



Eilandbedrijf

P.M. van Oirsouw
13 december 2005

PHASE TO PHASE 

Er bestaat behoefte aan een methode voor loadflowberekeningen voor netten in eilandbedrijf, zoals op schepen en boorplatforms en zoals dat kan voorkomen bij industriële netten die soms los van het externe net komen te staan. Een loadflowberekening vereist echter altijd een netvoeding, waarin een "Swingbus" is opgenomen. Een loadflow zonder swingbus werkt in principe niet, zodat er een creatieve oplossing gevonden moet worden. In de oplossing is met name aandacht besteed aan de vermogensverdeling over de generatoren.

Probleemstelling

- Traditionele loadflow
 - Vermogensuitwisseling met een extern net
 - Alle onbalans gaat naar de voeding
 - De voeding is vertegenwoordigd door een “swingbus”
- Eilandbedrijf en geen swingbus ?
 - Loadflow zonder swingbus werkt in principe niet !

PHASE TO PHASE

De techniek van een traditionele loadflow is gebaseerd op het zoeken van de knooppuntspanningen met behulp van een systeem van netwerkvergelijkingen. Het netwerk is gemodelleerd met evenveel vergelijkingen als er knooppunten zijn. Op elk knooppunt kan een vermogen worden geïnjecteerd. Dit stelsel vergelijkingen kan niet worden opgelost als niet één van de onbekenden als referentie genomen wordt. Het knooppunt, waarvan de spanning als referentie genomen wordt, wordt de “Swingbus” genoemd. Van dat knooppunt liggen de grootte en de hoek van de spanning vast. In een traditionele loadflowberekening wordt de swingbus in de netvoeding opgenomen. De spanning van de netvoeding is daarbij een door de gebruiker ingevoerde waarde (U_{ref}) maal de nominale spanning. De hoek van de spanning is meestal nul, maar kan door de gebruiker ingevoerd worden.

Doordat de spanning van de netvoeding vastligt, moet het complexe vermogen ($P+jQ$) “losgelaten” worden. Dat betekent dat het verschil tussen opwekking en belasting in het net altijd door de netvoeding wordt aangezuiverd. De traditionele loadflow is dus altijd gebaseerd op vermogensuitwisseling met een extern net, waarbij de swingbus onmisbaar is.



Aanpak: eilandbedrijf en de swingbus

- Loadflow
 - Geen externe voeding aanwezig
 - Swingbus onzichtbaar aanbrengen
 - Generatoren zodanig regelen dat de vermogensuitwisseling swingbus → nul
 - Spanning swingbus moet het net volgen
- Kortsluitberekening IEC
 - Zonder netvoeding

PHASE TO PHASE 

Aangezien er in eilandbedrijf geen externe netvoeding aanwezig is, moet er een onzichtbare swingbus worden aangebracht, en wel op zo'n manier dat die geen merkbare invloed heeft op de toestand van het eilandnet.

Het vermogen dat alle belastingen in het eilandnet vragen, moet door de generatoren tezamen worden opgebracht. Er moet dus een algoritme zijn ingebouwd, dat ervoor zorgt dat de generatoren zodanig zijn ingesteld dat de vermogensuitwisseling met de swingbus nul is. Ook moet de referentiespanning van de swingbus op de in het eilandnet aanwezige spanningen zijn afgestemd.

De kortsluitberekeningen volgens de methode van de Sequentiële Storingsanalyse gaat uit van de loadflowsituatie, zodat ook daar een swingbus nodig is.

Voor de kortsluitberekening volgens IEC 60909 is geen swingbus nodig.

Regeling (1)

- Statiek is maat voor verhouding frequentievariatie en vermogensvariatie

$$S = -\frac{\Delta f / f_{nom}}{\Delta P / P_{nom}} \cdot 100\%$$

- Regelcoëfficiënt is de verhouding tussen de vermogensvariatie en de frequentievariatie

$$K_T = \frac{P_{nom}}{f_{nom}} \frac{100}{S} \Rightarrow \Delta P = -\Delta f \cdot K_T$$

PHASE TO PHASE ■

Voor de verdeling van de vermogens over alle generatoren is een frequentie-vermogensregeling aanwezig. Bij elke verandering van de belasting zal de frequentie iets wijzigen. De opwekkers zullen meteen reageren door meer of minder vermogen te leveren, zodat in de nieuwe toestand weer een evenwicht tussen belasting en opwekking aanwezig is.

Een opwekeenheid met frequentie-vermogensregeling gaat door de frequentiedaling meer vermogen leveren. Hoeveel vermogen de eenheid bijregelt, ligt vast in de statiek. De statiek is gedefinieerd als het quotiënt van de frequentieverandering en de vermogensverandering.

Hoe groter de statiek, des te minder draagt de eenheid bij aan de vermogensverandering.

De regelcoëfficiënt is een afgeleide grootheid, die aangeeft hoeveel de eenheid bijdraagt aan een vermogenstekort.

Het uiteindelijk bijgeregelde vermogen is aldus afhankelijk van de frequentiedaling en de regelcoëfficiënt van de eenheid.

Regeling (2)

- De frequentieverandering is gelijk aan:

$$\Delta f = -\frac{\sum_{i=1}^n \Delta P_i}{\sum_{i=1}^n K_i} = -\frac{\Delta P_L}{\sum_{i=1}^n K_i} = -\frac{\Delta P_L}{K_N}$$

- De bijdrage van eenheid m aan ΔP is:

$$\Delta P_m = -\Delta f \cdot K_m = \Delta P_L \frac{K_m}{K_N}$$

PHASE TO PHASE ■

De som van de regelconstanten van alle eenheden wordt de Netconstante (K_N) genoemd.

Met de netconstante is het mogelijk om de frequentieverandering in een net als gevolg van een belastingsverandering in een eilandnet uit te rekenen. Deze is gelijk aan het quotiënt van de belastingsverandering en de netconstante.

Ook het grote UCTE koppelnet is een eilandnet. Elke belastingsverandering leidt tot een frequentieverandering. Alle gekoppelde centrales zijn voorzien van een frequentie-vermogensregeling volgens dit principe.

De bijdrage van een enkele eenheid volgt uit de eigen regelconstante (K_m).

Eilandbedrijf uitgangspunten

- Generieke aanpak
- Meerdere eilanden mogelijk
- Instelling generatoren via f/P-statiek
- Voorwaarden:
 - Synchrone generatoren met spanningsregeling en frequentie-vermogensregeling
 - Opgestelde vermogen voldoende voor belasting
- Een goede keuze voor S_{basis} is belangrijker

PHASE TO PHASE

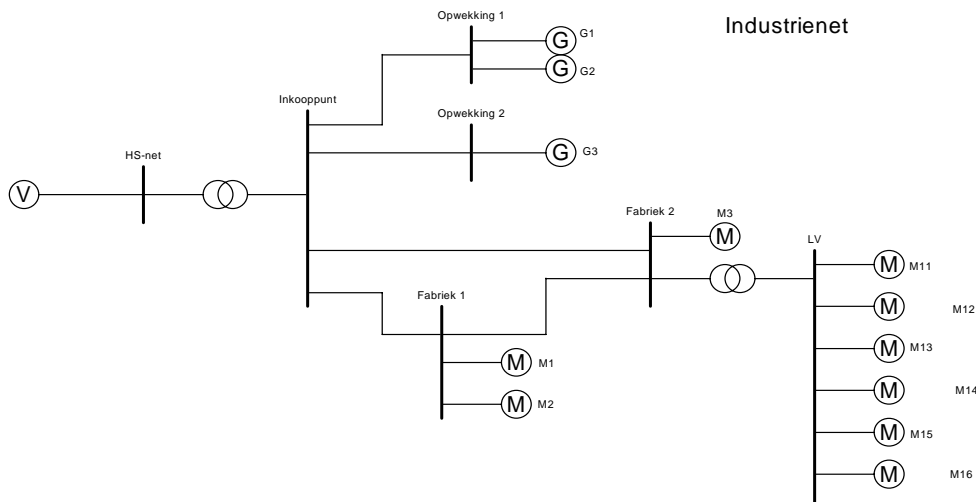
In Vision is gekozen voor een generieke aanpak. Dat houdt in dat we niet gebonden zijn aan één eiland. Elk losstaand netdeel kan in eilandbedrijf worden opgelost. Daarbij worden de volgende voorwaarden gesteld:

- Er moeten synchrone generatoren aanwezig zijn, die voorzien zijn van een ingeschakelde spanningsregeling en de statiek van de frequentie-vermogensregeling moet zijn ingevuld.
- Het in het eilandnet opgestelde en ingeschakelde vermogen moet voldoende zijn om de belasting te voeden.

Generatoren, waarvan de f/P-statiek niet is ingevuld, doen niet mee aan de regeling. Ook generatoren met een vaste $\cos\phi$ doen niet mee aan de regeling.

Een gevolg voor de gekozen aanpak is dat de keuze voor S_{basis} belangrijker is voor het oplossingsproces. Een algemene formule voor deze waarde is niet te geven. Indien het oplossingsproces niet convergeert of het maximaal aantal iteraties bereikt is, kan een andere keuze voor S_{basis} tot betere resultaten leiden.

Demonstratie loadflow

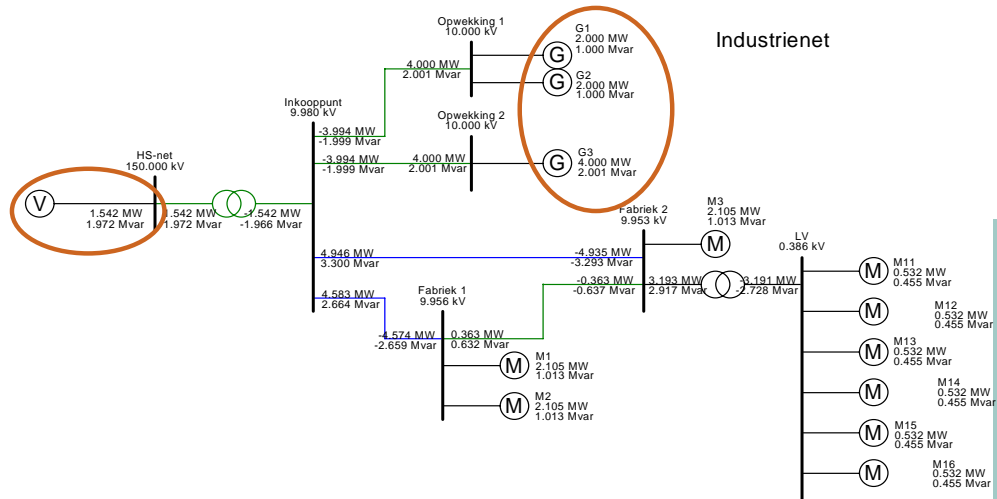


PHASE TO PHASE

Voor de demonstratie gaan we uit van een standaard industrienet met veel motorbelastingen. De nominale spanningen zijn 10 kV en 400 V. De generatoren G1 en G2 hebben een nominaal vermogen van 10 MVA. De generator G3 heeft een nominaal vermogen van 20 MVA. Dit net kan evengoed het net aan boord van een schip of boorplatform zijn.

Het net is gekoppeld met een voedend HS-net. De netvoeding is gekoppeld via een 150/10 kV transformator.

Demonstratie loadflow



PHASE TO PHASE

De generatoren voeden het eigen net en de onbalans wordt uit het HS-net gevoed.

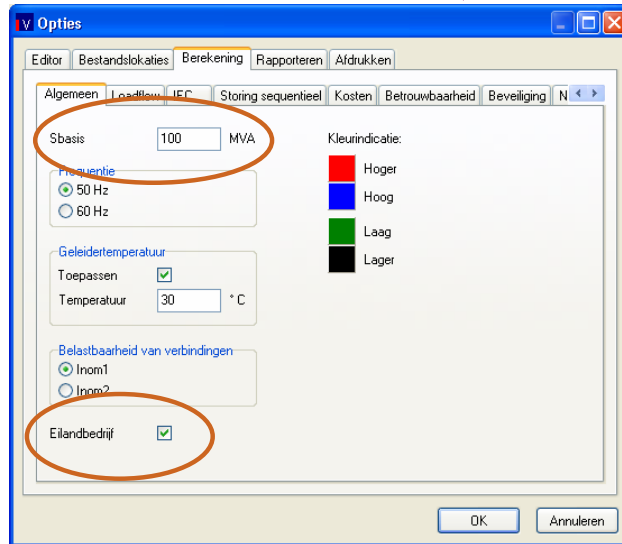
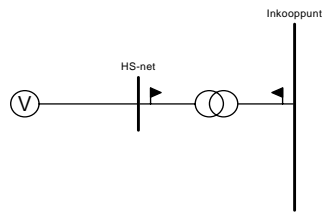
De totale belasting in dit net is:

$$P = 1,542 + 2 + 2 + 4 \text{ MW} = 9,542 \text{ MW}$$

$$Q = 1,972 + 1 + 1 + 2,001 = 5,973 \text{ Mvar}$$

Openen van de verbinding met het voedende HS-net leidt tot afschakeling van het achterliggende net. In de traditionele loadflow zou dit net niet berekend kunnen worden.

Opties voor het eilandbedrijf



PHASE TO PHASE

Nieuw is de optie om het afgeschakelde net in eiland te kunnen berekenen, in te stellen via: **Extra | Opties | Berekening | Algemeen**. Deze is standaard uitgeschakeld.

Op ditzelfde scherm kan de waarde voor S_{basis} worden aangepast. Een waarde van 100 MVA werkt in veel gevallen goed.

Eilandbedrijf

Synchrone generator

Algemeen Generator Aansluiting Betrouwbaarheid Bijzonderheden Beeld Selectie

Opwekking 1
10 kV

Type:
Unom: 10 kV
Snom: 10 MVA

Naam: G1

Instelling generator:
Pref: 2 MW
Patroon: Default
f/P-statiek: 10 %

Instelling cosinus-phi-regeling:
cos phi: 0.85
Q: leveren

Instelling spanningsregeling:
Uref: 1.01 pu
UQ-statiek: 10 %
 Ander regelknooppunt

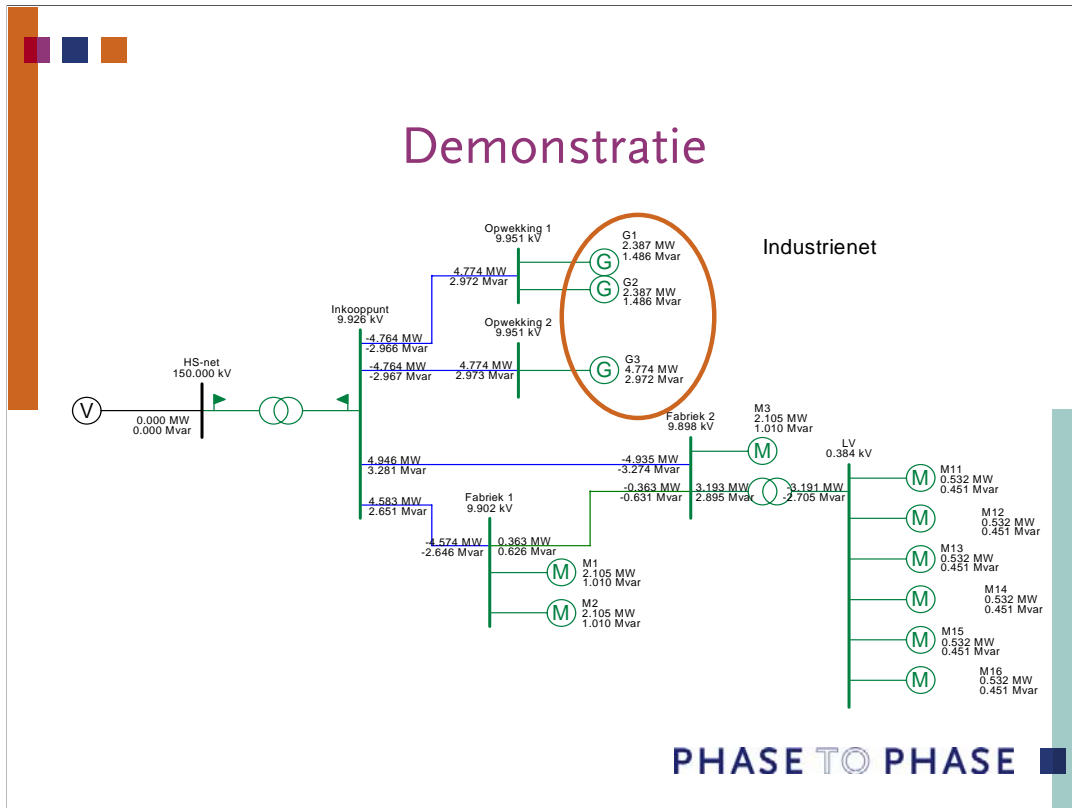
OK Annuleren

- Instelling generatoren via f/P-statiek

PHASE TO PHASE

Nieuw is de instelling voor de statiek van de frequentie-vermogensregeling. Deze waarde kan liggen tussen 0 en 20%. Een eenheid met een kleinere statiek draagt meer bij aan een veranderende vermogensvraag.

Indien bij de f/P-statiek nul is ingevuld, doet de eenheid echter niet mee aan de frequentie-vermogensregeling. Ook eenheden, waarvan de "Instelling spanningsregeling" niet is aangevinkt, doen niet mee aan de regeling.



De voedingstransformator wordt uitgeschakeld en het net gaat over in eilandbedrijf. De vermogensverandering die de generatoren “zien” is gelijk aan het weggefallen vermogen dat de netvoeding leverde. De generatoren voeden het eigen net en de onbalans wordt via de frequentie-vermogensregeling opgevangen.

De totale opwekking in dit net is:

$$P = 2,387 + 2,387 + 4,774 \text{ MW} = 9,548 \text{ MW}$$

$$Q = 1,486 + 1,486 + 2,972 = 5,944 \text{ Mvar}$$

Deze vermogens zijn nagenoeg gelijk aan de vermogens in de situatie van het gekoppelde net, dus de regeling heeft goed gewerkt.

De f/P-statiek van alle generatoren is gelijk. Het nominale vermogen van generator G3 is twee maal zo groot als dat van generatoren G1 en G2.

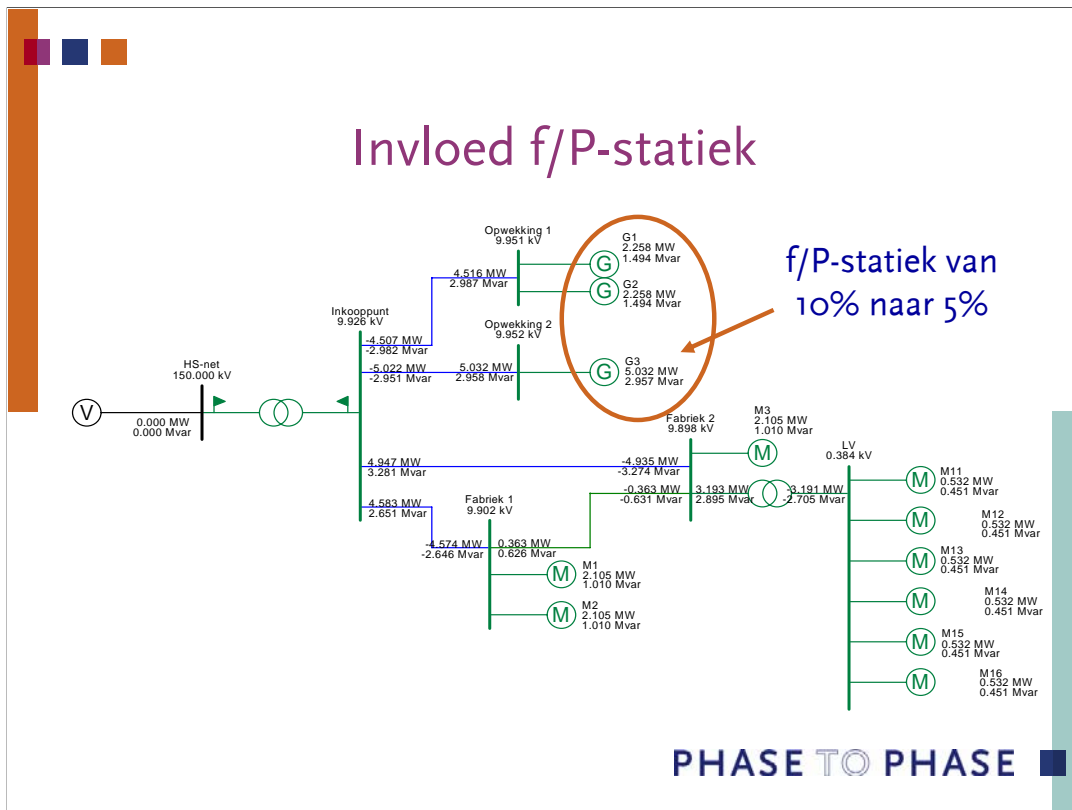
Duidelijk is te zien dat generator G3 twee keer zoveel bijdraagt aan de vermogensverandering als generatoren G1 of G2.

Generator 1 en 2: P van 2 naar 2.387 MW

Generator 3: P van 4 naar 4.774 MW

Voor de verhouding van de bijdragen geldt:

$$\text{Toename } G3 / \text{Toename } G1 = 0.774 / 0.387 = 2$$



De statiek van generator G3 is gewijzigd van 10% naar 5%. De bijdrage van generator G3 wordt dan twee maal zo groot.

De totale opwekking in dit net is:

$$P = 2,258 + 2,258 + 5,032 \text{ MW} = 9,548 \text{ MW}$$

$$Q = 1,494 + 1,494 + 2,957 = 5,945 \text{ Mvar}$$

Deze vermogens zijn nog steeds nagenoeg gelijk aan de vermogens in de situatie van het gekoppelde net.

Het nominale vermogen van generator G3 is twee maal zo groot als dat van generatoren G1 en G2.

Duidelijk is te zien dat generator G3 nu vier keer zoveel bijdraagt aan de vermogensverandering als generatoren G1 of G2.

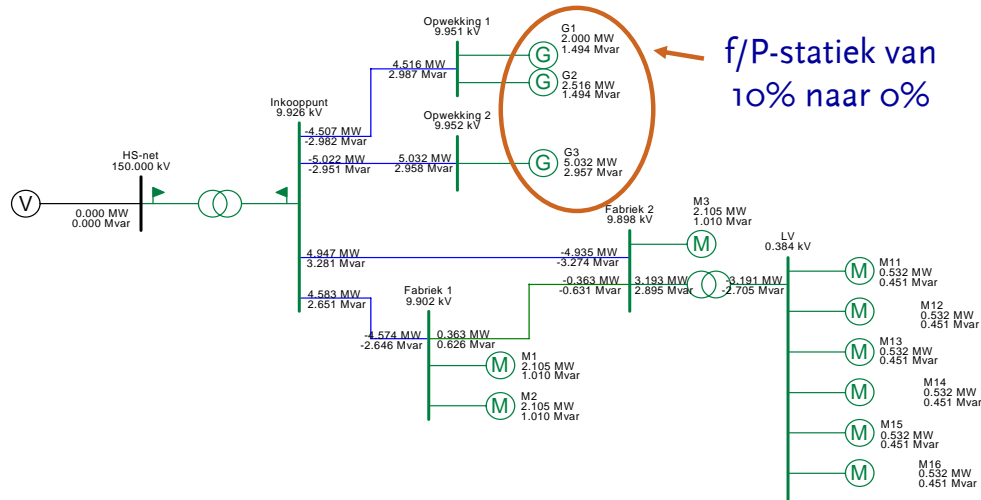
Generator 1 en 2: P van 2 naar 2.258 MW

Generator 3: P van 4 naar 5.032 MW

Voor de verhouding van de bijdragen geldt:

$$\text{Toename } G3 / \text{Toename } G1 = 1.032 / 0.258 = 4$$

Invloed niet-regelende eenheden



PHASE TO PHASE

Van generator G1 is de f/P-statiek op 0 gezet. Als gevolg doet deze generator niet meer mee aan de frequentie-vermogensregeling. De f/P-statiek van generator G3 is weer terug op 10% gezet.

De totale opwekking in dit net is:

$$P = 2 + 2,516 + 5,032 \text{ MW} = 9,548 \text{ MW}$$

$$Q = 1,494 + 1,494 + 2,957 = 5,945 \text{ Mvar}$$

Deze vermogens zijn nagenoeg gelijk aan de vermogens in de situatie van het gekoppelde net.

Het nominale vermogen van generator G3 is twee maal zo groot als dat van generator G2.

De f/P-statiek van generator G3 is weer teruggebracht naar 10%.

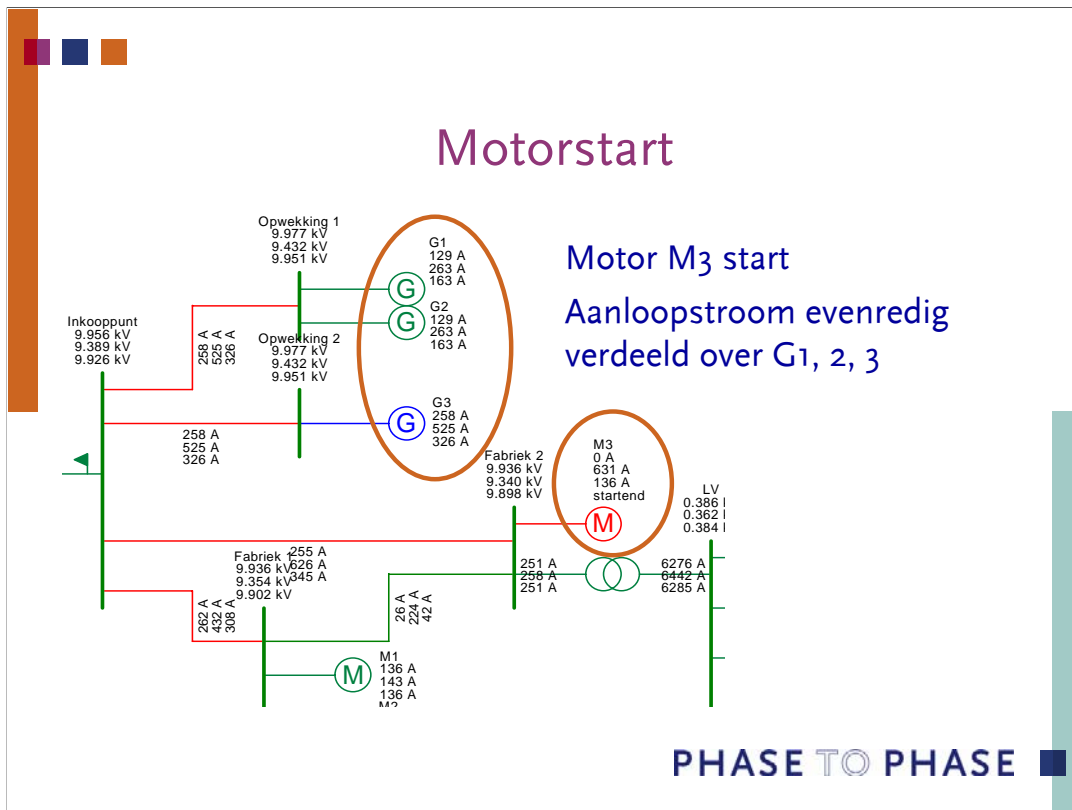
Duidelijk is te zien dat generator G3 twee keer zoveel bijdraagt aan de vermogensverandering als generator G2, alleen nu moeten G2 en G3 beide meer vermogen bijregelen.

Generator 2: P van 2 naar 2.516 MW

Generator 3: P van 4 naar 5.032 MW

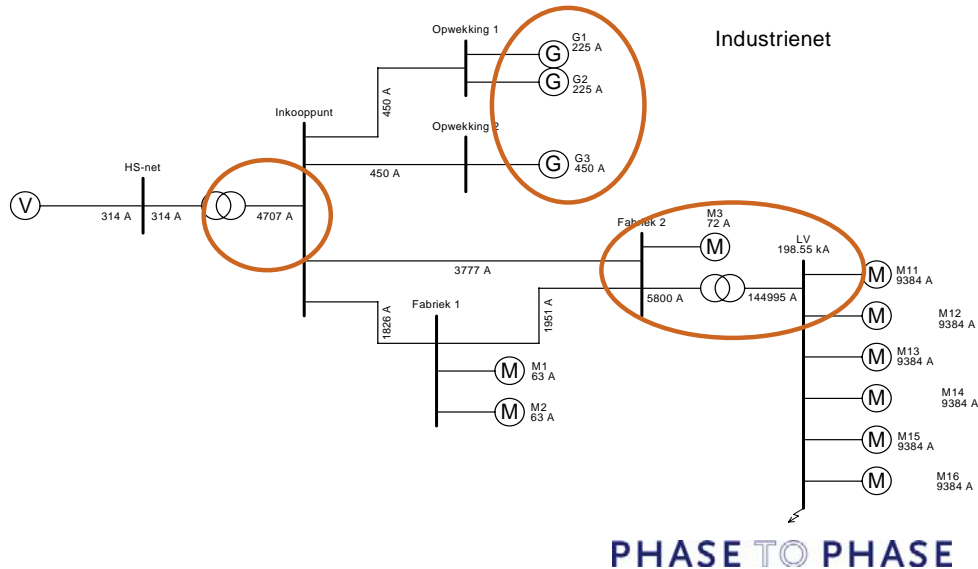
Voor de verhouding van de bijdragen geldt:

$$\text{Toename } G3 / \text{Toename } G2 = 1.032 / 0.516 = 2$$



Een motorstartberekening bestaat uit een opvolging van drie loadflowberekeningen. Elk van deze berekeningen wordt uitgevoerd in eilandbedrijf, waarbij tijdens het aanlopen van de motor niet gekeken wordt naar de f/P-statiek, maar naar de verhouding van de grootte van de eenheden. De regelingen zijn in praktijk namelijk vaak niet snel genoeg voor een startende motor. Bovendien is de arbeidsfactor tijdens aanlopen meestal klein, zodat vooral veel blindvermogen wordt gevraagd.

Kortsluitberekening gekoppeld bedrijf



Voor demonstratie van de kortsluitberekening wordt eerst de kortsluitstroom berekend voor de situatie van gekoppeld bedrijf. De kortsluiting vindt plaats op de laagspanningsverdeler van de motoren.

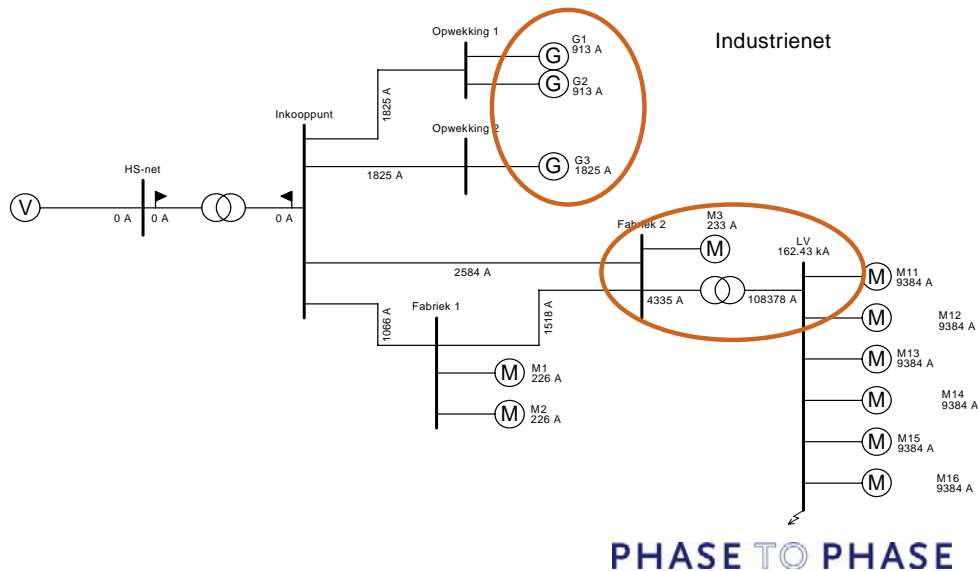
Laagspanningsnet:

- De kortsluitstroom op de foutplaats is 198 kA.
- De bijdrage vanuit het net is 145 kA; de rest komt van de asynchrone motoren op de LV-rail.

Middenspanningsnet:

- De generatoren leveren samen 900 A bij aan de kortsluiting.
- De meeste bijdrage komt vanuit het HS-net en bedraagt 4707 A.

Kortsluitberekening eilandnet



Vervolgens wordt de voedingstransformator uitgeschakeld. Dezelfde kortsluiting op de LV-rail wordt bestudeerd.

Laagspanningsnet:

- De kortsluitstroom op de foutplaats bedraagt 162 kA. Dat is 35 kA minder dan in de gekoppelde situatie.
- De bijdrage vanuit het eigen net is 108 kA; de rest komt van de asynchrone motoren op de LV-rail.

Middenspanningsnet:

- De generatoren leveren samen 3700 A bij aan de kortsluiting. Dat is 4x meer dan in de gekoppelde situatie.



Slotopmerkingen kortsluitberekeningen

- IEC 60909 voor alle installaties
- IEC 61363 voor schepen en off-shore
 - “Electrical installations of ships and mobile and fixed offshore units”
 - Toepasbaar voor alle eilandnetten van beperkte omvang



Slotopmerkingen IEC 61363

- Bedoeld voor radiale driefasensystemen met:
 - Generatoren, motoren, transformatoren, spoelen, kabels, convertoren
 - Nulpunten zwevend of via een impedantie met de romp van het schip verbonden
- Subtransiënte en transiënte tijddomein
 - Meer aandacht voor afnemende generator- en motorbijdrage

PHASE TO PHASE 



IEC 61363: modellering

- Uitgebreid generatormodel:
 - E''_d E'_d E''_q E'_q
 - T_{dc} T'_d T''_d
- Onderscheid in grote en kleine motoren
 - Ook converter connected
- “Shaft”-generatoren
 - Converter connected

PHASE TO PHASE ■



IEC 61363: modellering

- Symmetrische kortsluiting
- Asymmetrische kortsluiting niet in de norm
- Geen invloed van spanningsregeling

Conclusie

- Loadflow uitgebreid met frequentievermogensregeling
- Zonder “swingbus” geen loadflow
 - Dankzij “verborgen” swingbus nu ook berekeningen aan eilandnetten mogelijk
- Kortsluitberekeningen uitvoerbaar in eilandnetten
- De norm IEC 61363 voor offshore toepassingen vereist nadere studie

PHASE TO PHASE

De loadflow is uitgebreid met een regelalgoritme dat de frequentievermogensregeling van centrales simuleert.

De onmisbare swingbus kan dankzij dit regelalgoritme in netten zonder netvoeding onmerkbaar op de achtergrond aanwezig zijn om het stelsel vergelijkingen te kunnen oplossen. Hierdoor kan de loadflow nu ook worden ingezet voor berekeningen aan eilandnetten, zoals op schepen en boorplatforms.

De kortsluitberekeningen volgens Storing Sequentieel en IEC kunnen ook op eilandnetten worden toegepast. Implementatie van de norm IEC 61363 voor offshore installaties vereist nadere studie.