgt uit vroeger uitgevoerde metingen aan boord van een hektrawler en uit literatuur.

Algemene opmerkingen betreffende de energiebalans.

Bij de nieuwbouw van kotters is het niet de gewoonte een energiebalans op te stellen; de balans van de HD 22 kon daardoor niet streng getoetst worden.
Zoals reeds werd vermeld, zijn de diverse faktoren vastgesteld aan de hand van informaties verstrekt door installateurs en de schipper, van vergelijkbare gegevens van een hektrawler, van een oriëntatie-reis met de HD 22, van literatuur gegevens en van eigen ervaring.

Na de oriëntatie-reis met HD 22 bleek dat vooral het verbruik tijdens vrij-varen nogal drastisch moest worden bijgesteld daar de bemanning zeer energie- en dus kostenbewust te werk gaat. Tijdens de uit- en thuisreis, bedrijfstoestand vrij-varen, worden zoveel mogelijk verbruikers uitgeschakeld zodat van hulpdiesel- naar nooddieselverbruik kan worden overgeschakeld. Gedurende 20 tot 24 uur per week of 19 tot 20 % van de wekelijkse reisduur betekent dit halvering van het benodigde elektrische vermogen.
Wat dit inhoudt voor de belastingsgraad van de hulp- en de nooddiesel en de werkelijke besparingen wordt nader uitgewerkt onder "Besparingen".

In de energiebalans van de HD 22 zijn slechts twee bedrijfstoestanden aangehouden, namelijk vrij-varen en vissen/visverwerken. Uiteraard zijn ook andere onderverdelingen mogelijk; te denken valt bijvoorbeeld aan een extra onderverdeling "vissen" en "visverwerken".
Daar echter "visverwerken" afhankelijk is van een aantal moeilijk in te schatten variabelen zoals grootte van de vangsten, weersomstandigheden en verdeling van de werkzaamheden, is gekozen voor samenvoeging van beide bedrijfstoestanden.

De balans geeft geen informatie betreffende het lierbedrijf. Reden is dat dit bedrijf gevoed wordt door een "gesloten" gelijkstroomsysteem en alleen van invloed is op het rendement van de voortstuwingsmotor.
Zoals in het hoofdstuk "Gelijkstroomnet" wordt gesteld, zal ook in de (nabije) toekomst voor het vislierbedrijf een gelijkstroommotor gehandhaafd blijven. [5]

ENERGIEBALANS "NOORDERHAAKS" HD 22.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Nr.	Verbruiker	Geïnstalleerd vermogen kW	Rendement	Aansluitwaarde kW	Maximum verbruiks-faktor	VERBRUIK vrij varen kW	vissen/ver-werken. kW	Basis-verbruik kW	Gebruiks-faktor	
	MOTORKAMERINSTALLATIE									
1/2	luchttoevoer/MK vent. 2x	8,4/11	.85	9,9/12,9	1	9,9	12,9	9,9	1	
3	smeerolie perspomp 50 m^3 x 50 m	18,5	.9	20,6	.8	16,5	16,5	16,5	1	
4	vuil oliepomp 10 m^3 x 10 m	1,1/1,5	.8	1,4/1,9	.7	1/1,3	1/1,3	0	0,01	
5	lenswater separator 0,5 m^3 x 40 m	2,0	.8	2,5	.7	1,8	1,8	0	0	
6	smeerolie separator	0,75	.7	1,1	.7	0,8	0,8	0,8	1	
7	brandstof separator	0,75	.7	1,1	.7	0,8	0,8	0,8	1	
8	brandstof opvoerpomp 1 m^3 x 1 m	0,18	.6	0,3	.8	0,2	0,2	0,2	1	
9	brandstof trimpomp 6 m^3 x 1,1 m	1,1	.8	1,4	.7	1,0	1,0	0	0,1	
10	vetsmeerpomp	0,25	.6	0,4	.8	0,3	0,3	0	.1	
11	nood zoetkoelw. pomp 58 m^3 x 28 m	7,5	.85	8,8	-	-	-	-	nood	
12	lenspomp	5,5	.85	6,5	.7	4,6	4,6	0	0,2	
13/14	kompressor 16,5 m^3 x 30 bar (2x)	8,0	.8	10,0	.8	4,0	0	0	0,4	1)
15	alg. dienstpomp 40 m^3 x 30 m	7,5	.85	8,8	-	-	-	-	nood	
	Sub-totaal	64,5		76,3		41,2	40,2	28,2		
	VISSERIJ									
16	alg. dienstpomp 40 m^3 x 30 m	7,5	.85	8,8	.7	-	6,2	0	0,8	2)
17	spoelpomp 150 m^3 x 10 m	7,5	.85	8,8	.8	-	7,0	0	0,3	2)
18	visloskop	7,5	.85	8,8	.7	-	6,2	0	.1	3)
19	kompressor koelinst.	5,5	.8	6,9	.8	5,5	5,5	0	0,5	4)
20/21	scherfijsmachine 2 ton/dag	7,9	.85	9,3	.9	8,4	8,4	0	.5	
22	visspoelmachine	1,2	.8	1,5	.7	1,1	1,1	0	.2	
23	lopende band visverwerking	1,1	.8	1,4	.7	1,0	1,0	0	.2	
24/25	stripbanden 0,55 kW (2x)	1,1	.8	1,4	.7	1,0	1,0	0	.2	
26	hogedruk reiniger								0,04	
27	halogeen deklampen (15x)	15,0	1	15,0	.8	-	12 (0)	0	.2	5)
28	netsondelier	n.v.t.								
29	sonar 1,5 kW	n.v.t.								
30/34	decca nav. + echolood e.a.	1,0	1	1	.8	0,8	0,8	0,8	1	
35	ankerlier/slipdraadlier	5,5	.8	6,9	-	-	-	-	.1	
	Sub-totaal	60,8		69,8		17,8	49,2	0,8		
	NAVIGATIE									
36/39	radio/telefoon/intercom e.d.	1,0	1	1	.5	0,5	0,5	0,5	.3	
40/41	radar 2 x 0,5 kW	1,0	1	1	.5	0,5	0,5	0,5	1	
42	navigatielichten e.d.	1,0	1	1	1	1	1 (0)	1 (0)	1 (0)	5)
43	zoeklicht	1,0	1	1	1	1	0	0	0,1	
44/45	stuurstoel/ruitenwisser	0,3	.6	0,5	.5	0,3	0,2	0	.3	
46	stuurmachine	5,2	.8	6,5	.5	3,3	3,3	3,3	1	
47	kaapstander	4,0	.8	5,0	-	-	-	-	-	
	Sub-totaal	13,5		16,0		6,6	5,5	5,3		

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Nr.	Verbruiker	Geïnstalleerd vermogen kW	Rendement	Aansluitwaarde kW	Maximum verbruiks-faktor	VERBRUIK vrij varen kW	vissen/ver-werken. kW	Basis-verbruik kW	Gebruiks-faktor
	HOTELBEDRIJF								
48/49	C.V. pomp	0,4	.7	0,6	.8	0,5	0,5	0,5	1
50/51	hydrofoor (2x)	0,37	.7	0,5	.8	0,4	0,4	0	0,2
52/53	ventilatie + diversen	2,0	.6	3,3	.8	2,6	2,6	2	1
54	binnen- en buitenverlichting	5,0	1	5,0	.8	4,0	4,0	2,0	1 (0)
55	kookplaat	6,0	1	6,0	.5	3,0	3,0	0	0,4
56	boiler	5,2	1	5,2	1	5,2	5,2	0	0,2
57/58	vaatwasser/friteuse	4,0	.9	4,4	.5	2,2	2,2	0	0,1
	Sub-totaal	23,0		25,0		17,9	17,9	4,5	
TOTAAL		161,8 kW		187 kW		83,5 kW	112,8 kW	38,8 kW	
x NETVERLIES x GELIJKTIJDIGH. F. (1,05x0,7)						61,4 kW	82,9 kW	28,5 kW	
: cos φ = 0,8						76,7 kVA	103,6 kVA	35,6 kVA	

1) één kompressor reserve
2) vrijwel kontinu in gebruik tijdens verwerken van vis
3) voor het lossen van vis en hijswerkzaamheden
4) gebruiksfactor koelkompressor afhankelijk van isolatie-kwaliteit van visruim en tijdsduur openliggen visluik
5) tussen haken wil zeggen voor dagvisserij

5.1 Het gelijkstroomnet.

In tegenstelling tot landinstallaties, waar wegens de grote verliezen bij het transport van elektrische energie van gelijkstroom op wissel- of draaistroom was overgegaan, bleef aan boord van schepen gelijkstroom nog lang in gebruik.
Dit vasthouden aan gelijkstroom was niet zozeer om historische redenen maar veeleer wegens de beperkte regelmogelijkheden van draaistroommotoren en de ontoelaatbare spanningsval van het zwakke scheepsnet tengevolge van het regelen van deze motoren.
Op vissersschepen wordt voor de vislierinstallatie tot op de dag van vandaag nog gelijkstroom toegepast vanwege de speciale eisen die aan een dergelijke installatie worden gesteld.
Enige van de belangrijkste eigenschappen waaraan een vislier moet voldoen zijn:

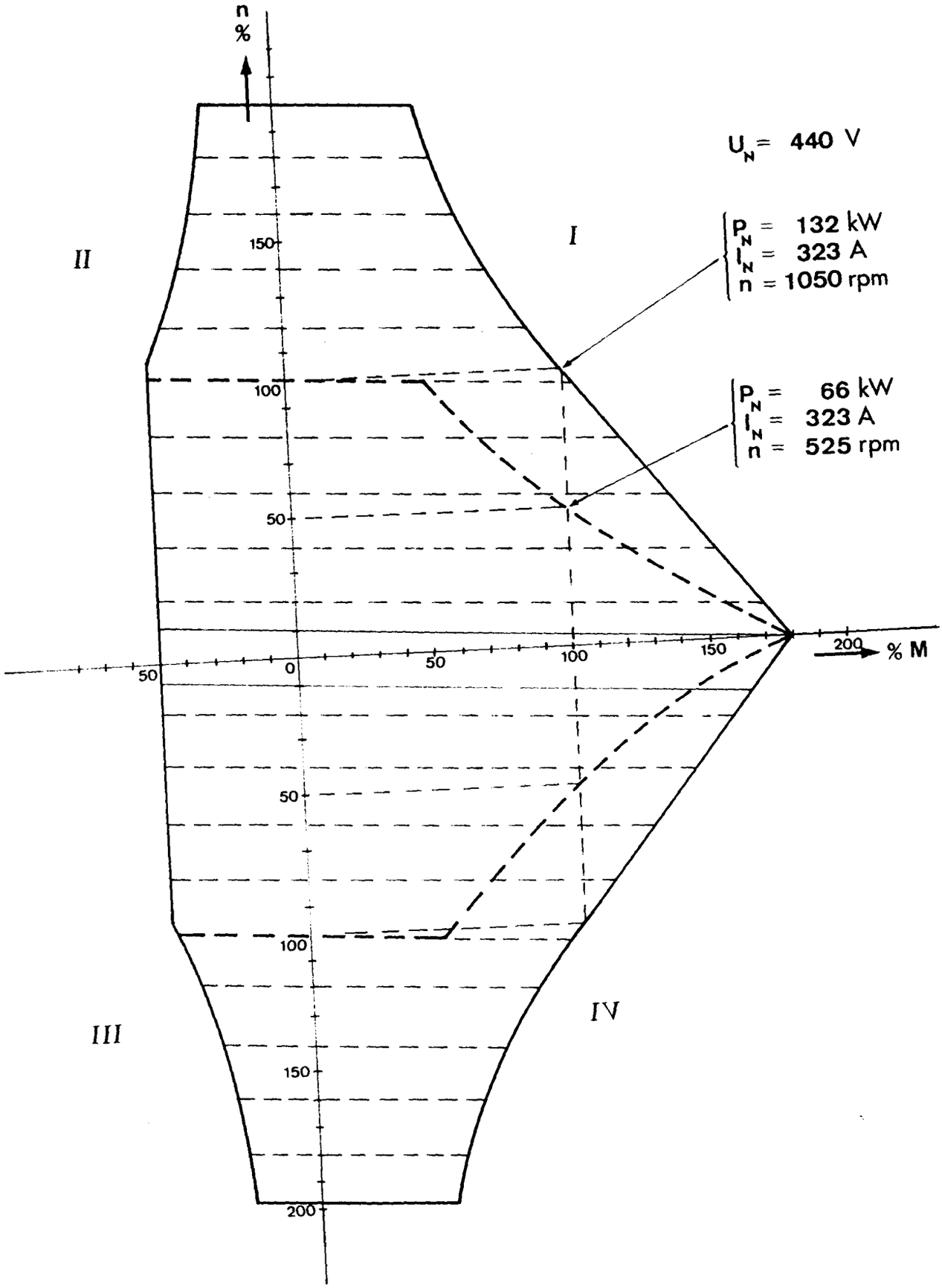
- motortoerental moet stappenloos geregeld kunnen worden;
- aandrijvend koppel en motortoerental moeten de maximaal vereiste en optredende lijnentrekkrachten en -snelheden mogelijk maken;
- koppel en toerental dienen zo geregeld en bewaakt te worden dat geen overbelastingen optreden en
- bij vieren moet generatorisch geremd kunnen worden.

De optredende lijnentrekkrachten en -snelheden zijn o.a. afhankelijk van:

- de gebruikte vistuigen, dus van de visserijmethode;
- de vaarsnelheid van het schip tijdens het halen en vieren (uitzetten) van het vistuig;
- de grootte van de vangsten en
- de weersomstandigheden (stampen en slingeren van het schip).

De koppel-toerenkromme van de vislierinstallatie van de HD 22 is weergegeven in figuur 6.
De vier kwadranten worden als volgt gebruikt:

I net halen, motorisch bedrijf
II generatorisch remmen van hoog naar laag toerental bij net halen
III net vieren, motorisch bedrijf
IV net vieren, generatorisch remmen.



Figuur 6. Koppel-toerenkromme vislier HD 22.

De vislierinstallatie werd vroeger aangedreven door een riem met spanrol vanaf de voortstuwingsmotor.
Hoewel deze methode redelijk betrouwbaar en goedkoop is, zijn er enkele belangrijke nadelen namelijk de afhankelijkheid van het (minimum) toerental van de voortstuwingsmotor en de noodzaak mechanische bandremmen te gebruiken tijdens het uitzetten van het net.
In het algemeen gaat het vislierbedrijf met riem en spanrol gepaard met hoge belastingsstoten.

Om de reeds genoemde eisen die aan een vislier worden gesteld te realiseren, ging men aan het eind van de jaren zestig over tot aandrijving van de lier met elektrische motoren.
Op kotters wordt uitsluitend een Ward Leonard systeem met thyristorveldregeling toegepast, waarbij een anticompound gelijkstroomgenerator een gelijkstroom shuntmotor voedt.

Hoewel een statische Ward Leonard installatie, met dezelfde regeleigenschappen als de roterende, zonder meer leverbaar is, wordt deze op kotters niet geplaatst.
Hiervoor zijn twee redenen te noemen en wel
- de hoge prijs en
- de vrees dat de bedrijfszekerheid lager is dan die van het "bekende" systeem.

Het nadeel van een statische Ward Leonard installatie is, dat het draaistroomvermogen aan boord vergroot moet worden terwijl het voordeel dat aandrijving van de gelijkstroomgenerator door de voortstuwingsmotor in relatie tot het brandstofverbruik oplevert, verloren gaat.
Aan de andere kant is een statische omvormer onderhoudsvrij.
Wat de bedrijfszekerheid betreft kan opgemerkt worden dat Siemens reeds in 1967 mutatorgevoede gelijkstroommotoren leverde voor de Duitse hektrawlers "Neufundland" en "Conrad". [5]

Gezien bovengenoemde aarzelingen ten aanzien van het gebruik van mutatoren, zal de toepassing van door convertors geregelde draaistroommotoren (kortsluitankermotoren) zeker nog enige jaren op zich laten wachten.

5.2 Aandrijfsystemen voor de gelijkstroomgeneratoren.

De aandrijfsystemen voor de visliergenerator kunnen als volgt worden onderverdeeld:

a) met riemen vanaf de voortstuwingsmotor;
b) een hulpdieselmotor en
c) een p.t.o. van een tandwielkast, gekoppeld aan de voortstuwingsmotor.

Systemen a) en b) komen voor op oudere schepen waar alleen een gelijkstroomnet aanwezig is.
Systemen b) en c) op schepen met naast een gelijkstroomnet ook een draaistroomnet.
Systeem b) is het meest gangbare, daar het tevens de mogelijkheid biedt een draaistroomgenerator aan te drijven (konstant toerental).
Daar in dit geval de hulpdieselmotor voldoende aandrijvend vermogen moet leveren voor beide generatoren, is het vermogen vrij groot: op sommige kotters tot circa 300 kW.
Een groot nadeel is hierbij, dat de dieselmotor slechts gedurende 20 % van de vistijd redelijk belast wordt, daar gedurende 80 % van de vistijd de vislierinstallatie niet gebruikt wordt.
De belastingsgraad van de dieselmotor daalt daardoor tot onder de 50 % waardoor het specifiek brandstofverbruik hoog is.
Daar de Schepenwet eist dat op schepen twee onafhankelijk aangedreven draaistroomgeneratoren zijn, worden veelal twee identieke diesel-aggregaten geplaatst.
Het is duidelijk dat op sommige kotters daardoor van sterke overdimensionering van zowel hulpdiesel- als elektrisch vermogen sprake is.

Om bovengenoemde redenen wordt sinds 1982 systeem c) toegepast, dus aandrijving van de gelijkstroomgenerator door een p.t.o. van òf de keerkoppeling òf door een tandwielverdeelkast, beiden gekoppeld aan de voortstuwingsmotor.
Het grote voordeel van deze systemen is, dat het vermogen van de hulpdiesel kleiner kan zijn en meer afgestemd kan worden op het benodigde draaistroomvermogen.

De HD 22 is hier een goed voorbeeld van:
de hulpdiesel drijft in principe alleen de draaistroomgenerator aan terwijl de extra gelijkstroomgenerator als noodstroomvoorziening voor de vislier kan worden ingezet, zie figuur 5.
Door een uitgekiend aantal schakelmogelijkheden kunnen te allen tijde de vistuigen binnenboord gehaald worden.
Naast lagere investeringskosten, dalen de bedrijfsonkosten door een hogere belastingsgraad van de dieselmotor terwijl de bedrijfszekerheid vergroot wordt. [6]

Het is opmerkelijk dat men pas de laatste jaren bij nieuwbouw weer kiest voor p.t.o.-aandrijvingen vooral gezien het feit dat dergelijke systemen, weliswaar met riemaandrijving, vroeger op z.g. gelijkstroomschepen algemeen werden toegepast.

5.3 Het draaistroomnet.

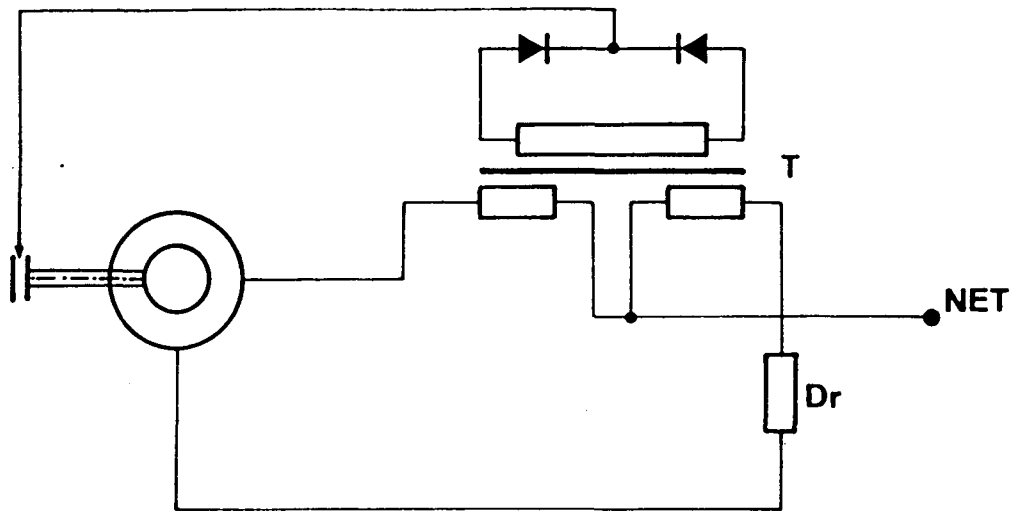
Door de grote belastingswisselingen bij het schakelen van asynchrone motoren was het tot circa 1954 niet mogelijk deze machines op schepen te gebruiken. [7]
Toen in dat jaar o.a. door Siemens Schuckertwerke AG de konstant spanningsgenerator werd ontwikkeld, kon een betrouwbaar draaistroomnet worden gerealiseerd.
De toepassing van asynchrone motoren voor aandrijving van de hulpwerktuigen voor het voortstuwings- en visbedrijf nam toen snel toe.
Uit de energiebalans van de HD 22 is vast te stellen, dat het geïnstalleerde draaistroomvermogen het gelijkstroomvermogen benadert.

Op koopvaardijschepen worden over het algemeen borstelloze synchrone generatoren gebruikt, op vissersschepen (stroom) gekompoundeerde synchrone generatoren. [8,9]
De voordelen van de laatste zijn: lage prijs, geen ingewikkelde schakelingen en regelingen en zeer bedrijfszeker.

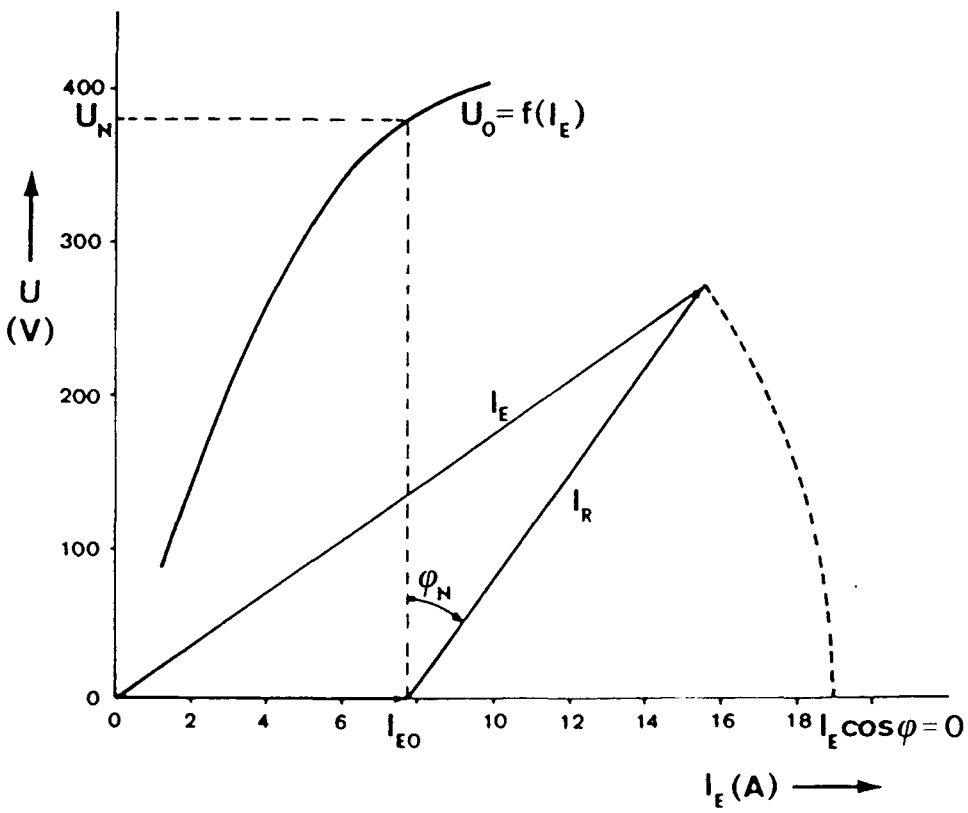
Met een gekompoundeerde synchrone generator wordt een generator bedoeld die geen aparte bekrachtigingsmachine en geen spanningsregeling heeft.
De bekrachtigingsenergie wordt via een speciale transformator en gelijkrichter uit de primaire generatorkring betrokken.
Er zijn twee vormen van kompoundering: spannings- en stroomkompoundering.
Daar op schepen relatief kleine generatoren worden gebruikt die overwegend belast worden door asynchrone motoren, past men bijvoorkeur stroomkompoundering toe.
Bij stroomkompoundering worden spanningsdippen ten gevolge van grote belastingswisselingen zeer snel bijgeregeld.
Het principe waarop stroomkompoundering berust kan als volgt beschreven worden. Zie figuur 7.

Stroomtransformator T heeft twee primaire en één secundaire wikkeling op een gemeenschappelijke kern.
Eén der primaire wikkelingen wordt doorlopen door de belastingsstroom, de ander door een stroom die door spoel Dr een afgeleide is van de klemspanning.
Aan de bekrachtigingswikkeling van de generator wordt de gelijkgerichte stroom van de secondaire van transformator T toegevoerd.
In stationaire toestand is de spanningsval over het ohmse deel en in niet-stationaire toestand, dus bij belastingsstroom veranderingen, de spanningsval over het reactantie deel van de bekrachtigingswikkeling bepalend voor de bekrachtigingsspanning.
Doordat de verandering van de bekrachtigingsspanning in theorie oneindig hoog kan worden, is de regelsnelheid van deze kompoundering hoog.
De verzadiging van de stroomtransformator stelt hier echter beperkingen aan ofschoon het regelend effekt reeds optreedt in het subtransiente deel van de spanningsval.
Een extra voordeel van stroomkompoundering ten opzichte van spanningskompoundering is de ongevoeligheid voor temperatuursveranderingen van de bekrachtigingswikkeling bij opwarming van de gehele generator.
Een stroomgekompoundeerde synchrone generator heeft een stationaire kortsluitstroom I_k van 5 tot 7 maal de nominale stroom I_N en een spanningsnauwkeurigheid van circa ± 2,5 %.
De spanningsnauwkeurigheid voldoet aan de norm gesteld in IEC Publication 92-301 voor scheepsgeneratoren.
De stationaire kortsluitstroom moet volgens deze norm tenminste $3.I_N$ gedurende twee sekonden zijn.

In figuur 8 is het bekrachtigingsdiagram van de 95 kVA generator van de HD 22 getekend.
Hierin zijn I_R de belastingsstroom komponent van de kompoundering, I_{EO} de stroom komponent afgeleid van de klemspanning en I_E de samengestelde bekrachtigingsstroom.



Figuur 7. Principe stroomkompoundering synchrone generator.

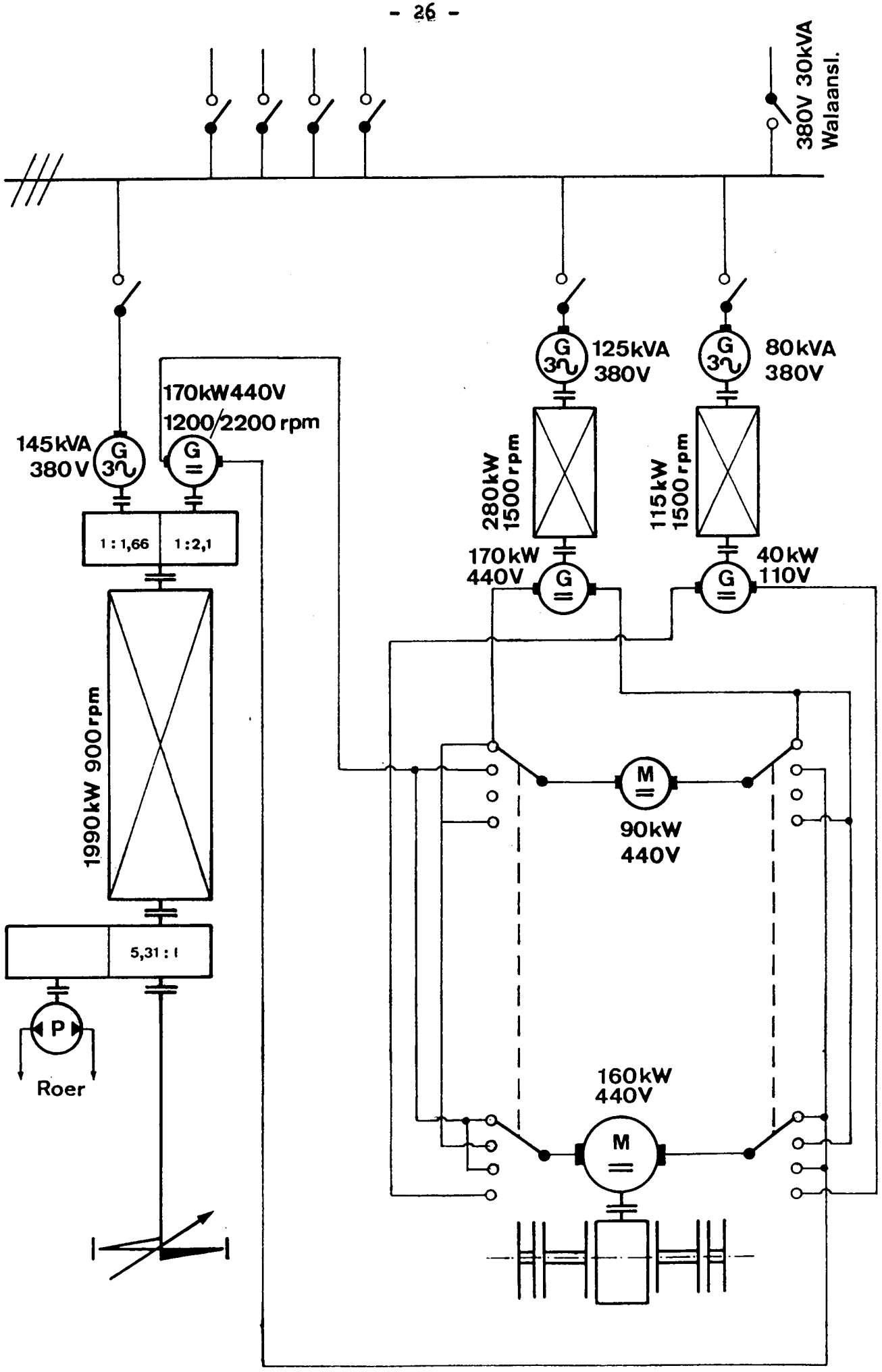


Figuur 8. Bekrachtigingsdiagram Indar 95 kVA synchrone generator.

Sedert 1982 wordt een aantal nieuwbouwkotters, overwegend "zuid"-schepen, uitgerust met een verstelbare schroef.
De belangrijkste voordelen van een verstelbare schroef zijn:
- de voortstuwingsmotor draait met konstant toerental, hetgeen gunstig is indien als brandstof stookolie (viscositeit 30 tot 180 mm^2/s) in plaats van gasolie (viscositeit 3 mm^2/s) wordt gebruikt en
- er hoeft geen compromis gesloten te worden tussen een "loop"- en een "trek"-schroef.

Een bijkomend voordeel is, dat de draaistroomgenerator via een p.t.o. van een tandwielkast door de hoofdmotor kan worden aangedreven, waardoor het rendement van deze motor bij lage schroefbelasting verbetert en de hulpdieselmotor, die de generator normaal aandrijft, gestopt kan worden.
Een voorbeeld van dit systeem vormt de "Maartje" GO 26, zie figuur 9.
Op dit schip worden de gelijk- èn de draaistroomgenerator door een aparte verdeeltandwielkast, gemonteerd aan de voorzijde van de hoofdmotor, aangedreven.

Vergelijken we figuur 9 met figuur 5 (HD 22), dan vallen de verschillen in geïnstalleerd vermogen tussen een "noord"- en een "zuid"-schip duidelijk op, zie ook de opmerkingen onder 2.1 "De boomkorvisserij".
De hoofdafmetingen van de GO 26 zijn vrijwel gelijk aan die van de HD 22; beide schepen zijn bij dezelfde werf gebouwd.



Figuur 9. Hoofdbestanddelen elektrische installatie GO 26.

5.4 Algemene opmerkingen betreffende het geïnstalleerde vermogen.

Het geinstalleerde hulpdiesel- en generatorvermogen verschilt sterk per kotter.
Dit wordt voor een deel veroorzaakt door het verschil in visgronden die door de kotters worden bevist, zie de opmerkingen aangaande "noord"- en "zuid"-schepen onder "Boomkorvisserij", echter ook voor een deel door de eisen die de eigenaar of de schipper stelt ten aanzien van een veilige en zekere bedrijfsvoering.
Vooral dit laatste maakt dat er, ook wat de elektro-technische uitrusting betreft, bijna geen twee kotters gelijk zijn, zelfs niet binnen één en dezelfde rederij.

Het ontbreken van standaardisatie bij de bouw van kotters brengt zonder twijfel hogere bouwkosten met zich mee, terwijl de kans dat bepaalde machines of onderdelen ervan ingeval van defekten niet "op de plank liggen", groot is.
De gewenste kontinue bedrijfsvoering komt hierdoor, ondanks extra geïnstalleerd vermogen toch in gevaar.

Een voorbeeld van niet geheel consequent doorgevoerde verhoging van bedrijfszekerheid vinden we bij bestudering van figuren 5 en 9: er blijkt voldoende gelijkstroomvermogen te kunnen worden opgewekt, door drie generatoren, echter de verbruiker, de visliermotor, is slechts enkelvoudig uitgevoerd.

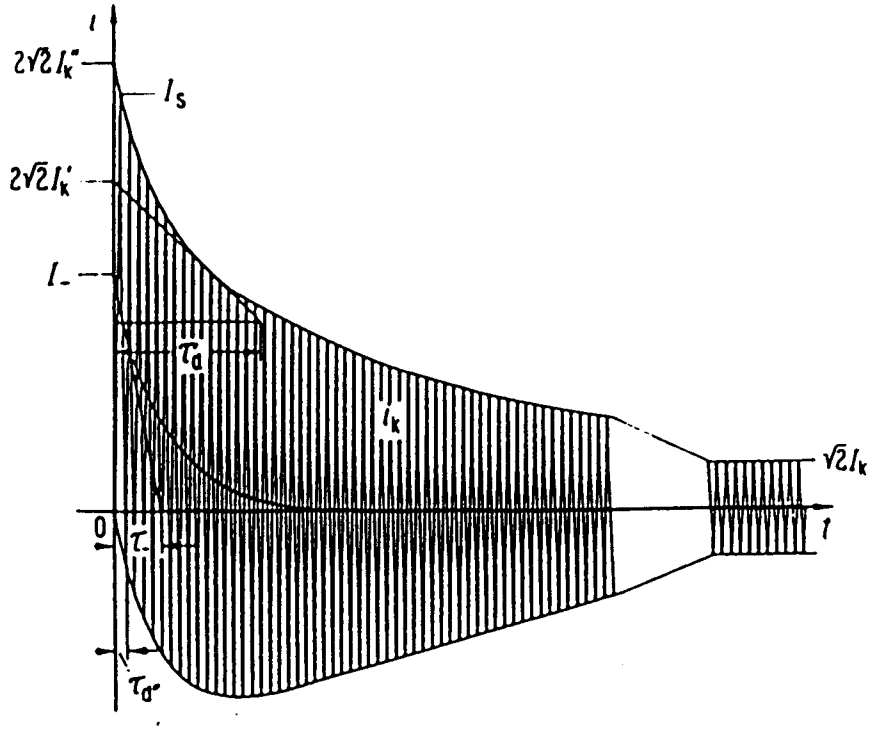
6. Kortsluitingen in het draaistroomnet.

Teneinde een elektrische installatie tijdens kortsluitingen door afschakeling afdoende te beveiligen en de mechanische en thermische belastingen op railsystemen en kabels vast te stellen, dienen kortsluitberekeningen te worden uitgevoerd.

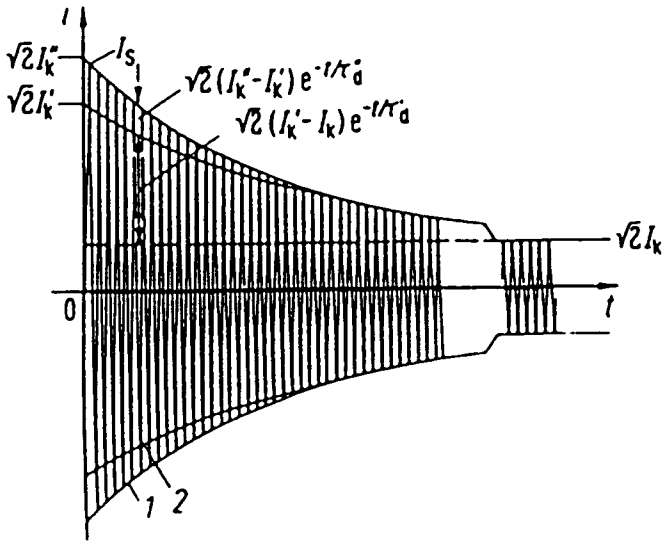
6.1 Het kortsluitgedrag van een synchrone generator.

Wordt een synchrone generator aan zijn klemmen kortgesloten, dan verloopt de kortsluitstroom, afhankelijk van de machinekonstanten, de lasthoek en de belastingsgraad, als in figuren 10 en 11 getekend. [10, 11]
Het kortsluitgedrag van een synchrone generator kan worden beschreven door uit te gaan van het konstant flux principe dat berust op het gegeven dat de tijdkonstanten van de stator- en rotorwikkelingen lang zijn t.o.v. periodetijd T.
Volgens dit principe zijn op het moment van kortsluiting alle velden in hun betreffende wikkelingen gefixeerd en zal een grote kortsluitstroom noodzakelijk zijn om de oorspronkelijke flux in de statorwikkeling te handhaven.
De verdringing van het stator- en rotorveld in de luchtspleet tussen stator- en rotorijzer veroorzaakt een schijnbare verlaging van de statorreactantie in vergelijking tot de normale synchrone reactantie. Deze schijnbare reactantie bepaalt mede vorm en grootte van de kortsluitstroom.

De kortsluitstroom wordt ook beïnvloed door de wisselwerking tussen de bekrachtigings- en de demperwikkeling op de rotor.
Door deze wisselwerking ontstaan twee wisselstroomaandelen in de kortsluitstroom, ieder met een eigen tijdkonstante.
Men onderscheidt de subtransiente kortsluitstroom I" met tijdkonstante τ'' en de transiente kortsluitstroom I' met tijdkonstante τ'.
Deze tijdkonstanten worden bepaald door resp. de subtransiente reactantie X''_d en de transiente reactantie X'_d; index d geeft aan dat de waarden zijn betrokken op de magnetische langs-as (direct axis) van de machine.



Figuur 10. Asymmetrische kortsluitstroom.



Figuur 11. Symmetrische kortsluitstroom.

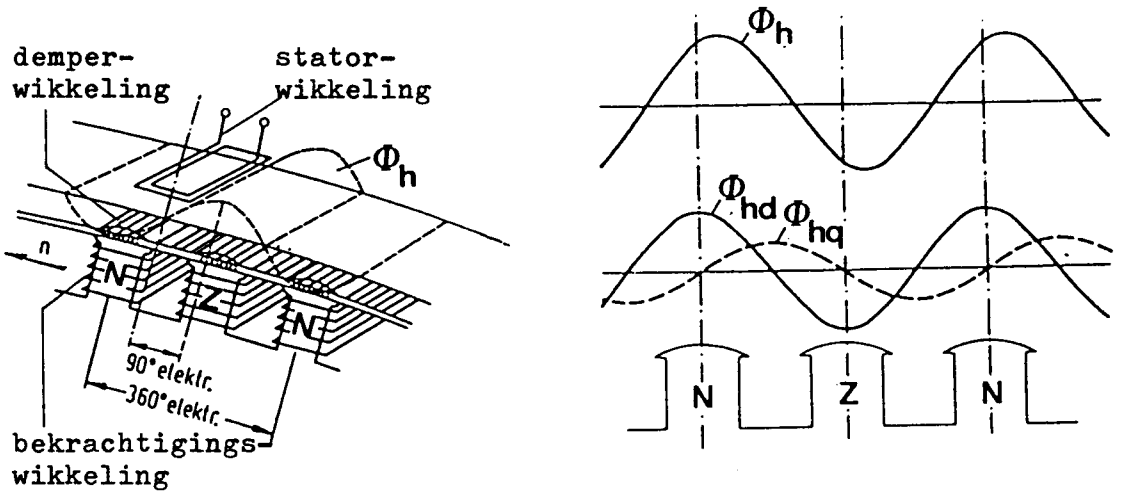
1 = subtransient deel
2 = transient deel

Een verklaring voor het begrip langs-as luidt als volgt.
Het magnetisch veld van de polen op de rotor van de synchrone generator ondergaat bij belasting en belastingsveranderingen van de generator een verschuiving ten opzichte van de polen zelf, zie figuur 12. [9]
Het oorspronkelijke poolveld Φ_h wordt daarom gesplitst in een veld waarvan de maxima en minima samenvallen met de middens van de poolschoenen, het zogenaamde langsveld Φ_{hd}, en in een veld waarvan de maxima en minima samenvallen met de middens tussen de poolschoenen, het zogenaamde dwarsveld Φ_{hq}.
Index q komt van quadrature.

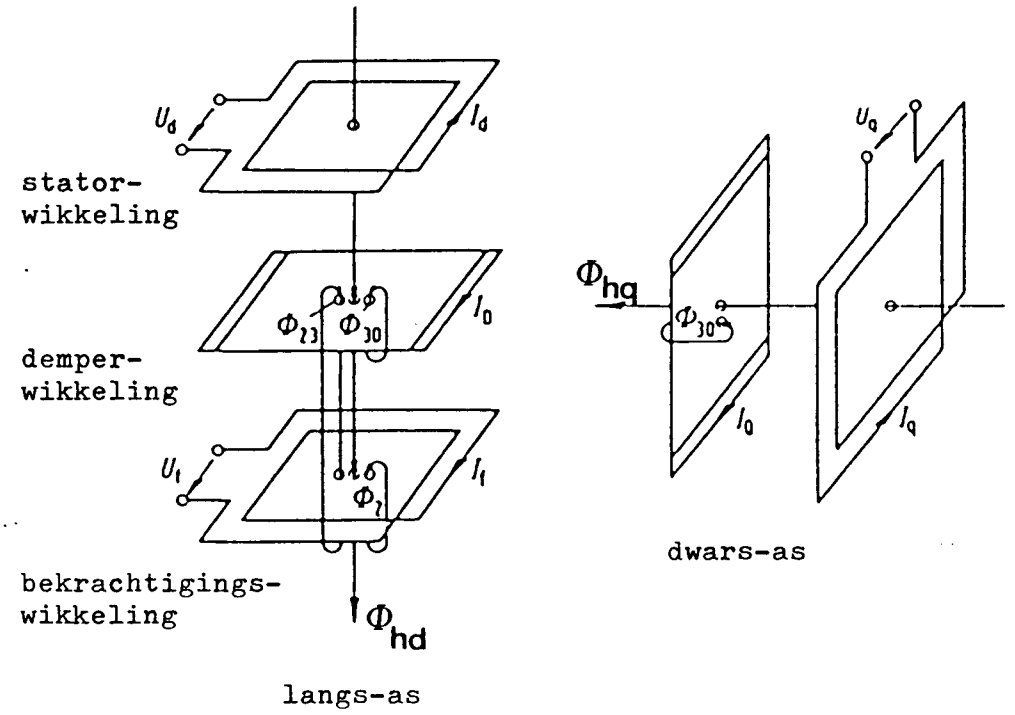
Verschuift het oorspronkelijke veld ten gevolge van belastingsvariaties, dan wordt dit tot uitdrukking gebracht door een verandering van de maximale waarden van Φ_{hd} en Φ_{hq}.
Wordt het oorspronkelijke veld alleen groter, dan nemen beide deelvelden in gelijke mate toe.

Door deze onderverdeling ontstaat tegelijkertijd een nieuwe onderlinge beïnvloeding van de velden die ontstaan vanuit de stator-, demper- en bekrachtigingswikkeling.
Uit figuur 13 blijkt dat de demperwikkeling en de bekrachtigingswikkeling, beiden van belang bij het subtransiente en transiente gedrag van de machine, alleen in de langs-as met elkaar zijn gekoppeld.
Bij kortsluitberekeningen worden dan ook alleen de reactanties in de langs-as van de machine beschouwd, althans wat het subtransiente en transiente gedrag betreft.

De piekwaarde van de kortsluitstroom, die optreedt gedurende de eerste periode van de wisselstroom, wordt bepaald door de faseverschuiving tussen de generatorspanning en de kortsluitstroom. [12]
Bij generator-klemmensluiting kan worden uitgegaan van een vrijwel inductieve belasting, dus 80 tot 90 graden faseverschuiving tussen spanning en stroom.



Figuur 12. Verschuiving hoofdveld t.o.v. polen.



Figuur 13. Splitsing velden in langs- en dwars-assen.

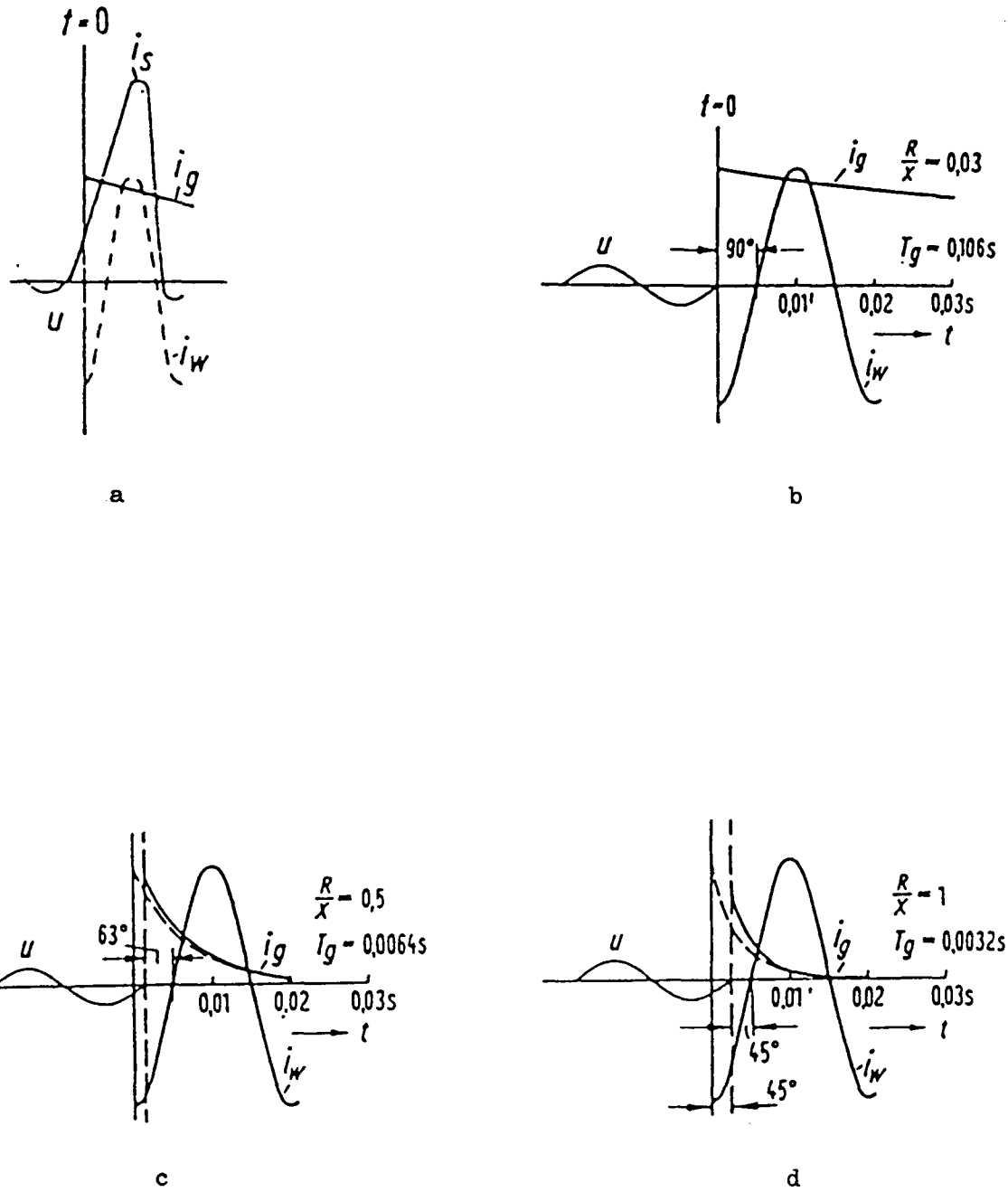
Daar de stroom niet onmiddellijk op het moment van kortsluiting zijn maximale waarde kan bereiken, zal de kortsluitstroom een gelijkstroomdeel bevatten met een maximale waarde, geëxtrapoleerd naar t = 0, die gelijk is aan de piekwaarde van de wisselstroom, zie figuur 14a.
De gelijkstroom neemt exponentieel met zijn eigen tijdkonstante τ_{dc} af tot nul.
De kortsluitstroom kan aldus gedacht worden te zijn opgebouwd uit een, ten opzichte van de nullijn, symmetrische wisselstroom, figuur 11, en een, ten opzichte van de nullijn eenzijdige, gelijkstroom die tesamen een asymmetrische kortsluitstroom vormen als getekend in figuur 10.

De invloed van de verhouding tussen weerstand en reactantie van de kortsluitweg, dus de faseverschuiving tussen spanning en stroom, op de kortsluitstroom is weergegeven in figuren 14b, c en d.
Indien de faseverschuiving kleiner is dan 45°, zal de gelijkstroom reeds zijn afgenomen tot nul voordat de wisselstroom zijn maximale waarde heeft bereikt.
In dit geval verloopt de kortsluitstroom geheel symmetrisch zoals in figuur 11 weergegeven.

De piekwaarde van de kortsluitstroom, geëxtrapoleerd naar t = 0, wordt stootkortsluitstroom genoemd, symbolen I_{pm} of i_p.

Voor de aan het begin van dit hoofdstuk genoemde kortsluitberekeningen zijn de volgende stromen van belang:
- de nominale door de generator te leveren stroom I_N
- de subtransiente kortsluitstroom I" of I''_k
- de transiente kortsluitstroom I'
- de maximale piekwaarde van de kortsluitstroom I_{pm} of i_p
- de stationaire kortsluitstroom I_s.

Deze stromen worden in hoofdstuk 6.8 "Kortsluitberekeningen aan de HD 22 installatie" berekend.



Figuur 14. a) ontstaan kortsluitstroom uit wisselstroom i_w en gelijkstroom i_g

b) c) d) invloed van R/X op de waarde van i_g

6.2 Definities en berekeningswijzen van kortsluitstromen volgens verschillende normen.

In diverse normbladen worden definities gegeven van de in het vorige hoofdstuk genoemde kortsluitstromen.
Ook worden diverse berekeningsmethoden en vuistregels aangegeven die, zelfs als men over slechts summiere gegevens beschikt, een goed inzicht verschaffen in de optredende kortsluitstromen.

In dit verslag zullen twee definities en berekeningswijzen van kortsluitstromen worden gehanteerd namelijk die volgens IEC (International Electrotechnical Commission) en DIN (Deutsches Institut für Normung e.V.)

Onderstaande normen werden hiertoe geraadpleegd.
IEC Publication 92-202 "Electrical installations in ships", "System design - Protection" 1980.

IEC Publication 92-301 "Electrical installations in ships", "Generators and motors" 1980.

IEC Publication 92-302 "Electrical installations in ships", "Equipment - Switchgear and controlgear assemblies" 1980.

IEC Publication 34-2 "Rotating electrical machines", "Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles)" 1972.

IEC Publication 34-4 "Recommendations for rotating electrical machinery (excluding machines for traction vehicles)" 1967.

IEC Publication 363 "Short-circuit evaluation with special regard to rated short-circuit capacity of circuit-breakers in installations in ships" 1972.

DIN 89 013 (Vornorm) Schiffbau "Leitsätze für die Berechnung der grössten Kurzschlussströme" 1983.

NEN 3173 "Roterende elektrische machines" 1974.

Vornorm DIN 89 013 bevat een aantal gestandaardiseerde berekeningsbladen die naar mijn mening het best toepasbaar zijn en in dit verslag dan ook zullen worden gebruikt.

De definitie van de nominale stroom I_N is in alle normbladen vrijwel eensluidend en is volgens NEN 3173 als volgt:

De <u>nominale stroom</u> I_N is de stroom die de generator bij nominaal bedrijf levert, dat wil zeggen bij gebruik van de machine volgens de door de fabrikant aan de machine gegeven elektrische en mechanische eigenschappen.
In nominaal bedrijf is de nominale spanning U_N de spanning tussen de netfasen aan de klemmen van de machine.
In nominaal bedrijf is het nominale vermogen S_N het schijnbare elektrische vermogen aan de klemmen, uitgedrukt in voltampère (VA), onder toevoeging van de arbeidsfaktor $\cos\varphi$.
De nominale stroom kan berekend worden met formule

$$I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_N} \quad \text{Ampère.}$$

In het hoofdstuk "Kortsluitberekeningen aan de installatie van de HD 22" zal alleen een generatorklemmenkortsluiting worden beschouwd en de invloed daarop van in bedrijf zijnde asynchrone motoren.
In de nu volgende hoofdstukken worden daarom alleen definities en berekeningswijzen van de daarbij optredende kortsluitstromen behandeld, volgens IEC en DIN; de invloed van kabels wordt verwaarloosd.
Deze verwaarlozing brengt met zich mee dat de kortsluiting als extreem ongunstig kan worden beschouwd.

6.3 Definities en berekeningswijzen volgens IEC normen.

De subtransiente kortsluitstroom I" is de effectieve waarde van de wisselstroomkomponent van de kortsluitstroom van een generator, geëxtrapoleerd naar t = 0.
Onderscheid moet worden gemaakt naar $I''_{nullast}$ en $I''_{vollast}$.
$I''_{vollast}$ kan, als onvoldoende gegevens van de machine bekend zijn, bepaald worden door $I''_{nullast}$ met een faktor 1,1 te vermenigvuldigen.
Deze faktor is gebaseerd op de karakteristieke eigenschappen van de nominaal vermogen leverende synchrone generator op het moment van kortsluiting.
De subtransiente kortsluitstroom kan berekend worden met formule

$$I''_{nullast} = \frac{U_N}{X''_d} = \frac{1}{x''_d} \cdot I_N \text{ Ampère}$$

waarin X''_d de subtransiente reactantie van de generator in de langs-as en x''_d de procentuele subtransiente reactantie is.

De transiente kortsluitstroom I' is de effectieve waarde van de wisselstroomkomponent van de kortsluitstroom van een generator, geëxtrapoleerd naar t = 0 bij maximum bekrachtiging.
Ook nu dient onderscheid gemaakt te worden naar $I'_{nullast}$ en $I'_{vollast}$, waarbij dezelfde vermenigvuldigingsfaktor als bij I" kan worden gebruikt.
De transiente kortsluitstroom kan berekend worden met formule

$$I'_{nullast} = \frac{U_N}{X'_d} = \frac{1}{x'_d} \cdot I_N \text{ Ampère}$$

waarin X'_d de transiente reactantie van de generator in de langs-as en x'_d de procentuele transiente reactantie is.

De maximale piekwaarde van de kortsluitstroom I_{pm}, ook stoot-kortsluitstroom genoemd, is van belang voor bepaling van de dynamische eisen waaraan railsystemen en afschakelapparatuur moeten voldoen.
De waarde van I_{pm} is afhankelijk van I", van de verhouding tussen de transiente en subtransiente reactanties X'_d en X''_d, van de tijdkonstante τ''_d van I" en van de arbeidsfaktor $\cos\varphi$ van het kortsluitcircuit.

τ''_d bepaalt hierbij de afname van de kortsluitwisselstroom voordat deze, na het moment van kortsluiting, zijn maximale piekwaarde heeft bereikt; de duur van deze afname wordt gesteld op $\frac{1}{2}T$ met T = periodetijd van de wisselstroom.
Arbeidsfaktor $\cos\varphi$ bepaalt het al of niet optreden van een gelijkstroomkomponent en de grootte ervan in de kortsluitstroom.
De afname van deze gelijkstroomkomponent hangt af van de gelijkstroomtijdkonstante τ_{dc}, terwijl de duur van deze afname eveneens op $\frac{1}{2}T$ wordt gesteld.
De gelijkstroomkomponent I_{dc} heeft, geëxtrapoleerd naar t = 0, een waarde van $\sqrt{2}$. I" Ampère.
In de IEC norm wordt niet aangegeven waarom men de verhouding X'_d/X''_d voor de berekeningen van I_{pm} hanteert.
Een verklaring kan gevonden worden in [9] waar gesteld wordt dat de subtransiente tijdkonstante τ''_d toeneemt met de verhouding x'_d/x''_d indien bij een kortsluiting rekening wordt gehouden met de netreaktanties tussen generator en kortsluitplaats.
In dit geval wordt de generatorspanning op het moment van kortsluiting niet onmiddellijk nul, maar ontstaat een gecompliceerder proces met o.a. een tijdkonstante $\tau''_{dL} = (x'_d/x''_d).\tau''_d = \tau''_{do}$, waarin met index L de belaste en met o de nullast toestand wordt aangegeven.

I_{pm} kan berekend worden met formule

$$I_{pm} = \sqrt{2}\left[(I'' - I')\exp(-T/2\tau''_d) + I'\right] + \sqrt{2}\ .\ I''\exp(-T/2\tau_{dc})\ \text{Ampère.}$$

Hierin is het eerste deel de wisselstroom-, het tweede deel de gelijkstroomkomponent terwijl $t = \frac{1}{2}T$.

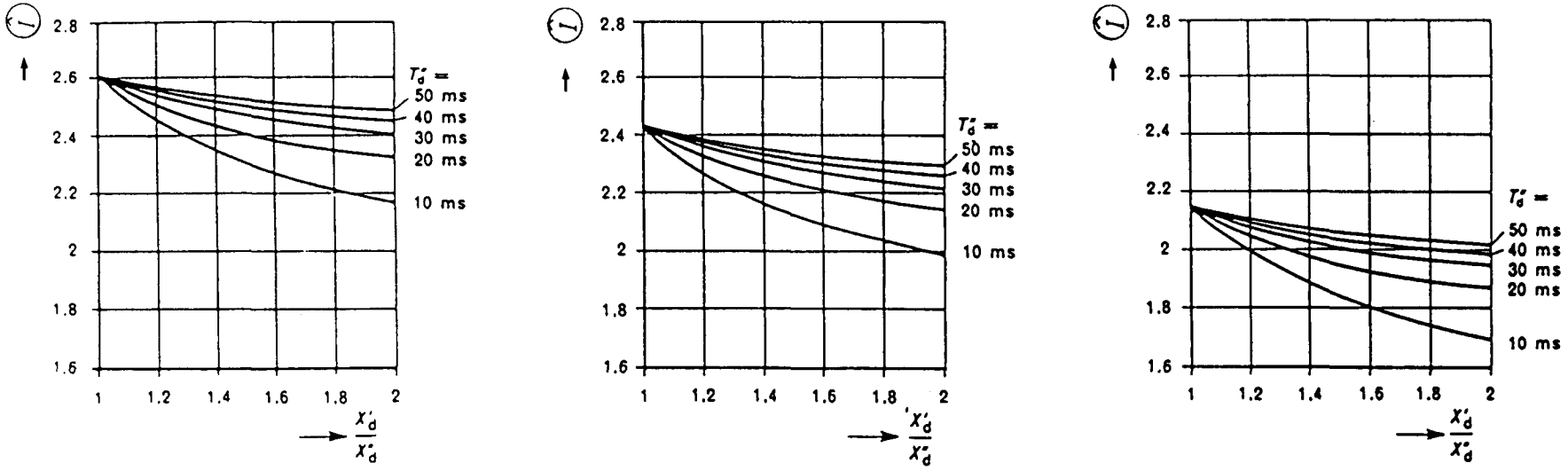
I_{pm} kan eenvoudiger bepaald worden met behulp van diagrammen, zie figuur 15.
Door $I''_{nullast}$ met een faktor $\hat{I}$ te vermenigvuldigen vindt men I_{pm}.
De voor deze diagrammen benodigde machinekonstanten kunnen worden verstrekt door de leverancier van de generator terwijl de arbeidsfaktor volgens [13] op 0,1 gesteld kan worden.

De <u>stationaire kortsluitstroom</u> I_s is de kortsluitstroom die in het kortsluitcircuit blijft bestaan, nadat alle overgangsverschijnselen zijn uitgedempt.
Zoals reeds eerder onder "Vermogenshuishouding" werd vermeld, bedraagt deze stroom bij een synchrone generator met een bekrachtigingsregeling zoals gewoonlijk op vissersschepen geïnstalleerd 5 tot 7 maal de nominale stroom I_N.
Het voordeel van deze relatief grote kortsluitstroom is dat bij gebruik van smeltveiligheden snelle afschakeling plaatsvindt, hetgeen vooral van belang is op schepen waar parallelbedrijf mogelijk is.
Voor zover mij bekend is op dit moment overigens nog geen enkele kotter uitgerust voor parallelbedrijf.

In figuur 16 is van een synchrone generator de kortsluitstroom voor de eerste perioden weergegeven door de omhullende van de effectieve waarde van deze stroom.
Tevens is aangegeven hoe de subtransiente en transiente tijdkonstanten bepaald kunnen worden.
De getalwaarde 0,37 komt overeen met een tijd $t = \tau''_d$ respectievelijk $t = \tau'_d$ in de macht van exponent e.

De <u>effectieve waarde van de kortsluitstroom</u> gedurende de eerste perioden van deze stroom, I_{ac}, is van belang voor bepaling van de thermische eisen waaraan afschakelapparatuur en railsystemen moeten voldoen.
Deze stroom kan berekend worden met formule

$$I_{ac} = (I'' - I') \exp((-t/\tau''_d) + I' \quad \text{Ampère.}$$

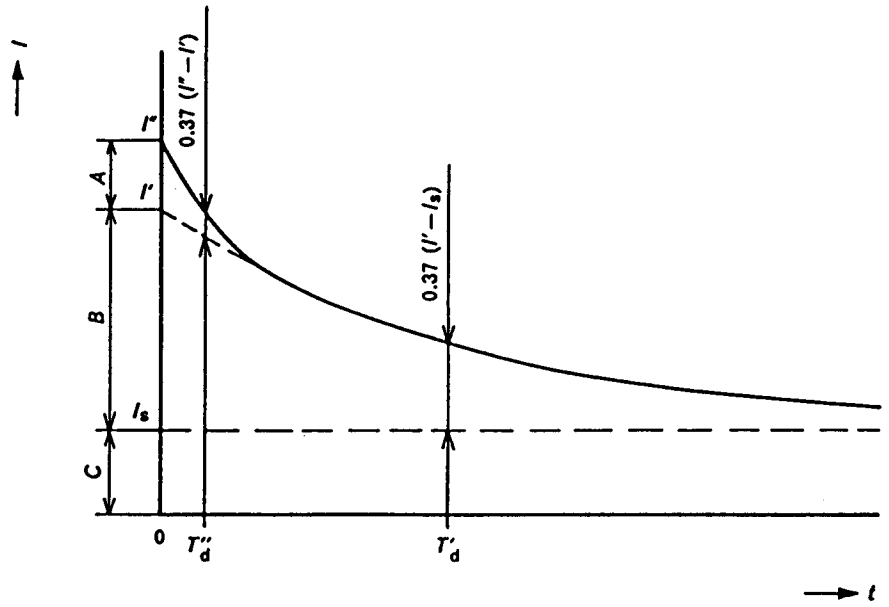


$\cos\varphi = 0{,}05$ $\cos\varphi = 0{,}1$ $\cos\varphi = 0{,}2$

$$I_{piek\ max} = \hat{I} \cdot I''_{nullast}$$

Figuur 15. Diagrammen ter bepaling van $I_{piek\ max}$.

Vermenigvuldigingsfaktor $\hat{I}$ als funktie van X'_d/X''_d, τ''_d en $\cos\varphi$. (f = 50 Hz.)



$$I'' = A + B + C$$

$$A = (I'' - I') \exp(-t/\tau''_d)$$

$$B = (I' - I_s) \exp(-t/\tau'_d)$$

$$C = I_s$$

$$I_{ac} = (I'' - I') \exp(-t/\tau''_d) + (I' - I_s) \exp(-t/\tau'_d) + I_s$$

$$I'' = \frac{U_N}{X''_d}$$

$$I' = \frac{U_N}{X'_d}$$

Van alle stromen de effectieve waarde.

Figuur 16. Omhullende van de effectieve waarde van de kortsluitstroom van een synchrone generator.

6.4 Definities en berekeningswijzen volgens DIN normen.

De definities en berekeningswijzen volgens DIN, voorzover afwijkend van IEC, van de kortsluitstromen zijn als volgt:

De aanvangskortsluitstroom I''_k is de effectieve waarde van de kortsluitstroom op het moment dat de kortsluiting optreedt. I''_k van een generator kan worden berekend met formule

$$I''_{kG} = \frac{E''}{Z_k} = \frac{E''}{\sqrt{R_k^2 + X_k^2}} \text{ Ampère}$$

waarin E" de generatoraanvangsspanning is en R_k respectievelijk X_k de ohmse weerstand en reactantie van het kortsluitcircuit zijn. Generatoraanvangsspanning E", zie figuur 17, wordt beïnvloed door de aanvangsreactantie van de generator X''_d, de generatorklemspanning U_n en de grootte en fasehoek van de belastingsstroom I_G op het moment van kortsluiting.
Genoemde invloeden kunnen in een faktor v, spanningsfaktor genoemd, worden uitgedrukt waarna geldt:

$$E'' = v \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}} \text{ Volt.}$$

Voor $x''_d \leqq 15$ % geldt v = 1,06, voor $x''_d \geqq 15$ % geldt formule

$$E'' = \frac{U_n}{\sqrt{3}} + X''_d \cdot I_G \cdot \sin\varphi \text{ Volt met } I_G \leqq 0{,}8 \cdot I_{rG}.$$

I_{rG} is de nominale belastingsstroom van de generator.

Indien alleen een generatorklemmensluiting wordt beschouwd, worden voor R_k en X_k de generatorweerstand en -reactantie genomen, waarbij geldt:

$R_G = R/X \cdot X''_d$ en $X_G = X''_d$.

Hierin is R/X de verhouding tussen de ohmse weerstand en de reactantie van de generator.
Is deze verhouding niet bekend, dan kan een richtwaarde van Tabel 3 uit DIN 89 013 worden aangenomen, zie figuur 18.

De <u>stootkortsluitstroom</u> i_p is de grootst mogelijke piekwaarde van de kortsluitstroom na het ontstaan van een kortsluiting.
i_p van een generator kan worden berekend met formule

$$i_{pG} = \sqrt{2} \cdot I''_k \cdot \left[(1 - \exp(-t/\tau_{dc}) \cdot \sin\gamma)\right] = \kappa\sqrt{2} \cdot I''_{kG} \text{ Ampère.}$$

waarin κ de zogenaamde stootfaktor is.
De stootfaktor kan, volgens VDE 0102, berekend worden met formule

$\kappa = 1{,}02 + 0{,}98\exp(-3 \cdot R/X)$ of bepaald worden met de grafiek

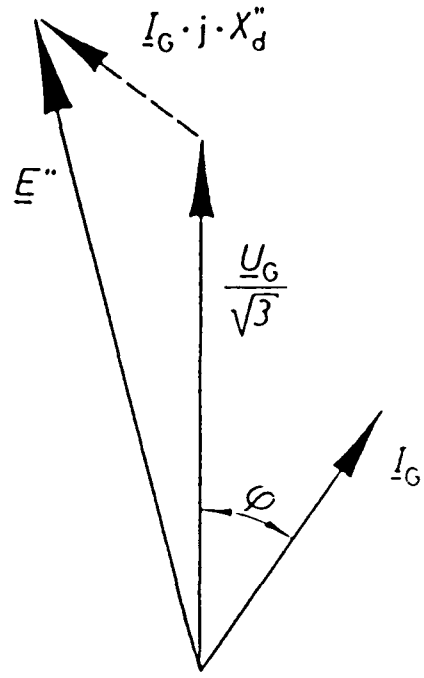
in figuur 19.
Voor vaststelling van de verhouding R/X geldt ook nu het reeds eerder gestelde bij vaststelling van R_G.
De formule voor i_{pG} wordt in [10] als volgt afgeleid:

$$i_k = i''_k + i_{dc} = \sqrt{2} \cdot I''_k \left[(\sin\omega t + \gamma) - \exp(-t/\tau_{dc}) \cdot \sin\gamma\right]$$

waarin γ de fasehoek tussen de klemspanning en de kortsluitstroom is, zie figuur 20.
De piekwaarde van i_k (in [10] I_s genoemd) treedt op bij $\omega t = \pi/2 - \gamma$ zodat

$$i_{pG} = (I_s) = \sqrt{2} \cdot I''_k \left[1 - \exp(-t/\tau_{dc}) \cdot \sin\gamma\right] \text{ Ampère.}$$

Het deel tussen haken wordt stootfaktor κ genoemd en kan worden berekend zoals reeds eerder vermeld.



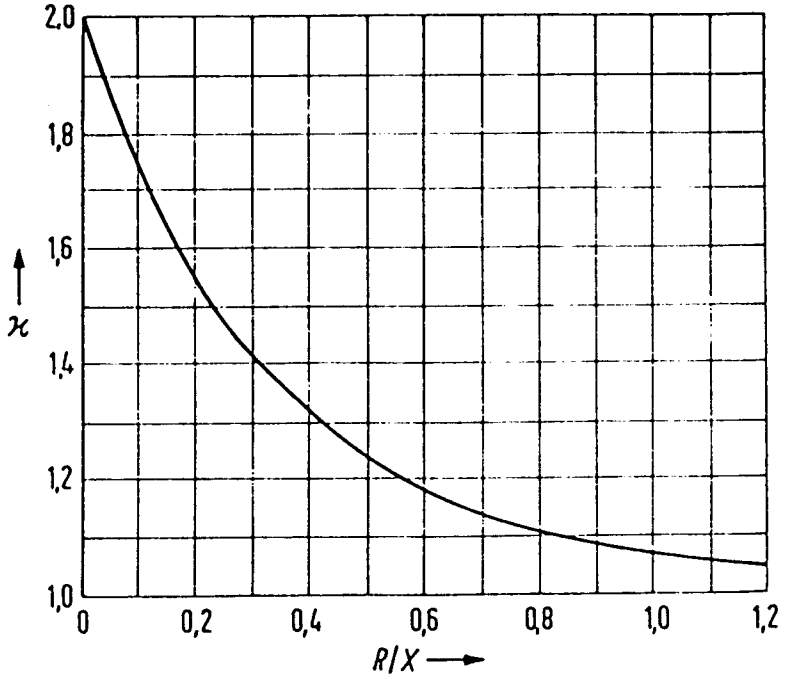
Figuur 17. Vektordiagram ter bepaling van E".

Tabel 3 uit DIN 89 013.

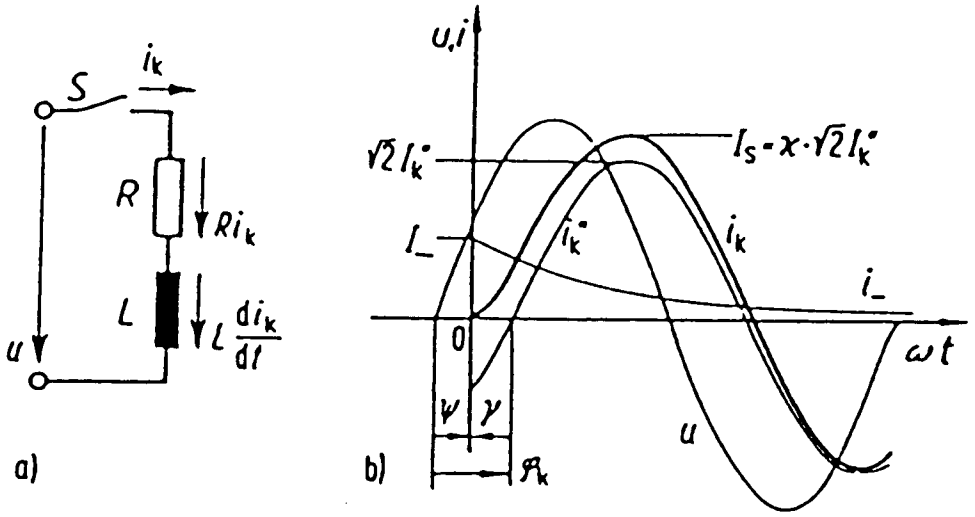
Betriebsmittel	elektrische Daten	$\frac{R}{X}$	Bemerkungen
Synchronmaschine	$x''_d = 10\% \ldots 15\% \ldots 20\%$	0,30	$S_r \leq 150\,\text{kVA}$
		0,25	$150\,\text{kVA} < S_r < 1000\,\text{kVA}$
		0,15	$S_r > 1000\,\text{kVA}$
Transformator	$u_k = 4\% \ldots 12\%$	0,6 ... 0,2	
Drosselspule	$u_D = 3\% \ldots 10\%$	0,1	
Kabel	$\left.\begin{matrix} r_L \\ x_L \end{matrix}\right\}$ nach Tabelle 4		
Asynchronmotor	$\frac{1}{I_{an}/I_{rMot}} = \frac{1}{5}$ [2] $\eta_r \cdot \cos\varphi_r = 0{,}75$	0,3 [2]	$U_n \leq 1000\,\text{V}$
	$\frac{1}{I_{an}/I_{rMot}} = \frac{1}{6}$ $\eta_r \cdot \cos\varphi_r = 0{,}8$	0,15	$U_n > 1000\,\text{V}$

[2] In den angegebenen Werten sind die Impedanzen kurzer Zuleitungskabel pauschal berücksichtigt. Das Verhältnis *R/X* weicht voraussichtlich von der beabsichtigten Neufassung von VDE 0102 (DIN 57 102) ab.

Figuur 18. Richtwaarden voor de elektrische eigenschappen van de onderdelen van een elektrische installatie.



Figuur 19. Grafiek ter bepaling van stootfaktor κ.



Figuur 20. Kortsluitkring met ohmse weerstand R en zelfinduktie L
a) vervangschema b) verloop spanning en stroom

$$R.i_k + L.di_k/dt = \hat{u}\ \sin(\omega t + \psi)$$

6.5 De bijdrage van asynchrone motoren tot de kortsluitstroom.

Asynchrone motoren funktioneren, door het wegvallen van de netspanning bij kortsluitingen, kortstondig als generatoren door de in deze machines aanwezige magnetische en kinetische energie. Daar in een dergelijk geval echter ook de netbekrachtiging wegvalt, neemt het aandeel van deze motoren in de kortsluitstroom snel af. Tevens geldt dat motoren geen stationaire kortsluitstroom kunnen leveren, terwijl de spanning die de kortsluitstroom levert, lager is dan de netspanning, in het bijzonder bij nominale motorbelasting.
De tijdkonstante waarmee de magnetische energie uitdempt is volgens [13]

$$T = \frac{1}{f} \cdot \frac{11{,}5}{s_n \cdot I_k \cdot \cos\varphi} \quad \text{seconden, waarin}$$

f de netfrequentie, s_n de nominale slip in % en $\cos\varphi$ de nominale arbeidsfaktor zijn.
Bij grote motoren is s_n meestal klein waardoor tijdkonstanten tot 150 ms. voorkomen.
Afhankelijk van het traagheidsmoment en het mechanisch tegenkoppel van de door de motor aangedreven machine, bedraagt de mechanische tijdkonstante 1 à 2 seconden.
Dit betekent dat het toerental van de motor in 0,2 seconde gedaald is tot 80 % van het nominale toerental waardoor tijdens de kortsluiting in het voedende net zich een deel van het normale motoraanloopproces herhaalt.

Achtereenvolgens worden nu de berekeningswijzen voor de kortsluitstromen van asynchrone motoren volgens IEC en DIN worden behandeld. Bij de IEC berekeningen hanteert men, indien te weinig gegevens van de diverse geïnstalleerde motoren bekend zijn, een aantal ervaringsgewijs vastgestelde vermenigvuldigingsfaktoren.

6.6 De berekeningswijze volgens IEC normen.

In IEC Publications 363 en 92.202 zijn een aantal regels vermeld die als volgt luiden:

- de effectieve waarde van de wisselstroomkomponent I''_M van de kortsluitstroom, geleverd door een motor, geëxtrapoleerd naar $t = 0$, bedraagt $6{,}25 . I_N$.

  Hierbij kunnen een aantal kleinere motoren vervangen worden gedacht door één motor met een nominaal vermogen gelijk aan de som van de nominale vermogens van deze motoren, eventueel met inachtname van de gelijktijdigheidsfaktor.
- de afname van I''_M van deze substitutie-motor, gerelateerd aan de periodetijd T, kan worden voorgesteld door een vermenigvuldigingsfaktor van I_N als in onderstaande tabel gegeven.

tijd na moment van kortsluiting	wisselstroomkomponent van I_M
0	$12 . I_N$
$\frac{1}{2}T$	$4 . I_N$
T	$2{,}5 . I_N$
2T	I_N

- de maximale piekwaarde van de kortsluitstroom I_{Mpm} bereikt gewoonlijk geen hogere waarde dan $8 . I_N$ daar de arbeidsfaktor meestal niet kleiner is dan 0,3.

Bovengenoemde vereenvoudigingen mogen niet toegepast worden bij grote motoren en bij kleine motoren die over lange leidingen worden gevoed.
In deze gevallen moeten de kortsluitberekeningen worden uitgevoerd als aangegeven bij generatoren echter betrokken op de motorimpedantie, de transiente tijdkonstante τ', de gelijkstroomtijdkonstante τ_{dc} en de kabelimpedanties.

6.7 De berekeningswijze volgens DIN normen.

De aanvangskortsluitstroom $I''_{k\Sigma Mot}$ volgt uit formule

$$I''_{k\Sigma Mot} = 3{,}7 \cdot \frac{P_{r\Sigma Mot}}{U_n} \text{ Ampère.}$$

De faktor 3,7 ontstaat als onderstaand aangegeven.
Algemeen geldt

$$I''_k = \frac{E_{Mot}}{Z_k} = v \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{Z_k} \text{ Ampère.}$$

$$Z_k = Z_{Mot} = \frac{1}{Ian/I_{rMot}} \cdot \frac{U_{rMot}}{\sqrt{3} \cdot I_{rMot}} \text{ Ohm, waarin}$$

I_{an} de aanloopstroom van de motor is, hier op $5.I_{rMot}$ gesteld volgens tabel 3 in figuur 18.
De index r geeft aan dat alle waarden nominaal zijn (rated).

$$I_{rMot} = \frac{P_{rMot}}{\sqrt{3} \cdot U_{rMot} \cdot \eta_r \cdot \cos\varphi_r} = \frac{1}{0{,}75 \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{P_{rMot}}{U_{rMot}} \text{ Ampère}$$

met voor $\eta_r . \cos\varphi_r = 0{,}75$ volgens de in tabel 3 genoemde richtwaarde.

Aldus gaat gelden:

$$Z_{Mot} = \frac{1}{5 \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{U_{rMot}}{\frac{1}{0{,}75 \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{P_{rMot}}{U_{rMot}}} = 0{,}15 \cdot \frac{U_{rMot}^2}{P_{rMot}} \text{ Ohm.}$$

$$I''_{kMot} = \frac{E_{Mot}}{Z_k} = \frac{v \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}}}{0{,}15 \cdot \frac{U_{rMot}^2}{P_{rMot}}} = 3{,}7 \cdot \frac{P_{rMot}}{U_{rMot}} \text{ Ampère.}$$

De waarde van spanningsfaktor v mag, indien men een aantal asynchrone motoren tesamen neemt, op 0,96 worden gesteld.
Met faktor v wordt uit de nominale motorspanning de spanning op het moment van kortsluiting verkregen.

De stootkortsluitstroom $i_{p\Sigma Mot}$ kan berekend worden met formule

$$i_{p\Sigma Mot} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{k\Sigma Mot} = 2{,}0 \cdot I''_{k\Sigma Mot} \text{ Ampère.}$$

Hierin komt de faktor 2,0 tot stand door $R_{\Sigma Mot}/X_{\Sigma Mot} = 0{,}3$

te stellen, waardoor stootfaktor $\kappa = 1{,}4$, wordt, zie figuren 18 en 19.

6.8 Kortsluitberekeningen aan de HD 22 installatie.

Van de normaal op zee in gebruik zijnde generator zijn de volgende gegevens bekend:

- nominaal vermogen S_N = 95 kVA.
- nominaal toerental 1500 omw./min.
- aantal poolparen p = 2.
- subtransiente reactantie x''_d = 10,2 %
- transiente reactantie x'_d = 19,3 %

Door de leverancier werden de nullast- en kortsluitkarakteristieken van zowel de 50 kVA (noodstroomvoorziening) als de 95 kVA generator opgenomen, zie figuren 21 t/m 26.

De resultaten van de berekeningen volgens IEC normen zijn als volgt:

De nominale stroom

$$I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_N} = \frac{95}{\sqrt{3} \cdot 380} = 144 \text{ Ampère.}$$

De subtransiente reactantie

$$X''_d = x''_d \cdot \frac{U_N^{\,2}}{S_N} = 0{,}102 \cdot \frac{380^2}{95} = 0{,}155 \text{ Ohm.}$$

De subtransiente kortsluitstroom

$$I''_{nullast} = \frac{I_N}{x''_d} = \frac{144}{0{,}102} = 1{,}41 \text{ kA.}$$

$$I''_{vollast} = 1{,}1 \cdot I''_{nullast} = 1{,}1 \cdot 1{,}41 = 1{,}6 \text{ kA.}$$

De transiente reactantie

$$X'_d = x'_d \cdot \frac{U_N^{\,2}}{S_N} = 0{,}193 \cdot \frac{380^2}{95} = 0{,}29 \text{ Ohm.}$$

De <u>transiente kortsluitstroom</u>

$$I'_{nullast} = \frac{I_N}{x'_d} = \frac{144}{0{,}193} = 746 \text{ A.}$$

$$I'_{vollast} = 1{,}1 \cdot I'_{nullast} = 1{,}1 \cdot 746{,}1 = 820 \text{ A.}$$

De <u>stationaire kortsluitstroom</u> I_s hangt af van de bekrachtiging van de synchrone generator.
Uit de kortsluitkarakteristieken, figuren 25 en 26 blijkt I_s = 860 A., dus $6.I_N$.

Voor berekening van de maximale piekwaarde van de kortsluitstroom I_{pm} kan de subtransiente tijdkonstante τ''_d bepaald worden uit figuren 25 en 26.
τ''_d blijkt circa 20 ms. te zijn, zodat met

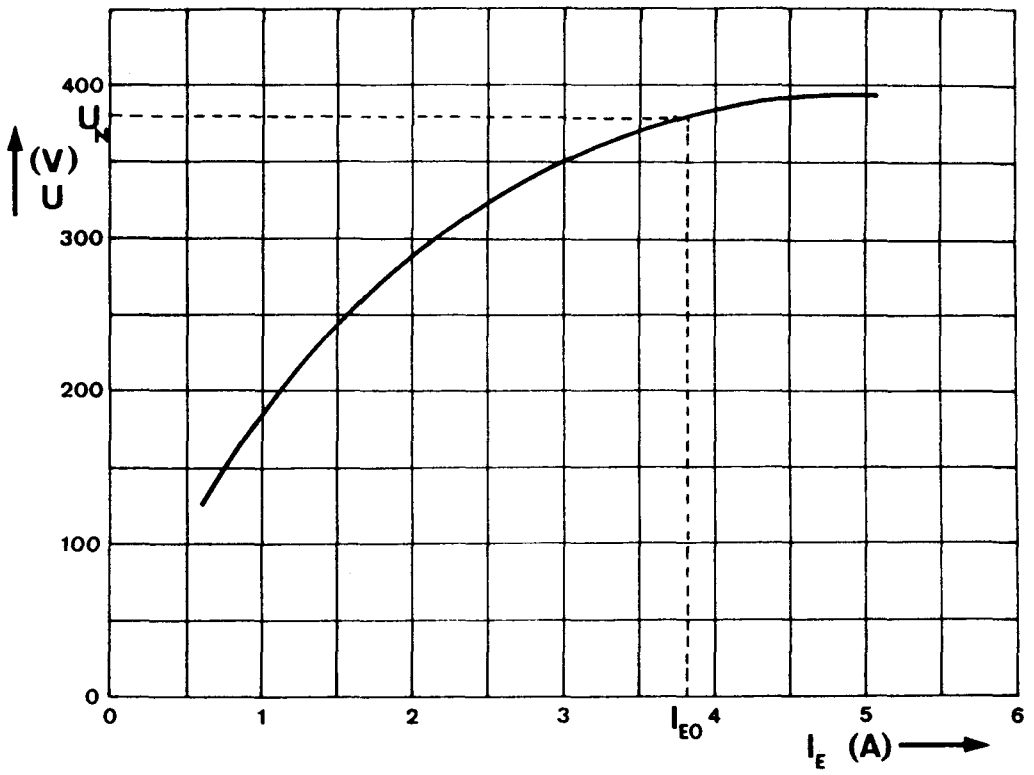
$$\frac{x'_d}{x''_d} = \frac{19{,}3}{10{,}2} = 1{,}89$$ in figuur 15 een vermenigvuldigingsfaktor

$\hat{I}$ = 2,15 wordt gevonden bij $\cos\varphi = 0{,}1$.

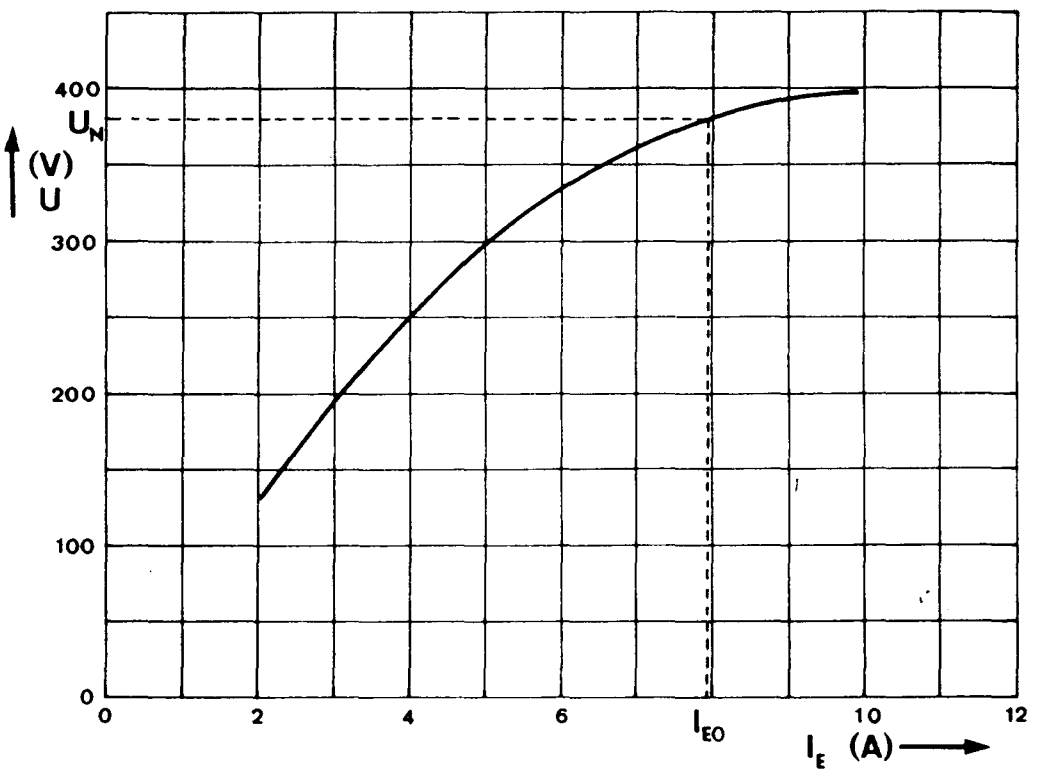
De <u>maximale piekwaarde van de kortsluitstroom</u>

$$I_{pm} = \hat{I} \cdot I''_{nullast} = 2{,}15 \cdot 1{,}41 = 3{,}04 \text{ kA.}$$

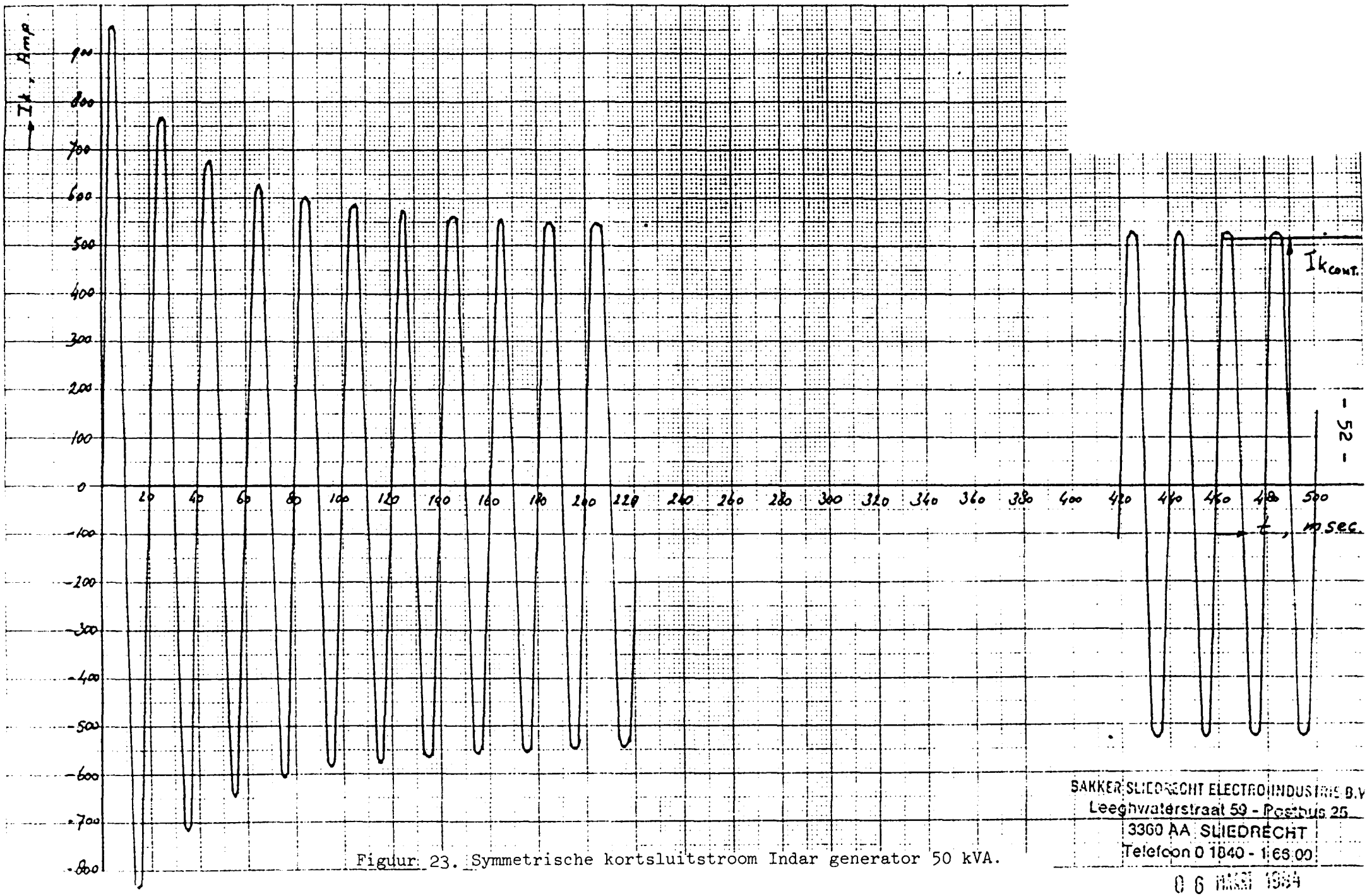
Deze waarde is beduidend lager dan die in figuur 26 getekend.



Figuur 21. Nullastkarakteristiek Indar 50 kVA synchrone generator.



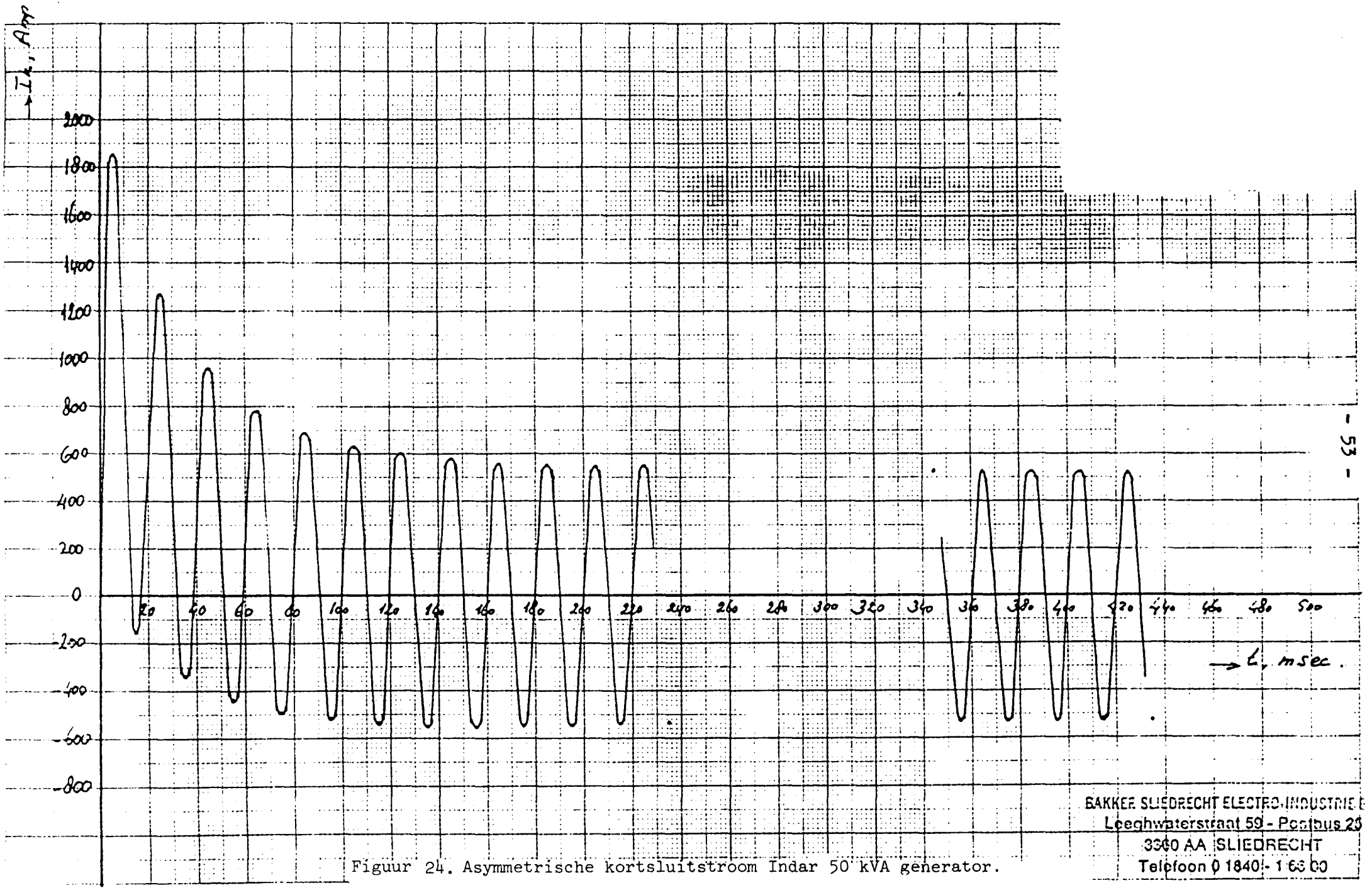
Figuur 22. Nullastkarakteristiek Indar 95 kVA synchrone generator.



Figuur 23. Symmetrische kortsluitstroom Indar generator 50 kVA.

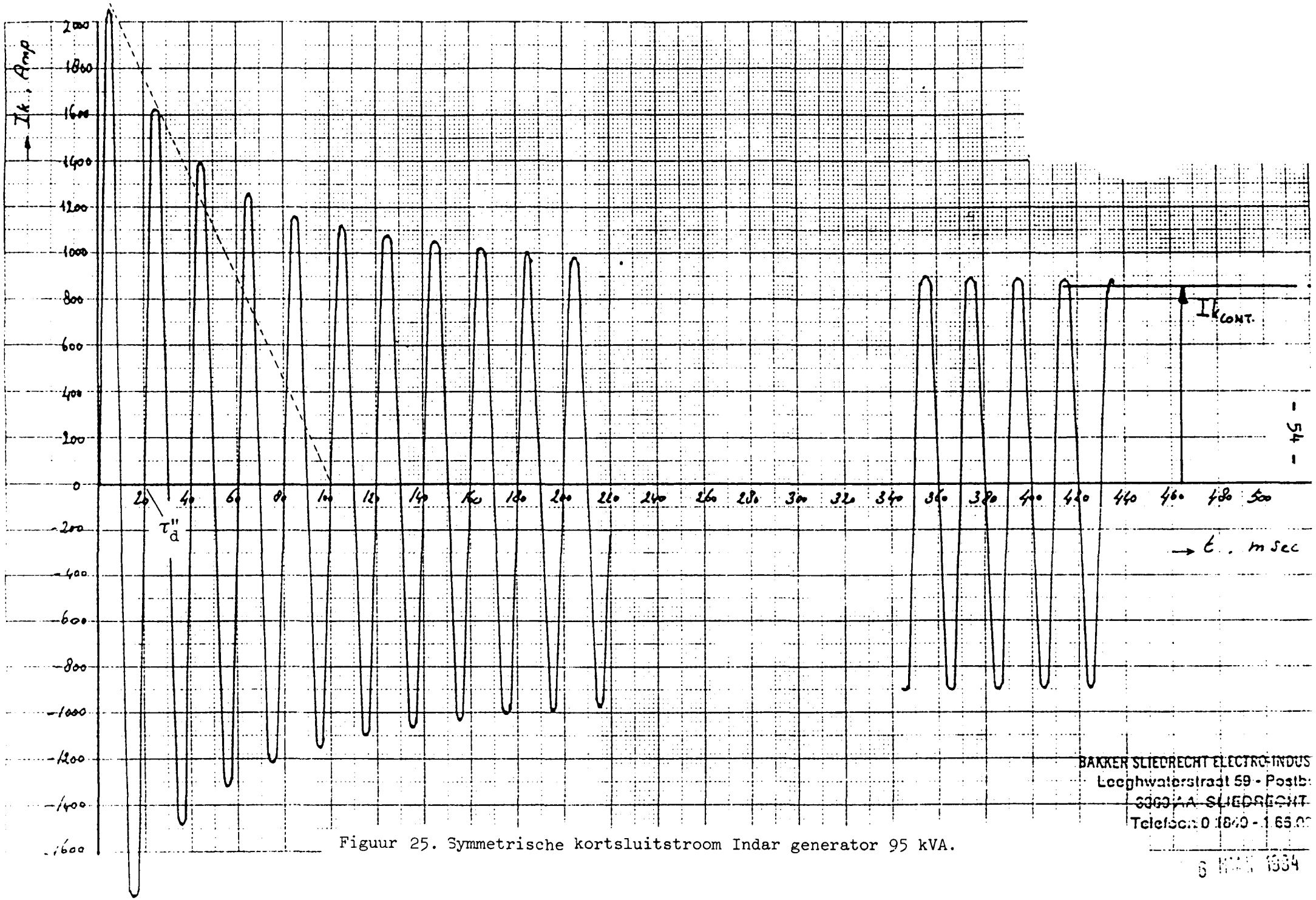
SAKKER SLIEDRECHT ELECTROINDUSTRIE B.V
Leeghwaterstraat 59 - Postbus 25
3360 AA SLIEDRECHT
Telefoon 0 1840 - 1 66 00

06 MAAR 1984



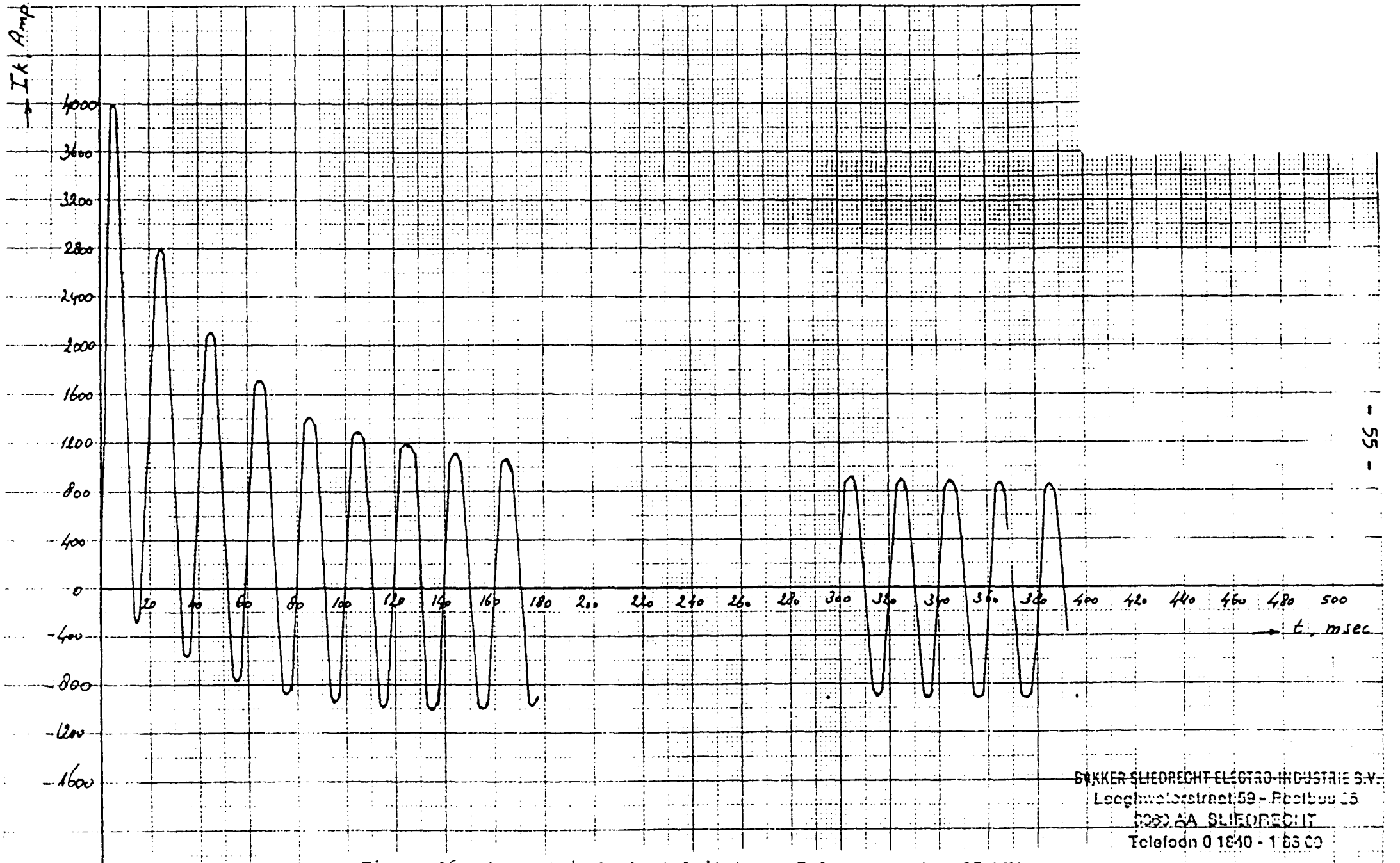
Figuur 24. Asymmetrische kortsluitstroom Indar 50 kVA generator.

BAKKER SLIEDRECHT ELECTRO-INDUSTRIE B
Leeghwaterstraat 59 - Postbus 23
3360 AA SLIEDRECHT
Telefoon 0 1840 - 1 63 00



Figuur 25. Symmetrische kortsluitstroom Indar generator 95 kVA.

BAKKER SLIEDRECHT ELECTRO-INDUS
Leeghwaterstraat 59 - Postb
3360 AA SLIEDRECHT
Telefoon 0 1840 - 1 65 0
6 MAA 1984



BAKKER SLIEDRECHT ELECTRO INDUSTRIE B.V.
Leeghwaterstraat 59 - Postbus 35
3360 AA SLIEDRECHT
Telefoon 0 1840 - 1 83 00

Figuur 26. Asymmetrische kortsluitstroom Indar generator 95 kVA.

Voor de bijdrage van de motoren aan de kortsluitstroom worden alleen de grotere verbruikers in acht genomen.
Met de gegevens uit de energiebalans van de HD 22 kan onderstaande tabel worden samengesteld:

Verbruikers	P (kW)	η	$\cos\varphi$	I_N (A)
Ventilatoren	11,0	0,85	0,8	24,6
Smeeroliepomp	18,5	0,9	0,8	39,0
Kompressor	8,0	0,8	0,8	19,0
Alg. dienstpomp	7,5	0,85	0,8	16,8
Spoelpomp	7,5	0,85	0,8	16,8
Kompressor	5,5	0,8	0,8	13,0
Scherfijsmachine	7,9	0,85	0,8	17,7
Totaal	65,9			146,9
maal gelijktijdigheidsfaktor 0,7				
Totaal	46,1			102,8

De <u>effectieve waarde van de wisselstroomkomponent</u> op t = 0

$I''_M = 6{,}25 \cdot I_N = 6{,}25 \cdot 102{,}8 = 0{,}64$ kA.

De <u>effectieve waarde van de wisselstroomkomponent</u> op $t = \frac{1}{2}T$

$I''_{M(\frac{1}{2}T)} = 4 \cdot 102{,}8 = 0{,}41$ kA.

De <u>maximale piekwaarde van de kortsluitstroom</u>

$I_{Mpm} = 8 \cdot I_N = 8 \cdot 102{,}8 = 0{,}82$ kA.

De resultaten van de kortsluitberekeningen volgens DIN 89 013 zijn vermeld in de, voor dit geval van belangzijnde, tabellen A2, A3 en A5, zie de volgende bladzijden.

Tabelle A2. **Kurzschlußstrom eines Generators (1. Schritt)**

Kurzschlußstromberechnung	Bauwerft:
	Bau-Nr:
Kurzschlußstrom eines Generators (1. Schritt)	Schiffsart: Boomkorkotter HD 22
	E-Firma: Blatt: 1.

Generator G

S_{rG} = 95 kVA; R_a = mΩ Netz:

U_{rG} = 380 V; x''_d = 10,2 % $\frac{R}{X}$ = 0,3 (nach Tabelle 3) U_n = 380V

Nr	Benennung		Gleichung	Berechnung	Ergebnis R (mΩ)	Ergebnis X (mΩ)
1.0	Anfangsreaktanz	X''_d	$X''_d = \frac{x''_d}{100\%} \cdot \frac{U_{rG}^2}{S_{rG}}$	$X''_d = \frac{10,2}{100\%} \cdot \frac{380^2}{95}$ $\frac{V^2}{kVA}$		155,0
1.1	Wirksamer Generator-Widerstand	R_G	Größeren Wert verwenden: $R_G = \frac{R}{X} \cdot X''_d$ oder $R_G = R_a + 0{,}005 \cdot \frac{U_{rG}^2}{S_{rG}}$	R_G = 0,3 · 155 mΩ	46,5	
2.0	Kabel zwischen Generator und Hauptsammelschiene		siehe Blatt 6 „Kabelimpedanzen"	X_L: Blatt 6. Nr		
2.1			auch zulässig: $X_L = 0$, $R_L = 0$	R_L: Blatt 6. Nr		
3.0	Betrag der Kurzschlußimpedanz	Z_k	$X_k = X''_d + X_L$	X_k = + mΩ		
3.1			$R_k = R_G + R_L$ *)	R_k = + mΩ		
3.2			$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2}$	$Z_k = \sqrt{46,5^2 + 155^2}$ mΩ	Z_k = 161,8 mΩ	
4.0	Anfangsspannung	E''	$E'' = v \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}}$ (Wenn $x''_d \leq 15\%$, dann $v = 1{,}06$, andernfalls siehe Abschnitt 5.2.1)	$E'' = 1{,}06 \frac{380}{\sqrt{3}}$ V	E'' = 232,6 V	
5.0	Anfangs-Kurzschluß-wechselstrom	I''_{kG}	$I''_{kG} = \frac{E''}{Z_k}$	$I''_{kG} = \frac{232,6}{161,8}$ kA	I''_{kG} = 1,44 kA	
6.0	Verhältnis Wirkwider-stand zu Reaktanz	R/X	$\frac{R}{X} = \frac{R_k}{X_k}$ oder Richt-wert nach Tabelle 3	$\frac{R}{X}$ = ———	$\frac{R}{X}$ = 0,30	
7.0	Stoßfaktor	$\varkappa$	siehe Bild 3 oder Gleichung (7)	$\varkappa = 1{,}02 + 0{,}98 \cdot e^{-3 \cdot 0{,}3}$	$\varkappa$ = 1,41	
8.0	Leistungsfaktor	$\cos\varphi_k$	$\cos\varphi_k = \frac{R_k}{Z_k}$	$\cos\varphi_k = \frac{46,5}{155}$	$\cos\varphi_k$ = 0,3	
9.0	Stoß-Kurzschlußstrom	i_{pG}	$i_{pG} = \varkappa \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{kG}$	$i_{pG} = 1{,}41 \sqrt{2} \cdot 1{,}44$ kA	i_{pG} = 2,87 kA	

*) Für die Berechnung des Anfangs-Kurzschlußwechselstromes darf $R_k = 0$ gesetzt werden.

Tabelle A3. **Kurzschlußstrom des Ersatzmotors (1. Schritt)**

Kurzschlußstromberechnung	Bauwerft:
	Bau-Nr:
Kurzschlußstrom des Ersatzmotors (1. Schritt)	Schiffsart: Boomkorkotter HD 22.
	E-Firma: **Blatt: 2.**

Zusammenfassung der kleinen Asynchronmotoren zum Ersatzmotor:

$P_{r\Sigma Mot}$ = 46 kW; Richtwerte: nach Tabelle 3

$U_{n\Sigma Mot} = U_n$ = 380 V; U_n(H) = V Hinweise: siehe Abschnitt 7.2.2

Die Motoren werden nicht über Transformatoren gespeist:
Nr 1.0 und Nr 2.0 ausfüllen

Nr	Benennung	Gleichung	Berechnung	Ergebnis
1.0	Anfangs-Kurzschluß-wechselstrom $I''_{k\Sigma Mot}$	$I''_{k\Sigma Mot} = 3{,}7 \cdot \frac{P_{r\Sigma Mot}}{U_n}$	$I''_{k\Sigma Mot} = 3{,}7 \cdot \frac{46}{380}$ kW/V	$I''_{k\Sigma Mot}$ = 0,45 kA
2.0	Stoß-Kurzschlußstrom $i_{p\Sigma Mot}$	$i_{p\Sigma Mot} = 2{,}0 \cdot I''_{k\Sigma Mot}$	$i_{p\Sigma Mot} = 2{,}0 \cdot$ 0,45 kA	$i_{p\Sigma Mot}$ = 0,90 kA

Die Motoren werden über einen Transformator gespeist:
Nr 3.0 bis Nr 11.0 ausfüllen

Nr	Benennung	Gleichung	Berechnung	R (mΩ)	X (mΩ)
3.0	Kurzschluß-reaktanz $X_{\Sigma Mot}$	$X_{\Sigma Mot} = 0{,}144 \cdot \frac{(U_n)^2}{P_{r\Sigma Mot}}$	$X_{\Sigma Mot} = 0{,}144 \cdot \frac{(\quad)^2}{\quad}$ V/kA		
3.1	Wirksamer Widerstand $R_{\Sigma Mot}$	$R_{\Sigma Mot} = 0{,}3 \cdot X_{\Sigma Mot}$	$R_{\Sigma Mot} = 0{,}3 \cdot$ mΩ		
4.0	Umrechnung der Motorimpedanzen auf die Spannung der Hauptsammelschiene (siehe Abschnitt 7.3)	$X(H) = X_{\Sigma Mot} \cdot \left(\frac{U_n(H)}{U_n}\right)^2$	$X(H) = \cdot \left(\frac{\quad}{\quad}\right)^2$ mΩ		
4.1		$R(H) = R_{\Sigma Mot} \cdot \left(\frac{U_n(H)}{U_n}\right)^2$	$R(H) = \cdot \left(\frac{\quad}{\quad}\right)^2$ mΩ		
5.0	Transformatorimpedanz bezogen auf die Hauptsammelschiene	siehe Blatt 7 „Transformatoren"	X_T: Blatt 7 Nr		
5.1			R_T: Blatt 7 Nr		
6.0	Kabel zwischen Transformator und Hauptsammelschiene	siehe Blatt 6 „Kabelimpedanzen" auch zulässig: $X_L = 0$, $R_L = 0$	X_L: Blatt 6 Nr		
6.1			R_L: Blatt 6 Nr		
7.0	Betrag der Kurzschlußimpedanz Z_k	$X_k = X(H) + X_T + X_L$	$X_k = \quad + \quad + \quad$ mΩ		
7.1		$R_k = R(H) + R_T + R_L$	$R_k = \quad + \quad + \quad$ mΩ		
7.2		$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2}$	$Z_k = \sqrt{\quad^2 + \quad^2}$ mΩ	Z_k = mΩ	
8.0	Anfangs-Kurzschluß-wechselstrom $I''_{k\Sigma Mot}$	$I''_{k\Sigma Mot} = \upsilon \cdot \frac{U_n(H)}{\sqrt{3} \cdot Z_k}$	$I''_{k\Sigma Mot} = 0{,}96 \cdot \frac{\quad}{\sqrt{3} \cdot \quad}$ kA	$I''_{k\Sigma Mot}$ = kA	
9.0	Verhältnis Wirkwiderstand zu Reaktanz R/X	$\frac{R}{X} = \frac{R_k}{X_k}$	$\frac{R}{X} = \frac{\quad}{\quad}$	$\frac{R}{X}$ =	
10.0	Stoßfaktor $\varkappa$	siehe Bild 3 oder Gleichung (7)	$\varkappa = 1{,}02 + 0{,}98 \cdot e^{-3 \cdot}$	$\varkappa$ =	
11.0	Stoß-Kurzschlußstrom $i_{p\Sigma Mot}$	$i_{p\Sigma Mot} = \varkappa \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{k\Sigma Mot}$	$i_{p\Sigma Mot} = \quad \cdot \sqrt{2} \cdot$ kA	$i_{p\Sigma Mot}$ = kA	

Tabelle A5. **Kurzschlußströme im Bereich der Hauptsammelschiene (1. und 2. Schritt)**

Kurzschlußstromberechnung	Bauwerft:
	Bau-Nr:
Kurzschlußströme im Bereich der Hauptsammelschiene (1. und 2. Schritt)	Schiffsart: Boomkorkotter HD 22.
	E-Firma: Blatt: 4.

Nr	Teilkurzschlußströme (1. Schritt)	übertragen von Blatt-Nr	cos φ_k	I''_k(kA)	i_p(kA)
1	Generator 1	1	0,3	1,44	2,87
2	Generator 2				
3	Generator 3				
4	Generator 4				
5	Generator 5				
6	Generator 6				
7					
8					
9					
10					
11	Zusammenfassung der kleinen Asynchronmotoren	2		0,45	0,90
12	Einzelne Asynchronmotoren größerer Leistung				
13					
14					

Zusammenfassung der Teilkurzschlußströme (2. Schritt)

15	Leistungsfaktor cos φ_k (für alle Fehlerstellen im Bereich der Hauptsammelschienen)	cos φ_k: kleinster Wert aus Zeile 1 bis 6	cos φ_k =

	Fehlerstelle	Summierung der Teilkurzschlußströme	I''_k(kA)	i_p(kA)
16.0	F	I''_k =		
16.1		i_p =		
17.0	F	I''_k =		
17.1		i_p =		
18.0	F	I''_k =		
18.1		i_p =		
19.0	F	I''_k =		
19.1		i_p =		
20.0	F	I''_k =		
20.1		i_p =		
21.0	F	I''_k =		
21.1		i_p =		

6.9 Algemene opmerkingen betreffende de IEC en DIN kortsluitberekeningen.

Het is niet eenvoudig aan te geven waarin de verschillen in berekeningswijzen volgens IEC en DIN schuilen daar een en ander samenhangt met de verschillen van inzicht en punten van uitgang van de samenstellers van de normen.
Opvallend is wel dat IEC een duidelijk onderscheid maakt naar de theoretisch maximale waarden ($t = 0$) en de praktisch maximale waarden van de kortsluitstromen ($t = \frac{1}{2}T$).
DIN voert dit onderscheid in via stootfaktor κ waardoor een tijdselement via de verhouding R/X in de berekeningen wordt ingebracht.

IEC en DIN hanteren verschillende symbolen voor dezelfde stromen. Onderstaand een overzicht van deze verschillen.

Benaming	IEC	DIN
subtransiente kortsluitstroom	I''	I''_k
transiente kortsluitstroom	I'	I'_k
dynamische kortsluitstroom	I_{pm}	i_p
thermische kortsluitstroom	I_{ac}	I''_k

Voor de bijdrage van asynchrone motoren aan de kortsluitstromen geeft IEC een aantal vuistregels; DIN gaat uit van de aanloopstroom.

De in- en afschakelstromen, van belang voor de vermogensschakelaars, berekend volgens

IEC: $I_{pm} = 3{,}04 + 0{,}82 = 3{,}86$ kA.

$I_{ac} = 1{,}55 + 0{,}64 = 2{,}19$ kA.

en

DIN: $i_p = 2{,}87 + 0{,}90 = 3{,}77$ kA.

$I''_k = 1{,}44 + 0{,}45 = 1{,}89$ kA.

blijken vrijwel gelijk te zijn.

De berekeningswijze volgens DIN 98 013 is, ook als weinig gegevens van de generatoren en motoren bekend zijn, eenvoudig uit te voeren en zeker aan te bevelen wegens de grote mate van standaardisatie.

Volgens VDE 0530 mag de piekkortsluitstroom van synchrone generatoren bij 3 fasensluiting, tijdens bedrijf in nullust bij nominale spanning, de waarde $15.\sqrt{2} \cdot I_N$ A. niet overschrijden.
Voor de 95 kVA generator aan boord van de HD 22 betekent dit een waarde van $15.\sqrt{2} \cdot 144 = 3{,}05$ kA.
De berekende waarden volgens IEC en DIN zijn respectievelijk 3,04 kA. en 2,87 kA., zodat de generator aan deze VDE-eis voldoet.

6.10 Algemene opmerkingen met betrekking tot schakelapparatuur.

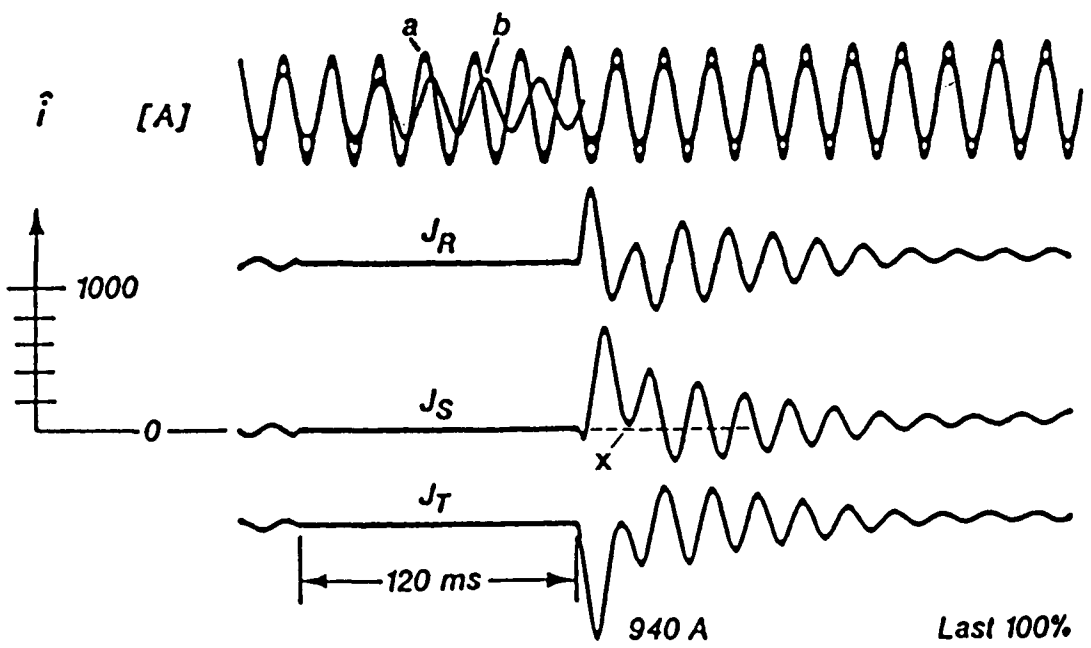
Laagspanningsvermogensschakelaars worden volgens IEC Publ. 157-1 niet beproefd voor stromen met een arbeidsfaktor kleiner dan 0,2. Bij representatieve kortsluitberekeningen aan scheepsnetten door de Germanischer Lloyd bleken echter $\cos\varphi$-waarden op te treden van 0,07 tot 0,15, faseverschuivingen dus van respectievelijk $85{,}9^{\circ}$ en $81{,}4^{\circ}$. [14]
Onderzoek wees echter uit dat dit nimmer tot afschakelingsproblemen had geleid.
Verklaringen hiervoor zijn o.a. dat

- de relatief grote boogweerstand van de schakelaars tijdens de kortsluiting de $\cos\varphi$-waarde groter maakt en
- een kortsluitberekening uitgaat van een in de praktijk zelden voorkomende extreme situatie.

Aan de andere kant bracht onderzoek van Lloyd's Register of Shipping aan het licht dat 50 % van alle branden in machinekamers van schepen te wijten was aan defekten in schakelborden. [15]

De eisen die gesteld worden aan schakel- en beveiligingsmiddelen van motoren worden bepaald door de in- en uitschakelstromen respectievelijk -vermogens.
Vaak wordt echter geen rekening gehouden met de hoge stroompieken die ontstaan ten gevolge van snelle weder-inschakelingen, sterdriehoek-, omkeer- en poolomschakelingen van asynchrone motoren.
Bij snelle weder-inschakeling van deze motoren blijken stroompieken op te treden tot 170 %, bij ster-driehoekschakeling tot 122 % (in driehoek) en bij omschakeling tot 170 % (omgeschakelde fasen) van de maximale stroomwaarde bij inschakelen uit stilstand zonder vóórmagnetisatie. [16]
Deze stroompieken ontstaan doordat na afschakeling van de motor het oude, nog in de rotor aanwezige veld, in fase verschilt met het nieuwe, na weder-inschakeling, opgedrukte veld.
Hierdoor moet, behalve een nieuwe magnetisering, ook een ontmagnetisering in de machine plaatsvinden; er ontstaat een magnetiseringsstoot.

In het algemeen geldt dat bij alle vormen van omschakeling zo snel mogelijk, binnen 100 millesekonden, geschakeld moet worden om stroompieken tot een minimum te beperken.
Figuur 27 toont de resultaten van onderzoek door Klöckner-Moeller aan een 23 kW asynchrone motor bij snelle wederinschakeling.
Opvallend is dat in de S-fase in eerste instantie geen nuldoorgang van de stroom optreedt.
Dit verschijnsel is pas enige jaren bekend en treedt op dichtbij de voeding van synchrone machines bij het inschakelen van smoorspoelen, asynchone machines en transformatoren.
Als uitgeschakeld wordt in het punt X, wordt de stroom gebroken met hoge uitschakelspanning volgens de energievergelijking $\frac{1}{2} L i^2 = \frac{1}{2} C u^2$; uitschakeling in X moet daarom voorkomen worden.



Figuur 27. Oscillogram van een wederinschakeling bij nominale belasting.
a = netspanning
b = spanning der wikkeling
Asynchrone motor, 23 kW, 380 V, 44,6 A.

7. Verlaging van de exploitatiekosten van een boomkorvissersvaartuig.

7.1 Algemeen.

Verlaging van exploitatiekosten kan geëffectueerd worden door:
- kostenbesparing, waarbij het criterium niet de hoeveelheid verbruikte brandstof is, maar de kostprijs van een bepaalde brandstof;
- energiebesparing, d.w.z. geringer verbruik van een bepaalde brandstof bij gelijkblijvend nuttig rendement.

De exploitatiekosten van een boomkorkotter worden voor een belangrijk deel bepaald door het brandstofverbruik van de voortstuwings- en hulpmotoren.
Van een boomkorkotter met een voortstuwingsvermogen groter dan 1500 kW wordt circa 36 % van de bruto besomming besteed aan brandstofkosten.

Het benodigde hulpvermogen wordt bepaald door de behoefte aan elektrisch vermogen voor het lierbedrijf, gewoonlijk gelijkstroomvermogen, en voor de hulpwerktuigen, gewoonlijk draaistroomvermogen.
Het hulpvermogen bedraagt 10 tot 14 % van het totaal in het schip geïnstalleerde vermogen.
Voorlopig is het, bij de huidige visserijmethode, niet mogelijk tot vermindering van het benodigde elektrisch vermogen te komen.

7.2 Kostenbesparing.

Een belangrijke, in het kader van een RIVO-projekt voor een zestal kotters, in de praktijk reeds gerealiseerde vorm van kostenbesparing is het gebruik van stookolie (viscositeit 30 tot 60 mm^2/s.) in plaats van gasolie (viscositeit 3 mm^2/s.) als brandstof voor de hoofdmotor.
Kostenbesparing vindt plaats door het prijsverschil van 10 tot 20 % van beide brandstoffen.

Onder 5.3 "Draaistroomnet" werd de aandrijving van de gelijk- en draaistroomgeneratoren door de hoofdmotor vermeld (GO 26), zie figuur 9.
In dit geval vindt kostenbesparing bij de opwekking van elektrische energie plaats daar de generatoren worden aangedreven door een prime mover die brandstof met een lagere kostprijs verbruikt.
Hierbij dient echter opgemerkt te worden dat het type voortstuwingsinstallatie, konstant toerental van de hoofdmotor en een verstelbare schroef, niet werd gekozen omwille van de opwekking van elektrische energie.

7.3 Energiebesparing.

In het algemeen zijn energiebesparingen al mogelijk door goed onderhoud van en controle op de werking van de diverse verbruikers. Wat dit betreft zijn door de Stichting Coördinatie Maritiem Onderzoek een aantal brochures uitgegeven onder de titel "Stop de Energieverspillers" waarin suggesties worden gedaan om d.m.v. normale controles aan dek en in de machinekamer energie te besparen. [17]

Afschakeling van verbruikers als ze niet nodig zijn leidt uiteraard tot energiebesparing.

Goed onderhoud en een goede afstelling van dieselmotoren beperkt het brandstofverbruik; regelmatige controle van de druk-tijd-diagrammen op vorm en gelijkheid is hierbij van belang.

Een praktische benadering ter besparing van energie op schepen van een Amerikaanse rederij leidde ertoe de elektrische motoren van een aantal pompen en ventilatoren te voorzien van een toerenregeling. [18]
In het eerste geval werd daardoor bespaard op een energieverspillend recirculatiesysteem, in het tweede geval op een inefficient ventilatiesysteem.

In het algemeen zal een toerenregeling tussen 50 en 100 %, ook op vissersschepen, voldoende zijn.
Toerenregeling kan geschieden met slip- of frequentieregeling.

Een belangrijke besparing op energie kan behaald worden door, behalve de gelijkstroomgenerator, ook de draaistroomgenerator op enigerlei wijze door de voortstuwingsmotor aan te drijven. In dit geval bespaart men op drie manieren wegens:
- het lagere specifieke brandstofverbruik van een voortstuwingsmotor in vergelijking tot een hulpdieselmotor;
- een hoger rendement van de voortstuwingsmotor gedurende de perioden dat het van deze motor gevraagde vermogen laag is en
- het overbodig zijn van één der hulpdieselmotoren.

Uitgaande van een kotter uitgerust met een vaste schroef, dus variabel toerental van de hoofdmotor, dienen er voorzieningen van mechanische of elektrische aard getroffen te worden om de spanning en frequentie van het scheepsnet onder alle omstandigheden binnen de toegelaten grenzen te houden.

Indien voor een dergelijk systeem wordt gekozen, dient rekening te worden gehouden met het feit dat het vermogen van de hoofdmotor niet meer volledig beschikbaar is voor de voortstuwing. Men moet hetzij het motorvermogen hoger kiezen, hetzij de vistuigen aanpassen aan het werkelijk beschikbare vermogen.

In hoofdstuk 8. "Asgeneratoren" zal nader ingegaan worden op de mogelijkheden de draaistroomgenerator (synchrone generator) door de hoofdmotor aan te drijven.

7.4 Energiebesparing door omschakeling van hulpdiesel- naar nooddieselmotor.

In hoofdstuk 5. "De energiebalans van de HD 22" werd de omschakeling van hulpdiesel- naar nooddieselbedrijf tijdens "vrije vaart" genoemd als mogelijke energiebesparende maatregel.

Wat dit werkelijk betekent aan besparing in geld, kan bepaald worden aan de hand van figuren 28 en 29.
In figuur 28 is het specifiek brandstofverbruik b_e in g/kWh van hulpdieselmotor DK-1160-M en van nooddieselmotor DD-575-M weergegeven.
De gegevens voor samenstelling van deze figuren werden verkregen uit proefstandmetingen uitgevoerd door DAF B.V. Eindhoven en het Instituut voor Wegtransportmiddelen TNO Delft.

Het effektieve motorvermogen volgt uit

$$P_e = \frac{p_e \cdot V_s \cdot n}{60 \cdot \delta} \text{ kW, waarin}$$

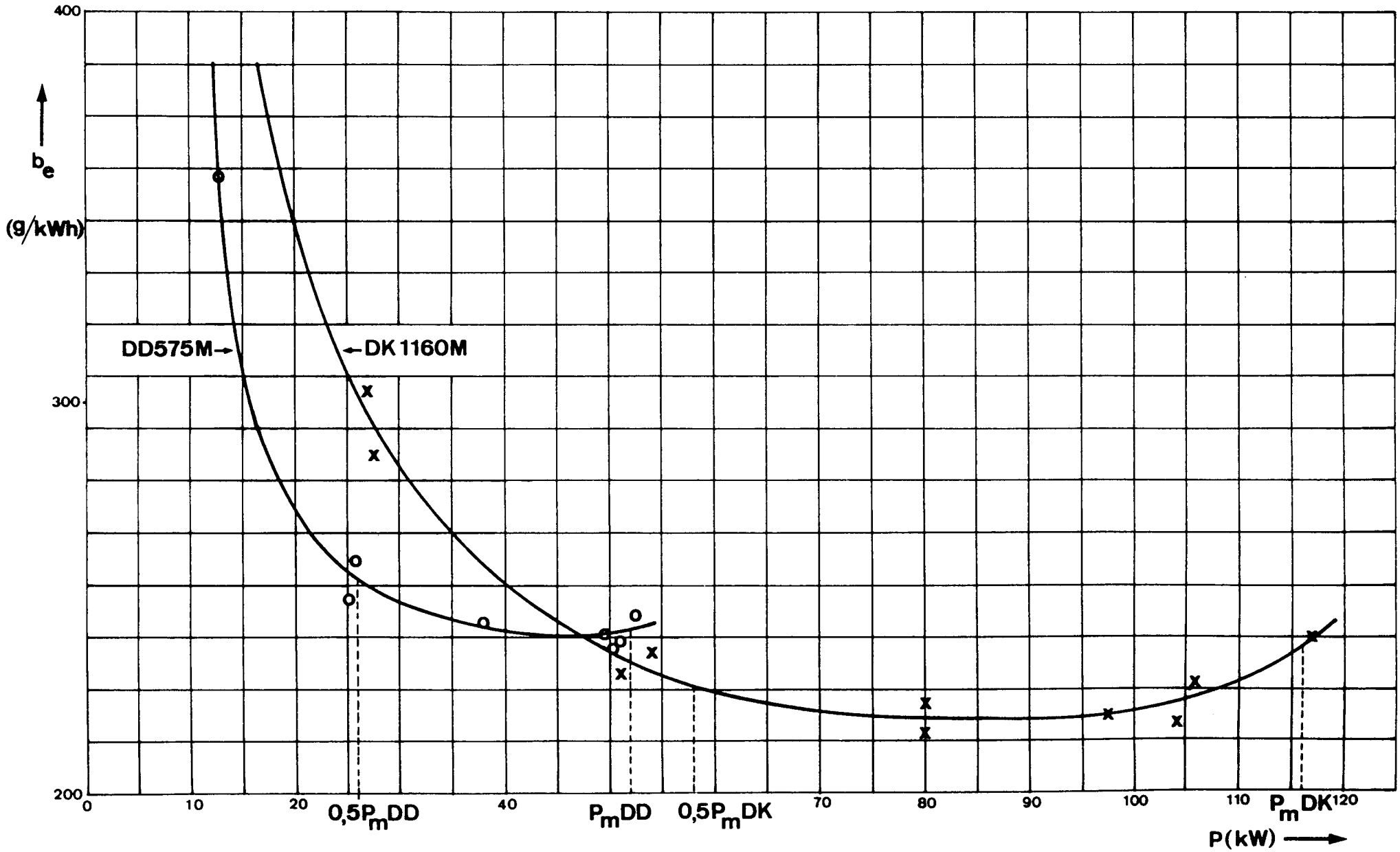
p_e = gemiddelde effektieve druk in bar,

V_s = slagvolume in m^3,

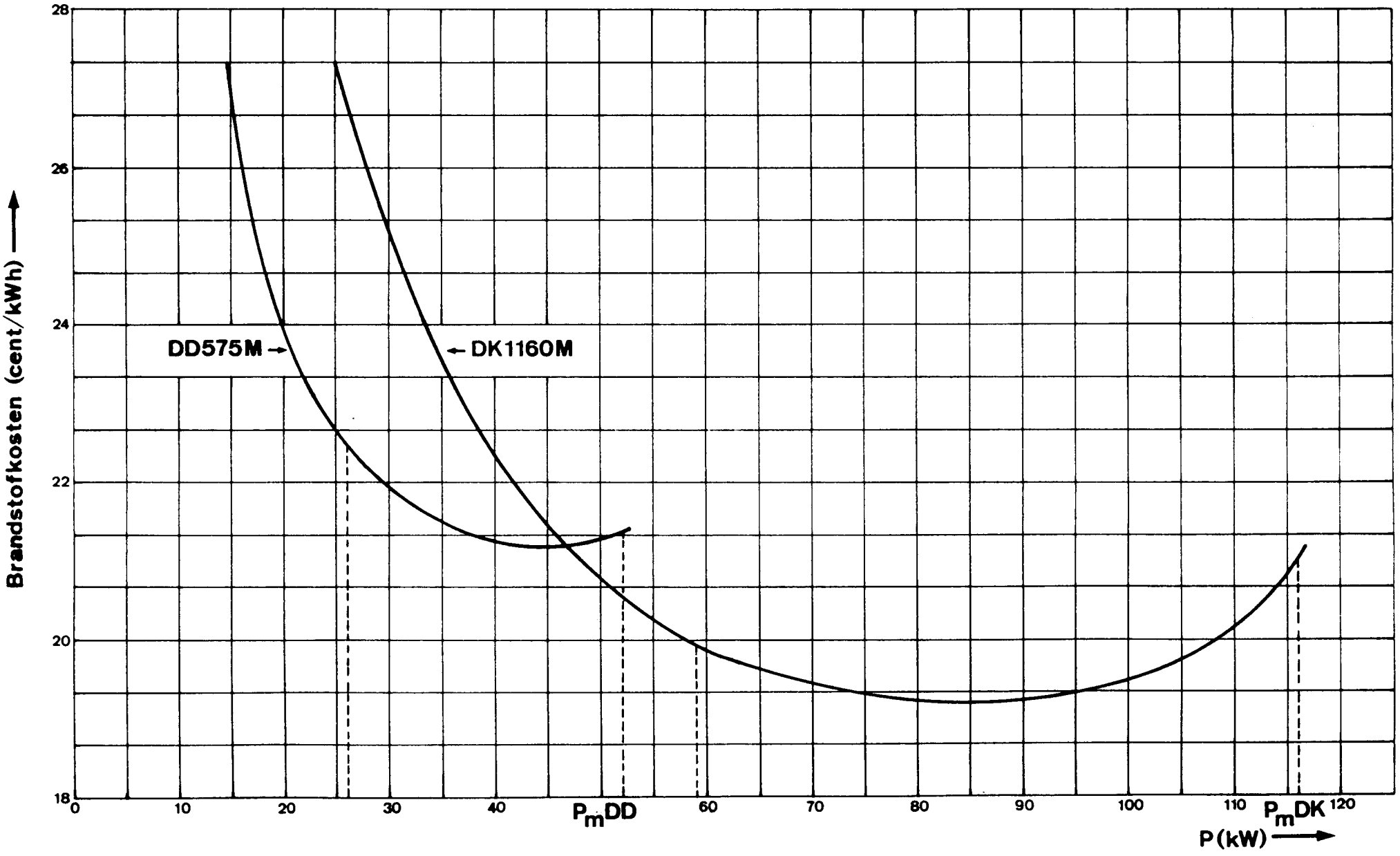
n = toerental per minuut en

δ = konstante (2 voor viertaktmotoren).

In figuur 29 zijn de brandstofkosten van beide motoren weergegeven in cent/kWh, waarbij uitgegaan werd van dieselolie als brandstof met een soortelijke dichtheid $\rho = 850$ kg/m^3 en een literprijs van Fl. 0,75.
Uit deze figuren blijkt dat, zolang de hulpdieselmotor tot minimaal 40 % of circa 50 kW belast wordt, de brandstofkosten lager zijn dan die van de nooddieselmotor.
In de bedrijfstoestand "vrij varen" met een basisverbruik van circa 28 kW, zie de energiebalans van de HD 22, wordt energie bespaard door omschakeling.
In dit geval zijn de brandstofkosten van de DK-1160-M-motor 26 cent/kWh en van de DD-575-M-motor 22,2 cent/kWh.
Aangenomen dat het schip 40 vaarweken per jaar heeft met gedurende 20 uren per week het basisverbruik, wordt circa Fl. 870.- per jaar op de brandstofkosten bespaard.
Het brandstofverbruik van de hulpdieselmotor wordt geschat op 2200 liter per week zodat de brandstofkosten per jaar Fl. 66.000,- bedragen; bovengenoemde besparing is dus verwaarloosbaar.



Figuur 28. Specifiek brandstofverbruik hulp- en nooddieselmotoren HD 22.
n = konstant = 1500 omw./min.



Figuur 29. Brandstofkosten in cent/kWh hulp- en nooddieselmotoren HD 22.
n = konstant = 1500 omw./min.

7.5 Optimalisering van het prime mover vermogen.

Figuren 28 en 29 zijn niet alleen van belang voor bepaling van het brandstofverbruik in relatie tot het type dieselmotor, maar geven veel meer nog de noodzaak weer een dieselmotor optimaal te belasten, dat wil zeggen rond 90 %.
Er kan veel energie bespaard worden door, aan de hand van een zo nauwkeurig mogelijk opgestelde energiebalans, het benodigde dieselmotorvermogen vast te stellen.

Wegens de eis dat, ter verhoging van de bedrijfszekerheid, zowel een draaistroom- als een gelijkstroomgenerator door één dieselmotor moeten worden aangedreven, kan het hulpdieselvermogen niet in overeenstemming gebracht worden met het gemiddeld benodigde elektrische vermogen.
Op de HD 22 is een compromis gesloten:
het hulpdieselvermogen is enigszins te groot voor het draaistroomvermogen en enigszins te klein voor gecombineerd gelijkstroom- èn draaistroomvermogen.
Uit figuur 29 blijkt dat de brandstofkosten van de DK-1160-M-motor over een vrij groot vermogensgebied konstant zijn:
tussen 50 en 95 % van de belasting variëren de kosten slechts 5 %, zodat er vrijwel geen financiële consequenties aan het compromis kleven.
Wordt de hulpdieselmotor belast met beide generatoren, in noodgevallen en in havenbedrijf, dan resulteert het compromis in een lager visliermotortoerental hetgeen in beide gevallen geen groot bezwaar is.

8. Asgeneratoren.

8.1 Algemeen.

Van een synchrone generator zijn de effektieve waarde van de klemspanning en de frequentie van deze spanning volgens

$$U = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot f \cdot k_w \cdot N \cdot \Phi \text{ Volt}$$

en

$$f = \frac{\omega}{2 \cdot \pi} \cdot p = n \cdot p \text{ Herz}$$

rechtevenredig met het toerental n van de generator.

Wordt de generator direkt aangedreven door de hoofdmotor van een schip met vaste schroef, dan variëren zowel U als f met de toerentalvariaties van die motor.
Alleen als het spannings- en frequentiebepalend element in de opwekking van het draaistroomnet onafhankelijk wordt van de toerentalvariaties van de mechanische bron, d.i. de hoofdmotor, kan een aan de eisen voldoend scheepsnet worden verkregen.
De gewenste ontkoppeling kan gerealiseerd worden door:
a) een statische omvormer;
b) een roterende omvormer;
c) een mechanische variator of
d) een hydraulische variator.

Bij methoden a) en b) is de generator direkt mechanisch met de hoofdmotor gekoppeld en worden de spannings- en frequentievariaties "elektrotechnisch" gecorrigeerd; bij methoden c) en d) is de generator via een "mechanisch" toerentalcorrigerend systeem met de hoofdmotor gekoppeld.
a) en b) vereisen steeds twee synchrone generatoren, één asgenerator en één boordnetgenerator, c) en d) één boordnetgenerator.
Alle vier systemen hebben één probleem gemeen en wel de levering van het benodigde vermogen bij lage toerentallen van de hoofdmotor daar volgens $P = M \cdot \omega$ het vermogen rechtevenredig is met het toerental.

Oplossing van dit probleem leidt in gevallen a) en b) tot overdimensionering van de asgenerator, in gevallen c) en d) tot overdimensionering van de variatoren.

Reeds in de jaren zestig werden asgeneratoren voor toepassing op koopvaardijschepen ontwikkeld, waarbij men uitging, en nog steeds uitgaat, van een aanvullende funktie van deze systemen. Dit wil zeggen dat dieselaggregaten gehandhaafd blijven als energiebron in havens en voor die gevallen dat het hoofdmotortoerental te veel variëert of te laag is om de asgenerator te gebruiken.
Tot op heden zijn deze systemen van het type a); de begrenzing in het gebruik vloeit direkt voort uit de onevenredig hoge prijs van een ook bij lage toerentallen bruikbare asgenerator.
De besparingen die bij dergelijke systemen mogelijk zijn, komen voort uit:
- het lager specifiek brandstof- en smeerolieverbruik van de hoofd- in vergelijking tot de hulpdieselmotor;
- verminderd onderhoud aan de dieselaggregaten en
- het prijsverschil tussen de brandstoffen van de hoofdmotor en de dieselaggregaten.

De benadering op dit moment met betrekking tot vissersschepen is echter gericht op een vervangend systeem voor één der dieselaggregaten.
Daarbij gaat men niet alleen uit van de reeds genoemde besparingen, die, ook als de hoofdmotor en de hulpdieselmotor dezelfde brandstof verbruiken nog interessant zijn, maar tevens van de mogelijkheid de investeringen nodig voor een hulpdieselmotor aan te wenden voor een asgeneratorsysteem.

Op een vissersschip met vaste schroef wordt de vaarsnelheid en dus het hoofdmotortoerental veelvuldig en binnen een relatief groot gebied geregeld.
Het toerental van de hoofdmotor van bijvoorbeeld de HD 22 variëert volgens de gegeven tabel:

bedrijfstoestand	toerental (omw./min.)
volle kracht vooruit en vissend	898
netten halen	650
vangst aan dek zetten	345
noodstop	210
volle kracht achteruit	400

De wens, vanuit de visserij, het asgeneratorsysteem over het gehele toerentalbereik van de hoofdmotor, inklusief een noodstop, te kunnen gebruiken, betekent volgens bovenstaande tabel een overbrengingsverhouding van 1:4,3.
Hiervoor is tot op heden, alleen al om prijstechnische redenen, geen enkel asgeneratorsysteem ontworpen.
Realisering van deze wens zal ongetwijfeld tot onevenredig hoge investeringen leiden.

Een mogelijke oplossing voor het grote toerentalbereik, afgezien van elektrotechnische of mechanische, is een grens te stellen aan het toerental waarbij de asgenerator het scheepsnet nog moet voeden.
Zodra dit grenstoerental in negatieve zin wordt overschreden, dient automatisch het reserve- of nooddieselaggregaat te worden gestart en op het net geschakeld, eventueel voorafgegaan door selektieve afschakeling van verbruikers.
Deze methode wordt algemeen op koopvaardijschepen toegepast.

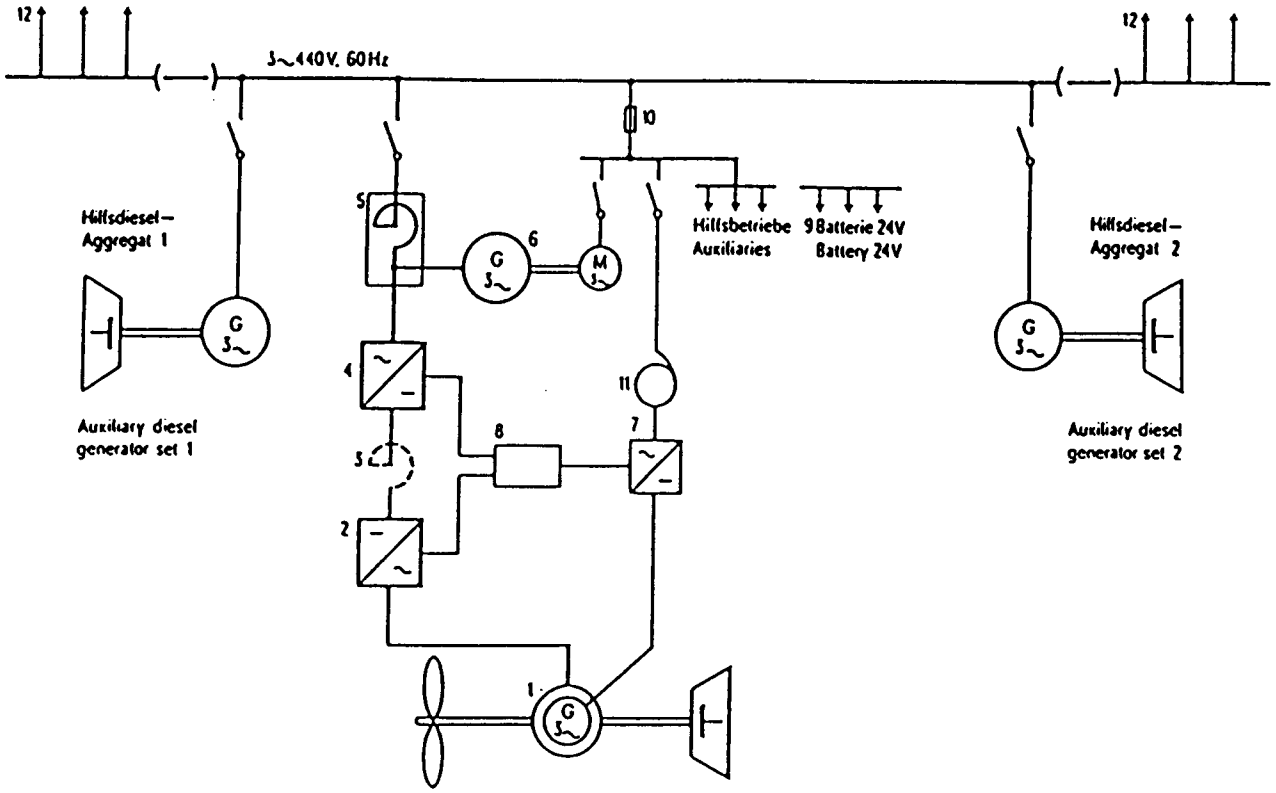
Wat betreft de toepassing van asgeneratoren in het algemeen is de diskussie over de kwalifikatie van een dergelijk systeem als onafhankelijk aangedreven generatorsysteem interessant; hierop wordt in dit verslag echter niet verder ingegaan.

In de nu volgende hoofdstukken worden de verschillende typen asgeneratoren nader bekeken.
Gezien het complexe karakter worden slechts hoofdlijnen aangegeven waarmee de aandacht wordt gevestigd op de mogelijkheden zelf, maar ook op de beperkingen ervan.

8.2 Asgenerator met statische omvormer. (systeem a)).

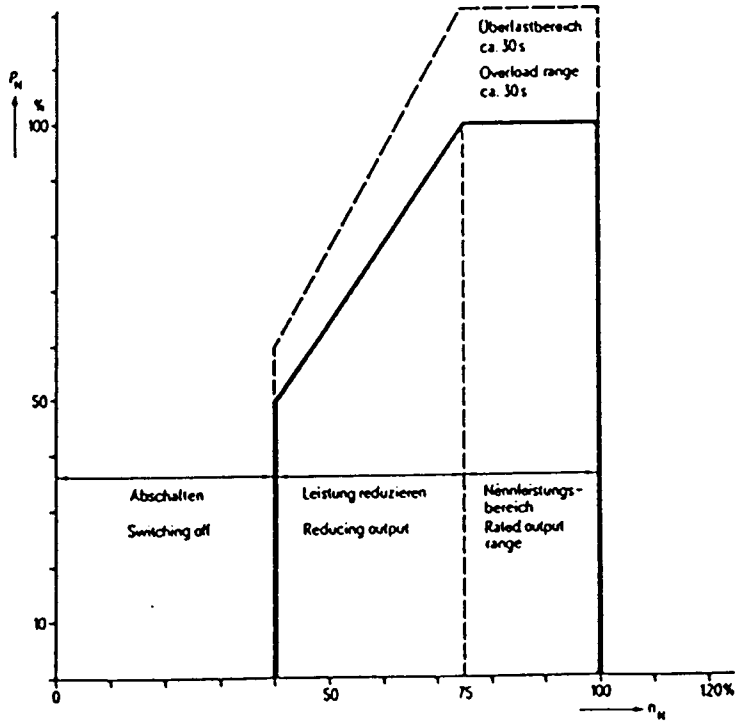
Dit asgeneratorsysteem werd, zoals reeds vermeld, ontwikkeld in de jaren zestig en wordt op verscheidene koopvaardijschepen, ook Nederlandse, toegepast. [19, 20, 21]
Het principeschema, met de asgenerator in de schroefas gemonteerd, is getekend in figuur 30.
De tussengeschakelde gelijk- en wisselrichter ontkoppelt het scheepsnet van de spannings- en frequentievariaties van de asgenerator.
De wisselrichter heeft, binnen het toerentalgebied waarbij 100 % vermogen kan worden geleverd, een konstante stuurhoek $\alpha = 150^{o}$ en neemt dus blindvermogen op.
Uit kostenoverwegingen, de prijs van de generator neemt omgekeerd evenredig toe met het toerental, beperkt men het gebruiksgebied van de asgenerator waarbij 100 % vermogen kan worden geleverd tot 75 % van het nominale toerental.
Kan de asgeneratorspanning aan de statische omvormer door een te laag toerental en de eindige bekrachtiging niet meer op de vereiste waarde gehandhaafd blijven, dan moet de stuurhoek van de wisselrichter verkleind worden.
Het geleverde vermogen neemt dan proportioneel met het toerental van de asgenerator af.
In het algemeen wordt in dit geval overgegaan tot selektieve afschakeling van verbruikers en, bij nog verdere afname van het toerental, tot het automatisch starten van een dieselaggregaat, zie figuur 31.

Er zijn verschillende uitvoeringsvormen van asgeneratorsystemen met statische omvormer; ze worden voornamelijk bepaald door de methode van aandrijving en daarmee door het toerental van de asgenerator, zie figuur 32.
Wordt de generator opgenomen in de schroefas, dan moet rekening worden gehouden met het lage toerental van deze as.
Voor deze toepassing is een speciale generator ontwikkeld met als hoofdkenmerken een groot aantal poolparen en het ontbreken van een demperkooi.

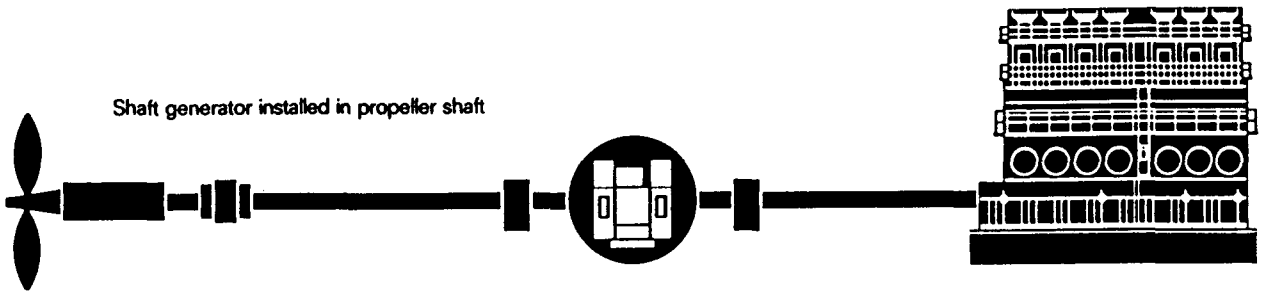


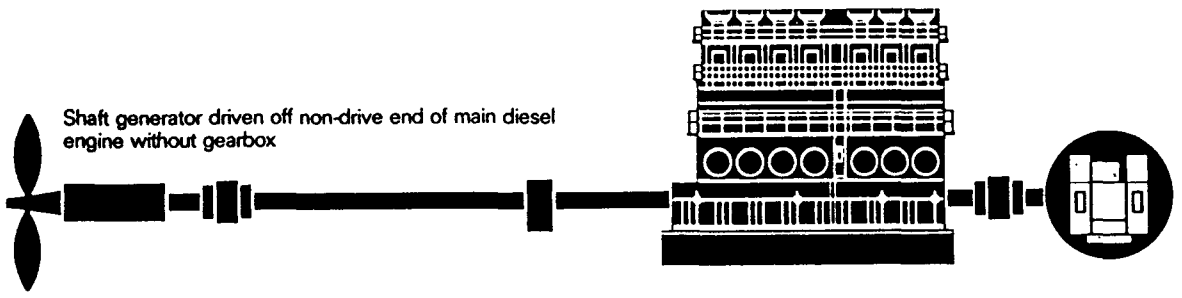
Figuur 30. Principeschema van een elektrotechnisch geregeld asgeneratorsysteem. (Siemens WGA 23)

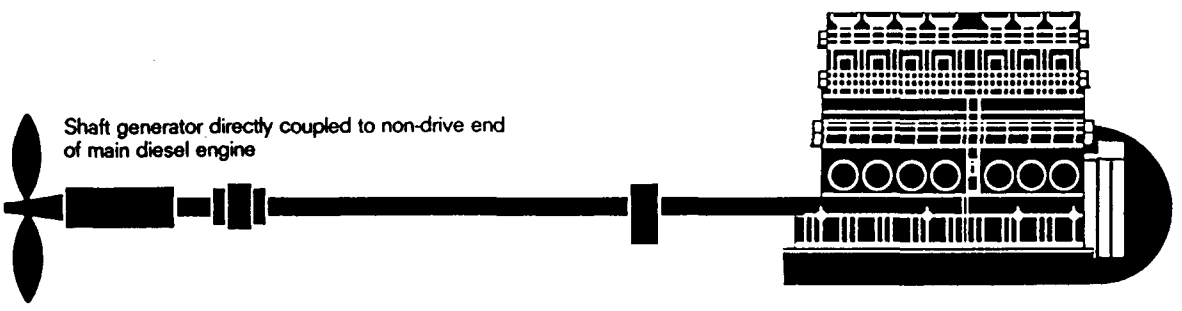
1 = asgenerator	7 = bekrachtiging asgenerator
2 = gelijkrichter	8 = thyristorsturing
3 = tussenkringspoel	9 = 24 V voeding
4 = wisselrichter	10 = scheepsnet
5 = hogere harm. filter	11 = bekrachtigingstransformator
6 = blindvermogenmachine	12 = belasting

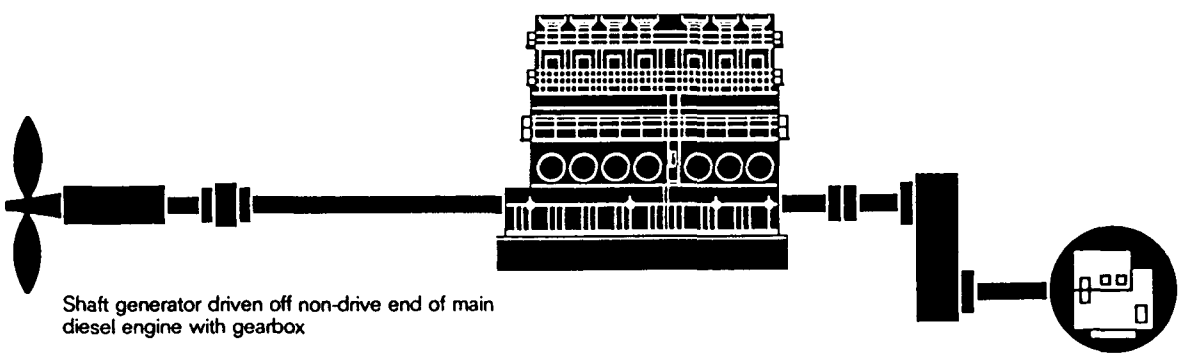


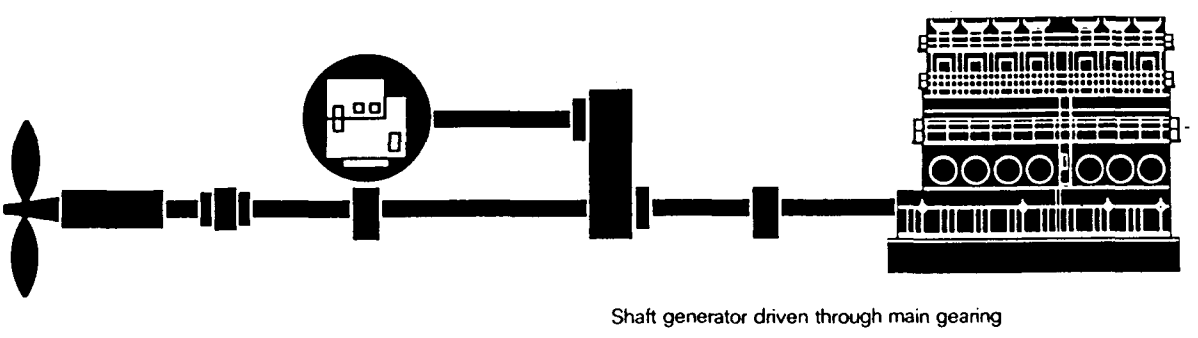
Figuur 31. Belastingsdiagram elektrotechnisch geregeld asgeneratorsysteem.











Figuur 32. Uitvoeringsvormen asgeneratorsystemen. (Siemens).

Een praktische uitvoering van een dergelijke machine voor n = 82 tot 140 omw./min. en een nominaal vermogen van 210 kW telt 16 polen waardoor de frequentie van de spanning varieert tussen 19 en 11 Hz., zie figuur 33.
Daar de generator alleen door een gelijkrichter wordt belast worden geen bijzondere eisen aan de spanningsvorm gesteld; er is geen demperkooi nodig en de spreidingsreactantie kan hoog zijn. De machine vertoont daardoor geen subtransient gedrag terwijl de kortsluitstroom laag is; dit laatste is van belang indien kortsluitstromen over de gekipte wisselrichter en de gelijkrichter vloeien.
De tegenwoordig in gebruik zijnde gelijk- en wisselrichters zijn echter uitgerust met thyristoren zodat in geval van kortsluitingen, door blokkering van de stuurpulsen, zeer snel ingegrepen kan worden.
De generatorstroom benadert de sinusvorm zodat vrijwel geen kringstromen vloeien; de verliezen zijn daardoor laag en de polen en poolkernen kunnen in principe uit massief ijzer bestaan. Voor een nadere beschrijving van dit type generatoren en overige toepassingen verwijs ik naar de dissertatie van W. Hensel. [22]

Wordt de asgenerator direkt of via een p.t.o. door de hoofdmotor aangedreven, dan kan een normale synchrone generator als asgenerator worden gebruikt, althans op vissersschepen.

Het blindvermogen nodig voor de wisselrichter en het scheepsnet kan geleverd worden door de synchrone generator van het reserve dieselaggregaat.
Uit regeltechnische overwegingen wordt echter veelal een aparte synchrone generator geïnstalleerd die door een elektromotor op synchroon toerental wordt gebracht.
In dit geval is men volledig onafhankelijk van het dieselaggregaat.

De synchrone boordnetgenerator vervult drie funkties, te weten:
- verzorging van het blindvermogen voor de wisselrichter en het scheepsnet als synchrone condensor;
- het kontstant houden van de nominale netspanning en
- levering van de kortsluitstroom.

De asgenerator zelf kan over de gelijkstroomtussenkring alleen wattvermogen leveren.

De netspanning wordt konstant gehouden door de spanningsregeling van de synchrone condensor, overeenkomstig de gang van zaken bij een normale boordnetgenerator. [8]
De netfrequentie wordt eveneens bepaald door de synchrone condensor, op in wezen gelijke wijze als bij een dieselaggregaat.
Bij aandrijving met een dieselmotor bepaalt de brandstoftoevoer het aan de generator geleverde arbeidsvermogen en daarmee het toerental van de generator.
Bij een asgeneratorsysteem vindt hetzelfde plaats, met dien verstande dat het arbeidsvermogen van de asgenerator het toerental van de synchrone condensor regelt en daarmee de netfrequentie.

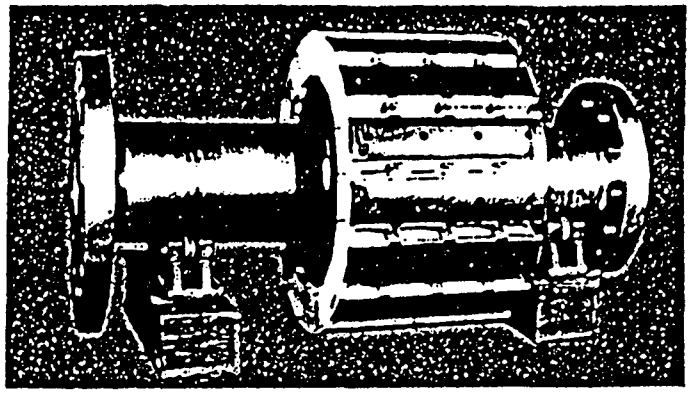
Voor kleine vermogens zoals op vissersschepen is op dit moment een asgeneratorsysteem in ontwikkeling, o.a. bij AEG-Telefunken in Hamburg.

8.3 Asgenerator met roterende omvormer. (systeem b)).

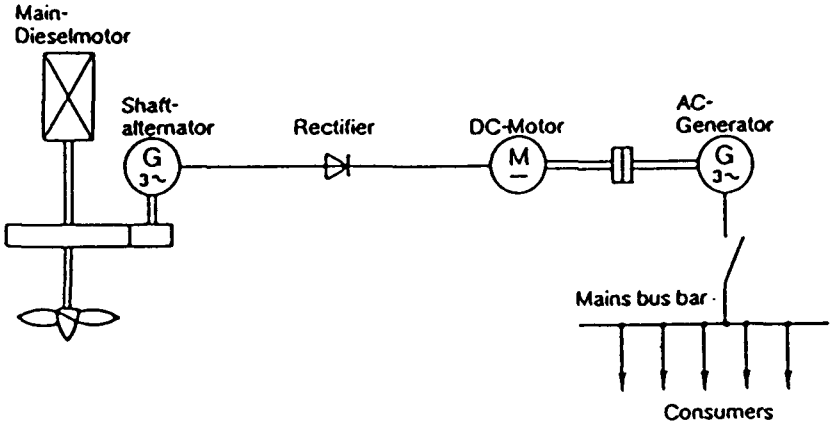
De uitvoering met roterende omvormer, een synchrone generator mechanisch gekoppeld aan een gelijkstroommotor, is eenvoudig, robuust en geschikt voor kleine vermogens, zie figuur 34.
Het draaistroomvermogen van de asgenerator wordt, na gelijkrichting, aan de gelijkstroommotor toegevoerd.
Het toerental van de gelijkstroommotor wordt konstant gehouden via de bekrachtigingsregeling van zowel de asgenerator als de motor.
Het toerentalbereik van de installatie is in principe groot genoeg voor toepassing op kotters; de afmetingen en de prijs van de asgenerator bepaalt in wezen het minimum toerental.

8.4 Asgenerator met mechanische variator. (systeem c)).

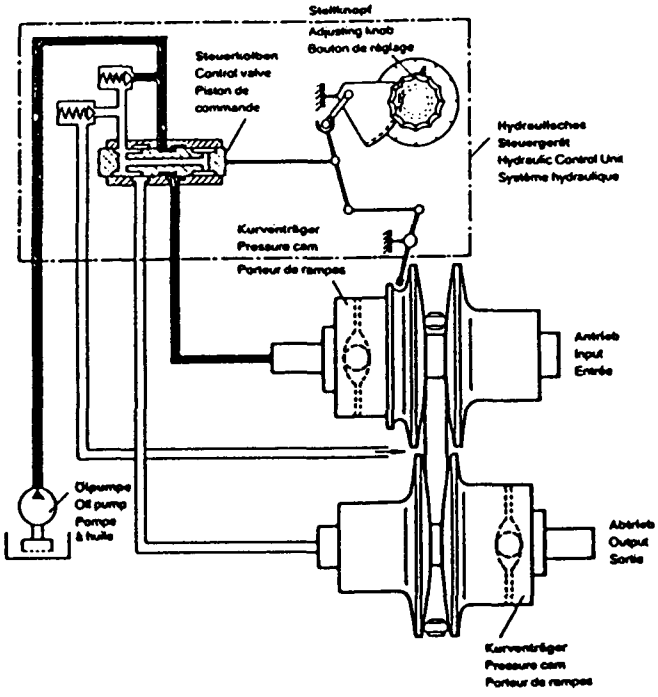
Bij dit type asgenerator worden de toerentalvariaties van de hoofdmotor opgenomen door wat genoemd kan worden variabele p.t.o.'s.



Figuur 33. Schroefasgenerator. (AEG-Telefunken).



Figuur 34. Asgeneratorsysteem met roterende omvormer. (AEG-Telefunken).



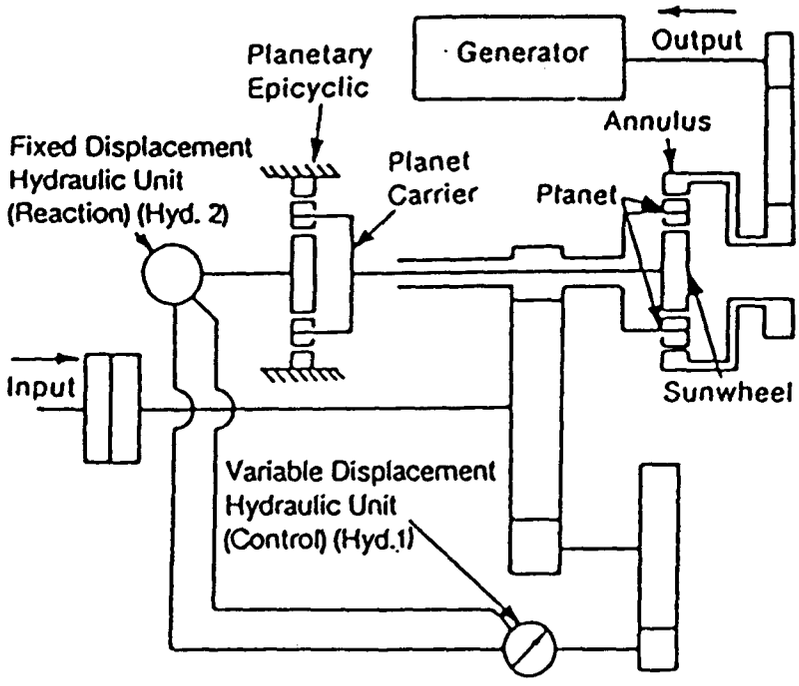
Figuur 35. P.I.V. servo systeem.

Sinds vele jaren bestaat het P.I.V. (Positive Infinitely Variable) systeem, voornamelijk in gebruik op binnenvaartschepen met bij een vermogen van circa 130 kW een regelbereik van 1 : 4. Toen eind 1982 uit visserijkringen aanvragen kwamen voor de levering van asgeneratoren, bleek alleen het P.I.V. systeem direkt leverbaar, zie figuur 35. [23]
De leverancier stelt hiermee een oplossing te bieden voor het gehele toerentalbereik, inklusief noodstop.
Op dit moment zijn twee nieuw gebouwde kotters met dit systeem uitgerust.
Voorzover mij bekend zijn er echter enige problemen gerezen ten aanzien van handhaving van de frequentie van het scheepsnet tijdens het uitvoeren van een noodstop.
Vervanging van de aanvankelijk geïnstalleerde synchrone generator zònder aktieve versterker door een type mèt aktieve versterker en door later in het jaar nog uit te voeren mechanische modifikaties hoopt men aan de eisen betreffende spannings- en frequentiestabiliteit te kunnen voldoen.
De levensduur van de stalen stelketting in het systeem wordt door de Nederlandse vertegenwoordiging op circa 10.000 uur gesteld.

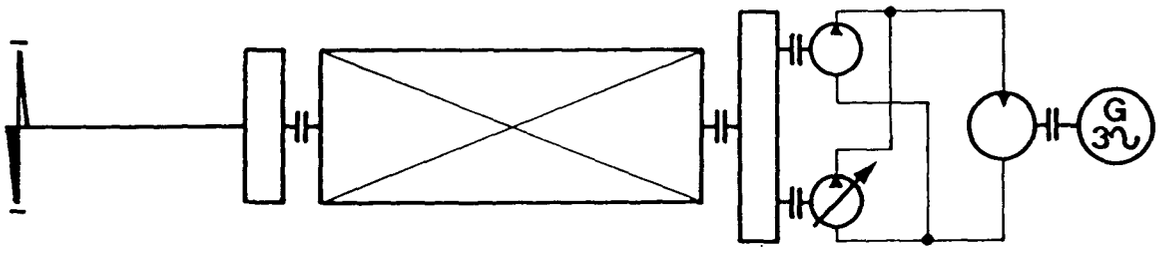
Een recente ontwikkeling op het gebied van mechanische variatoren is het Vickers' Constant-speed Shaft Driven Generator (CSGD) systeem, zie figuur 36. [24]
Dit systeem is ontwikkeld voor koopvaardijschepen en levert een konstant toerental aan de uitgang bij ingangstoerental-variaties van 63 tot 100 % bij 100 % vermogen.

8.5 Asgenerator met hydraulische variator. (systeem d)).

In reaktie op de vraag naar asgeneratorsystemen voor visserschepen zijn door twee Nederlandse firma's geheel hydraulisch geregelde systemen ontwikkeld.
Van het systeem ontwikkeld door v. Rietschoten & Houwens toont figuur 37 het principe.
Beide leveranciers zijn uitgegaan van het totale toerentalbereik van de hoofdmotor, dus inklusief noodstop.
Van beide systemen zijn onvoldoende gegevens bekend; leveringen hebben nog niet plaats gevonden.



Figuur 36. Principeschema Vickers' CSGD systeem.



Figuur 37. Hydraulisch geregeld asgeneratorsysteem.
(v. Rietschoten & Houwens)

9. Conclusies en aanbevelingen.

Aan verschillende behandelde onderwerpen kunnen conclusies worden verbonden; deze luiden, eventueel voorzien van aanbevelingen, als onderstaand.

9.1 Het gelijkstroomnet. (hoofdstuk 5.1).

De toepassing van vermogenselektronica op kotters t.b.v. het vislierbedrijf vindt slechts in beperkte mate plaats; zowel de leveranciers als de afnemers van deze systemen stellen zich zeer behoudend op.
Juist door de sterk toenemende vraag naar asgeneratorsystemen (hoofdstuk 8) is nu het moment gekomen om te overwegen ook het visliervermogen uit het draaistroomnet te betrekken.

9.2 Aandrijfsystemen voor de gelijkstroomgeneratoren. (hoofdstuk 5.2).

Aan boord van een kotter is het benodigde gelijkstroomvermogen veelal groter, soms 100 %, dan het benodigde draaistroomvermogen. Drijft een hulpdieselmotor beide generatoren aan, dan wordt deze diesel slechts gedurende ca. 20 % van de tijd optimaal belast. Gedurende 80 % van de tijd zal de dieselmotor een belastingsgraad van 50 % of lager hebben hetgeen sterke toename van de brandstofkosten met zich mee brengt, zie ook hoofdstuk 7.4.
In vrijwel alle gevallen is het aan te bevelen de gelijkstroomgenerator door de hoofdmotor (via een p.t.o.) en de draaistroomgenerator door een hulpdiesel (konstant toerental) aan te drijven, zie ook het gestelde in 9.7.

9.3 Algemene opmerkingen betreffende het geïnstalleerde vermogen. (hoofdstuk 5.4).

Standaardisatie bij nieuwbouw van kotters dient gestimuleerd te worden; op dit moment worden de ervaringen opgedaan met een bepaald type schip in onvoldoende mate overgedragen op nieuwbouwschepen.

Verhogen van de bedrijfszekerheid is een goede zaak; men kan echter consequenter te werk gaan waardoor met minder middelen hetzelfde bereikt wordt, zie onder 9.7.

9.4 Kortsluitberekeningen aan de HD 22 installatie. (hoofdstuk 6.8).

Hoewel deze berekeningen aan een relatief kleine installatie zijn uitgevoerd, zijn ze uiteraard onverkort geldig voor grotere installaties.
Gebleken is dat de resultaten van de verschillende rekenmethoden gelijk zijn.
Gezien de standaardisatie die (Vornorm) DIN 98 013 biedt, zowel in berekeningswijze als in presentatie van de resultaten, zou deze norm als standaard aanbevolen kunnen worden.

9.5 Kostenbesparing. (hoofdstuk 7.2).

Alleen als, om wat voor reden ook, de voorkeur wordt gegeven aan een voortstuwingsinstallatie met verstelbare schroef, zijn kostenbesparingen in relatie tot het benodigde elektrisch vermogen mogelijk.
Daar een verstelbare schroef uit een oogpunt van behandeling van schip en vistuig in de boomkorvisserij niet strikt noodzakelijk is, zijn geen grote kostenbesparende ontwikkelingen te verwachten.

9.6 Energiebesparing door omschakeling. (hoofdstuk 7.4).

Energiebesparing door omschakeling van hulp- naar nooddiesel-bedrijf blijkt niet interessant; omschakeling met de bedoeling de nooddieselmotor voldoende draaiuren te geven heeft in ieder geval geen financiële nadelen.

9.7 Optimaliseren van het prime mover vermogen. (hoofdstuk 7.5).

In aansluiting op het gestelde in 9.3 en uitgaande van een p.t.o.-aangedreven gelijkstroomgenerator, geldt nog het volgende.

Als reserve aan gelijkstroomvermogen lijkt het installeren van één gelijkstroomgenerator met het halve vermogen van de hoofdgelijkstroomgenerator op één der hulpdieselaggregaten voldoende.
Immers, raakt de hoofdgelijkstroomgenerator defekt, dan kunnen de vistuigen toch met de reserve generator worden binnengehaald, zij het met het halve toerental; raakt de p.t.o. zèlf defekt, dan is het de vraag of de reis in ieder geval niet afgebroken moet worden, daar de p.t.o. onderdeel van de tandwielkast is.
Het voordeel van deze benadering is, dat slechts één der hulpdieselaggregaten hoeft te worden uitgelegd voor de som van het (halve)gelijkstroom- en draaistroomvermogen; de andere hulpdiesel kan uitgelegd worden voor alléén het draaistroomvermogen en kan tevens als nooddieselaggregaat dienst doen.

9.8 Asgeneratoren. (hoofdstuk 8).

De vraag naar asgeneratorsystemen voor vissersschepen is groot en met recht: de visserij heeft de mogelijkheden tot besparingen juist ingeschat.
Opmerkelijk is dat de firma's die zich op dit moment bezig houden met asgeneratorsystemen, niet voortkomen uit de kring van traditioneel op de visserij gerichte (elektrotechnische) bedrijven.
Hopelijk leidt een eventueel gebrek aan ervaring met het visserijbedrijf niet tot schipbreuk van de nieuwe ontwikkelingen.

Literatuurlijst.

1. Koldewijn J. Th. en Mulder A. A. J.
Stabiliteitseisen voor boomkorkotters.
RIVO rapport 75-04.

2. Verbaan A.
Metingen trekkrachten in de vislijnen van een kotter die de boomkorvisserij "in de punten" beoefent.
RIVO rapport 75-02.

3. Krebs W.
Elektrische Schiffsanlagen, Entwurf und Ausführung.
VEB Verlag Technik Berlin, 1967.

4. Kosack H. und Wangerin A.
Elektrotechnik auf Handelsschiffen.
Springer-Verlag, 1956.

5. Grossenbach H.
Elektrische Antriebe von Fischnetzwinden.
Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft 69. Band 1975.

6. Visscher A. G. de
Energiebesparing op het hulpvermogen aan boord van zeeschepen.
Afstudeerverslag THE 1981.

7. Falkenberg H.
Vor hundert Jahren begann die Starkstromtechnik.
Schiff und Hafen, Heft 9/1966, 18. Jahrgang.

8. Brushless Three Fase Generators for Ships and Offshore Units.
Aeg-Telefunken Anlagentechnik Fachbereich Schiffbau.

9. Rüdenberg.
Elektrische Schaltvorgänge.
Springer Verlag 1974.

10. Flosdorf R. und Hilgarth G.
Elektrische Energieverteilung.
B.G. Teubner. Stuttgart 1982.

11. Moeller F. und Vaske P.
Elektrische Maschinen und Umformer.
B.G. Teubner. Stuttgart 1976.

12. Roeper R.
Kurzschlussströme in Drehstromnetzen.
Siemens A.G.

13. Droste W.
Ausgleichsvorgänge in Bordnetzen grosser Leistung.
Techn. Mitt. Aeg-Telefunken 64 (1974) 1.

14. Schild W.
Das Schaltvermögen von Leistungsschaltern in Drehstrom-Bordnetzen.
Hansa - Schiffahrt - Schiffbau - Hafen - 116. Jahrgang 1979 23.

15. Jong W. de
Design and Installation of Ships' Electrical Systems to Minimise The Effects from Fire.
Trans I Mar E (TM), Vol. 95, Paper 38. 1983.

16. Franken H.
Das Auftreten überhöhter Stromspitzen beim Ein- und Umschalten von Asynchronmotoren.
Klöckner-Moeller VER 91-354.

17. Stop de Energieverspillers.
The Ship Research Institute of Norway.
Vertaling Stichting Coördinatie Maritiem Onderzoek 1981.

18. Sahae R. A.
Shipboard Electrical Power Conservation - A Practical Approach.
The Society of Naval Architects and Marine Engineers.
New York 1982.

19. Gundlach H.
Schiffselektrotechnik.
Wellengeneratoren auf Schiffen, rational und sparsam.
Siemens A.G.

20. Büschen R.
WGA 23 - ein modernes Wellengeneratorsystem von Siemens.
Hansa - Schiffahrt - Schiffbau - Hafen - 120. Jahrgang 1983 13.

21. Hensel W. und Heller U.
Energiesparende Versorgungssysteme für die elektrischen Verbraucher an Bord von Schiffen.
Aeg-Schiffbau, Hamburg.

22. Hensel W.
Die geregelte Synchronmaschine ohne Dämpferwicklung mit Gleichrichterbelastung in elektrotechnischen Anlagen an Bord von Schiffen.
Dissertation. Hamburg 1974.

23. Pringle G. G.
Economic Power Generation at Sea: The Constant-speed Shaft Driven Generator.
Vickers Shipbuilding and Engineering Limited.
Trans I Mar E (TM), 1982, Vol. 94, Paper 30.

24. Grabler W.
Die Anwendung von stufenlos einstellbaren P.I.V.-Getrieben auf Schiffen.
P.I.V. Antrieb Werner Reimers KG., Bad Homburg.

Lijst van figuren.

Nr.	Titel.
1	Boomkorvisserij.
2	Stand onderpees en wekkerkettingen.
3	Nomogram stuwkracht-snelheid.
4	Bodem-echogram zuidelijke Noordzee.
5	Hoofdbestanddelen elektrische installatie HD 22.
6	Koppel-toerenkromme vislier HD 22.
7	Principe stroomkompoundering synchrone generator.
8	Bekrachtigingsdiagram Indar 95 kVA synchrone generator.
9	Hoofdbestanddelen elektrische installatie GO 26.
10	Asymmetrische kortsluitstroom.
11	Symmetrische kortsluitstroom.
12	Verschuiving hoofdveld t.o.v. polen.
13	Splitsing velden in langs- en dwars-assen.
14	Ontstaan kortsluitstroom uit wisselstroom i_w en gelijkstroom i_g.
15	Diagrammen ter bepaling van $I_{piek\ max.}$.
16	Omhullende van de effectieve waarde van de kortsluitstroom van een synchrone generator.
17	Vektordiagram ter bepaling van E".
18	Tabel 3 uit DIN 89 013.
19	Grafiek ter bepaling van stootfaktor κ.
20	Kortsluitkring met ohmse weerstand R en zelfinduktie L.
21	Nullastkarakteristiek Indar 50 kVA synchrone generator.
22	Nullastkarakteristiek Indar 95 kVA synchrone generator.
23	Symmetrische kortsluitstroom Indar generator 50 kVA.
24	Asymmetrische kortsluitstroom Indar generator 50 kVA.
25	Symmetrische kortsluitstroom Indar generator 95 kVA.
26	Asymmetrische kortsluitstroom Indar generator 95 kVA.
27	Oscillogram van een wederinschakeling bij nominale belasting.
28	Specifiek brandstofverbruik hulpdiesel- en nooddieselmotoren HD 22.
29	Brandstofkosten in cent/kWh hulpdiesel- en nooddieselmotoren HD 22.
30	Principeschema van een elektrotechnisch geregeld asgeneratorsysteem. (Siemens WGA 23).

Nr.	Titel.
31	Belastingsdiagram elektrotechnisch geregeld as-generatorsysteem.
32	Uitvoeringsvormen asgeneratorsystemen. (Siemens).
33	Schroefasgenerator. (Aeg-Telefunken).
34	Asgeneratorsysteem met roterende omvormer.
35	P.I.V. servo systeem.
36	Principeschema Vickers' CSGD systeem.
37	Hydraulisch geregeld asgeneratorsysteem. (v. Rietschoten & Houwens).