

PHASE TO PHASE

Vijfgeleiderloadflow

03-181 pmo

20 november 2003

Phase to Phase BV
Utrechtseweg 310
Postbus 100
6800 AC Arnhem
T: 026 356 38 00
F: 026 356 36 36
www.phasetophase.nl

© Phase to Phase BV, Arnhem, Nederland. Alle rechten voorbehouden.

Dit document bevat vertrouwelijke informatie. Overdracht van de informatie aan derden zonder schriftelijke toestemming van of namens Phase to Phase BV is verboden. Hetzelfde geldt voor het kopiëren van het document of een gedeelte daarvan.

Phase to Phase BV is niet aansprakelijk voor enige directe, indirecte, bijkomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken.

INHOUD

1	Inleiding	4
2	Modellering.....	5
3	Berekening	13
4	Testen.....	15
5	Conclusies.....	26

1 INLEIDING

In november 2002 heeft Phase to Phase al melding gemaakt van de plannen en de eerste werkzaamheden voor een vijfgeleiderloadflow in Gaia. In 2003 is veel werk verricht aan modellering en rekentechniek, waarvoor enkele belangrijke keuzes gemaakt zijn. Zo is afgestapt van de traditionele loadflow rekenmethodes en is met de TU Delft gewerkt aan goede modellen van de transformatoren en de asynchrone machines. Dit rapport geeft een korte inleiding over de belangrijkste modellen en de

- **Waarom?**
 - Huidige Gaia veronderstelt symmetrische belastingen
 - Wensen:
 - Éénfase en fase-fase belastingen
 - Nulonderbreking
 - Asymmetrie corrigerende transformatoren
 - Losse aardgeleiders (koperen strip)
- **Aanpak**
 - Volledige modellering van alle fasen, de nulgeleider en de aardgeleider

implementatie in Gaia.

Waarom rekenen aan een systeem met 5 geleiders? In de huidige Gaia bestaan de modellen uit één fase, nulgeleider en aardgeleider. Dan konden de bestaande rekentechnieken worden gebruikt. De huidige Gaia veronderstelt fasesymmetrische kabels en belastingen. Dat is in LS-netten niet altijd het geval.

Vragen uit het verleden waren te kunnen rekenen aan:

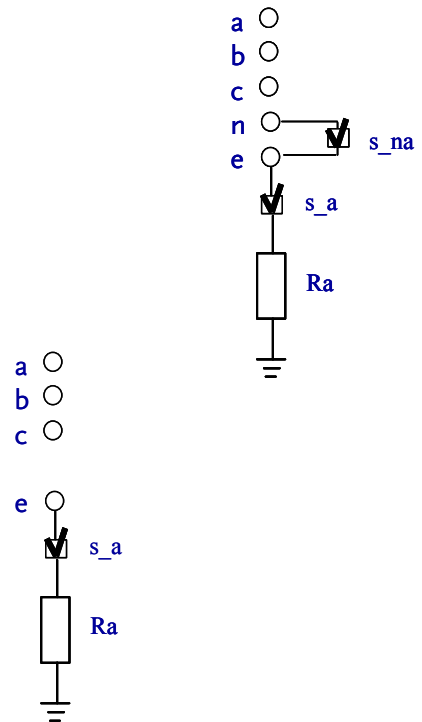
- éénfasebelastingen en belastingen tussen twee fasen
- de gevolgen van een onderbroken nulleider
- de invloed van asymmetrie corrigerende transformatoren op éénfase fouten
- invloed van “bijzondere” kabelconfiguraties, zoals losse aardgeleiders (koperen strip)

Aanpak

- Basis van de vijfgeleiderloadflow is de volledige modellering van de kabels met drie fasen, een nulleider en een aardscherm of aardgeleider.
- Dit vergt nieuwe modellen van alle componenten en een compleet nieuw netberekenningsalgoritme (loadflow).

Modellering knooppunten

- LS-net
 - Per topologisch knooppunt 5 elektrische knooppunten
 - Op elk topologisch knooppunt nul-aarde koppeling mogelijk
 - Op elk topologisch knooppunt aarding (resistief) mogelijk
- MS-net
 - Modelleren zonder nulleider
 - Per topologisch knooppunt 4 elektrische knooppunten
 - Op elk topologisch knooppunt aarding (resistief) mogelijk



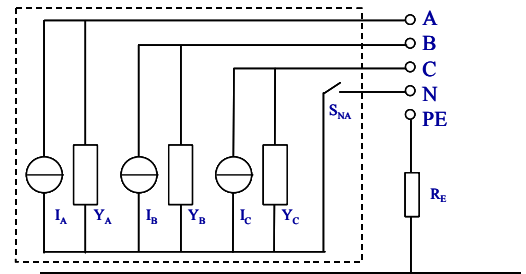
Voor de knooppunten moet nu een onderscheid gemaakt worden tussen topologische knooppunten, die in de werkelijkheid de schakelkasten en de moffen representeren, en de elektrische knooppunten, die voor de berekening het specifieke gedrag van fasen, nul en aardscherm representeren.

In elk topologisch LS-knooppunt kan worden opgegeven of de nul en aarde met elkaar doorverbonden zijn. In de MS-knooppunten is geen nul gemodelleerd.

Het totale elektrische systeem kan op diverse plaatsen geaard worden door een impedantie op te nemen tussen de aardgeleider en de verre referentieaarde. De aardverspreidingsweerstand (R_a) kan apart worden gespecificeerd. Hiermee kunnen zowel aardelektrodes als slecht isolerende buitenmantels gemodelleerd worden.

Modellering netvoeding

- LS-netvoeding
 - Verbinding met nulleider kan open/gesloten
 - Verbinding met verre aarde alleen via knooppunt
- MS-netvoeding
 - Geen verbinding met nulleider
 - Verbinding met verre aarde alleen via knooppunt



De netvoeding is gemodelleerd voor toepassing in geaarde en eventueel zwevende laagspanningsnetten en voor toepassing in zwevende middenspanningsnetten.

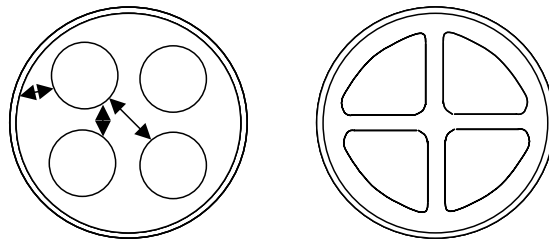
De laagspanningsnetvoeding bestaat uit drie Norton-equivalent voedingsbronnen, waarvan de spanningen elk 120 graden ten opzichte van elkaar zijn gedraaid. Deze drie bronnen zijn in ster geschakeld, zodat de gezamenlijke nul al dan niet op het knooppunt kan worden aangesloten. Standaard is de nul op het knooppunt aangesloten. Het net kan hier via het bijbehorende knooppunt worden geaard.

Het model van de middenspanningsnetvoeding is in principe gelijk aan dat van de laagspanningsnetvoeding, met dien verstande dat de nul niet kan worden aangesloten. Het middenspanningsknooppunt bevat immers geen nulleider.

De middenspanningsnetten kunnen eventueel van een nulpunt voorzien worden met behulp van een (zigzag) nulpuntstransformator.

Modellering kabels

- Kabels en verbindingen
 - Volledig gevuld uit huidige fase-nul-aardgeleider-model
 - Gemodelleerd met 5x5 admittantiematrices



Bovenstaande figuren tonen de opbouw van een LS-kabel met ronde en een met sectorvormige geleiders. Aan de opbouw van de kabels is te zien dat het net in principe niet symmetrisch is, zodat de gebruikelijke symmetrische componentenmethode voor MS- en HS-netten (met homopolair, normaal en invers stelsel) niet meer voldoet.

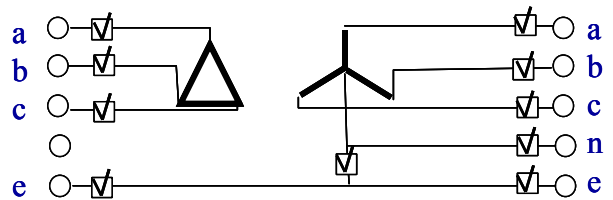
De kabelimpedanties zijn al berekend voor de aanraakveiligheids-berekening, maar werden tot nu toe nog maar gedeeltelijk gebruikt. De kabels worden nu volledig gemodelleerd, zodat alle zelfimpedanties en mutuele koppelingen tussen fasen onderling en fasen met nul en aardscherm correct verwerkt worden.

Alle gegevens worden verzameld in een volledig gevulde 5x5 matrix.

De schakelmogelijkheden zijn uitgebreid, zodat nu ook per fase geschakeld kan worden.

Modelling transformatoren

- Schakeling spoelen: Y, D, Z
- Sterpuntbehandeling, aarding
- Verbetering veiligheidberekening bij toepassing nulpuntstransformatoren en spanningsregelaars
- MS-LS:
 - Dyn, Dzn, Yzn
- LS-regeltransformatoren
 - AXA



Voor de transformatoren worden de bekende wikkelvormen (driehoek, ster en zigzag) volledig gemodelleerd. Hierdoor is het mogelijk de corrigerende werking van sommige transformatoren op asymmetrische stromen beter te berekenen. Zo is een eigenschap van de nulpuntstransformator dat asymmetrische stromen afkomstig van het secundaire circuit (achter de transformator) in het primaire circuit over de fasen verdeeld worden, waardoor de totale asymmetrie voor de voeding verminderd wordt.

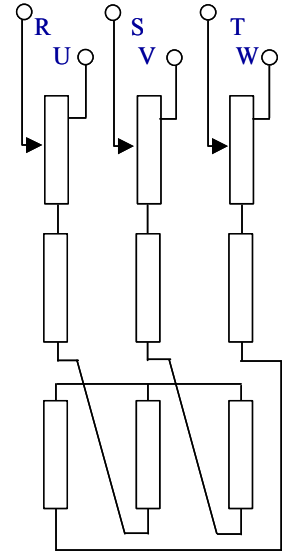
Op de berekening van de aanraakspanning heeft dit een invloed, omdat bij een éénfasekortsluiting de stroom door de smeltveiligheid door zo een transformator sterk gereduceerd wordt. Als gevolg duurt een kortsluiting in werkelijkheid langer dan we zouden verwachten als we dit effect niet zouden meenemen.

De schakelmogelijkheden worden uitgebreid, zodat nu ook per fase geschakeld kan worden.

Alle gegevens van de transformator worden verzameld in een volledig gevulde 10x10 matrix (5 knooppunten primair, 5 knooppunten secundair).

Modellering AXA regeltransformator

- Autotransformator voor verbetering van de spanning: van 310 V ... 430 V naar 400 V
- Zigzag schakeling voor verbetering van de asymmetrie
- Voor gebruik in uitgestrekte laagspanningsnetten



De regeltransformator wordt gebruikt in uitgestrekte netten, waar aan het einde van de richting een lage spanning of een sterke asymmetrie kan optreden. Deze transformator bestaat uit een combinatie van een nulpunttransformator (zigzag-wikkeling) en een autotransformator (regelaar). Het gekozen model is gebaseerd op de in Nederland gebruikte AXA-regeltransformator van fabrikant Axel Akerman uit Denemarken. Deze transformator biedt de mogelijkheid om een ingangsspanning tussen 310 V en 430 V te regelen op een constante waarde van 400 V. Dit wordt gemodelleerd met een discrete trappenschakelaar van -90 tot +30 stappen van 1 V ten opzichte van de nominale waarde van 400 V. De klemmen van de transformator zijn als volgt benoemd:

- primair R, S, T, N en PE;
- secundair: U, V, W, N, PE.

De trappenschakelaar bevindt zich op de primaire zijde. De nul (N) en aardleider (PE) zijn gemeenschappelijk.

Ten opzichte van de gewone transformator bevat deze regeltransformator een extra spoel, want de zigzag wikkeling bestaat uit twee gescheiden wikkelingen, die op een bepaalde manier met elkaar verbonden zijn. Het regelgedeelte bestaat uit een extra wikkeling bovenop een van de in zigzag geschakelde wikkelingen.

Belasting

- Constante stroommodel
 - Binnen 20% van de nominale spanning
- Schakelmogelijkheden:
 - Eenfasig (alleen LS)
 - Fase-fase
 - Driefasig
 - Tussen fasen en sterpunt
 - In driehoek

De belasting is gemodelleerd met een constante stroommodel. Dat wil zeggen dat de afgenomen stroom niet verandert bij een wijziging in de spanning. Dat is een juiste benadering van de werkelijkheid. In het geval echter dat de spanning sterk van de nominale waarde afwijkt, neemt ook de stroomsterkte af. Ook dat is conform de werkelijkheid, omdat veel apparaten bij een onderspanning afschakelen of een kleinere stroom afnemen.

De belasting kan natuurlijk gewoon als driefasige symmetrische belasting worden opgegeven. De uitbreiding bestaat hierin, dat de belasting nu ook per fase afzonderlijk kan worden opgegeven. Normaal is dat dan een belasting tussen fase en nul.

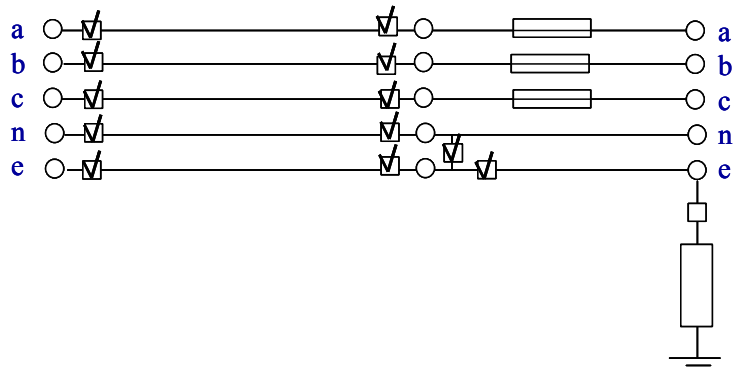
In het geval dat in het knooppunt de nul met de aardgeleider is gekoppeld, kan bij een nulonderbreking de retourstroom van een éénfasebelasting altijd nog via de aardgeleider naar de bron terugvloeien. In het geval dat er geen retourgeleider is, zal de belasting een zwevend sterpunt hebben en kan geen éénfasebelastingstroom vloeien.

Ook tussen de fasen onderling kan een belasting worden aangebracht. De invloed van een specifieke zware fase-fase belasting (zoals een zware lastransformator of een elektrische oven) kan nu ook geanalyseerd worden. Het is uiteraard ook mogelijk om een belasting in driehoek op te geven. De aanwezigheid van de nul of aardgeleider heeft dan geen invloed.

De belasting tussen fasen en nul kan worden gespecificeerd met de nominale belastingstroom per fase. In de Gaia gebruikersinterface kan worden gewisseld tussen invoer in stroom (met $\cos(\phi)$) en vermogen. Ten behoeve van de snelheid bij het invoeren van de gegevens is de belasting standaard symmetrisch, zodat per belasting maar één gegeven hoeft te worden ingevoerd.

Modellering huisaansluiting

- In gebruik vergelijkbaar met voorgaande versie
- Uitgebreide modellering huisaansluiting i.v.m. schakelmogelijkheden



De huisaansluiting is in principe niet gewijzigd ten opzichte van de voorgaande versie. De huisaansluiting is uitgebreid met de schakelmogelijkheid per fase. Het is mogelijk om per fase in en uit te schakelen. Het model representeert de huisaansluitkabel en de aansluitmogelijkheden in de meterkast vóór en na de zekeringen. De huisaansluiting kan ter plekke worden geaard, zodat ook een TT-stelsel kan worden doorgerekend.

In het geval een complete installatie moet worden doorgerekend, is het beter die installatie met Gaia gedetailleerd te modelleren. Hierbij kan de Wizard van hulp zijn.

Asynchrone machines

- Model opgesteld in samenwerking met TU-Delft
- Effecten van asymmetrische spanningstelsels op de werking
- Behandeling stroomasymmetrie als gevolg van spanningsasymmetrie
- Invoer van typegegevens en actueel vermogen

De asynchrone machine is gemodelleerd in samenwerking met de TU Delft. In verband met de nieuwe eisen, die de berekening met de vijfgeleiderloadflow aan het model stelt, is het een complex model geworden. Het gedrag van de machine gaat nu verder dan alleen de berekening van de belastingstroom als functie van de mechanische belasting en de actuele netspanning. Het model is nu in staat om de effecten van asymmetrie in de spanning op het gedrag van de machine te berekenen. Met name de stroomasymmetrie als functie van de spanningsasymmetrie geeft een goed beeld van de gevolgen. Er zijn namelijk voorbeelden dat een asynchrone machine al bij een geringe spanningsasymmetrie kan doorbranden. Het blijkt namelijk het geval te zijn dat een geringe spanningsasymmetrie een veel grotere stroomasymmetrie in de machine tot gevolg kan hebben. Met dit model kan ook dit gesimuleerd worden.

Het model berekent de modelparameters uitgaande van de typegegevens, die in de componentendatabase zijn opgenomen:

- P_{nom} : nominaal asvermogen (kW)
- U_{nom} : nominale gekoppelde spanning (V)
- z_{nom} : nominaal rendement (%)
- $\cos z_{nom}$: nominale arbeidsfactor
- n_{nom} : nominaal toerental
- T_{kipp} : maximaal koppel (% van nominaal koppel)

De gebruiker hoeft alleen de juiste machine uit de database te selecteren en het gewenste mechanisch vermogen op te geven. Voor de gebruiker verandert er dus weinig, maar hij krijgt een veelvoud aan informatie terug.

Berekening (1)

- Startvector
 - Netvoeding levert:
 - Fasen: U_{nom} , $U_{\text{nom}} e^{j24^\circ}$, $U_{\text{nom}} e^{j120^\circ}$ Volt (onbelast)
 - Nul: 0 Volt (onbelast)
 - Spanningsbron achter kortsluitimpedantie (via I_k)
 - Klokgetallen trafo's invloed op argument
 - Dy5: argument -150 graden
 - Dy11: argument $+30$ graden

Voor het uitvoeren van een berekening wordt uitgegaan van een bekende spanning aan de bron, geleverd door de netvoeding. In onbelaste toestand is dat een keurig over 120 graden verdeeld driefasensysteem met een nominale spanning van U_{nom} . De nulleider heeft dan ook een spanning van nul Volt. De kortsluitimpedantie van de netvoeding heeft wel invloed op de spanning in belaste toestand.

Alle spanningen in het netwerk maken dan een hoek ten opzichte van de spanningen van de netvoeding. Na een transformator worden de hoeken van de spanningen aangepast aan de hand van de klokgetallen.

Berekening (2)

- Iteratieve methode met gelineariseerd netwerk
 - Gegeven: nominale belastingstroom
 - Belasting modelleren met constante admittantie
 - Netwerkrelaties bekend: $\underline{I} = [Y] \underline{U}$
 - Oplossen netwerkvergelijkingen
 - Iteratief aanpassen belastingsadmittantie aan actuele spanning en gewenste belastingstroom

Voor het oplossen van het systeem bestaan diverse methoden. De bekende en veel gebruikte Gauss-Seidel methode en de Newton-Raphson methode bleken niet geschikt voor gebruik in de vijfgeleider-loadflow. De eerste methode staat bekend om het langzame iteratieproces (1000 tot 10000 iteraties nodig) en de tweede methode bleek niet geschikt voor de lage spanningen van de nul- en aardgeleiders.

Het elektriciteitsvoorzieningssysteem kan op basis van de wetten van Ohm en Kirchoff beschreven worden met een stelsel lineaire vergelijkingen. Eventuele niet-lineariteiten kunnen na oplossen van het stelsel worden gecorrigeerd, waarna het stelsel opnieuw opgelost wordt. Aldus ontstaat een iteratief proces.

Het systeem wordt beschreven met een matrixvergelijking van de orde N, waarbij N gelijk is aan het aantal elektrische knooppunten (in casu 5 per topologisch knooppunt).

$$\underline{I} = [Y] \underline{U}$$

In deze vergelijking is I de vector van in het netwerk geïnjecteerde stromen. De matrix [Y] is de admittantiematrix van het systeem. De vector U bevat alle knooppuntspanningen. De vector U moet worden opgelost voor een gegeven injectiestroomvector I. Ten behoeve van de berekening wordt de stroomvector zodanig geïnitieerd, dat alleen de drie fasen van de netvoeding een waarde ongelijk aan nul krijgen, corresponderend met de injectiestroom van het Norton equivalent.

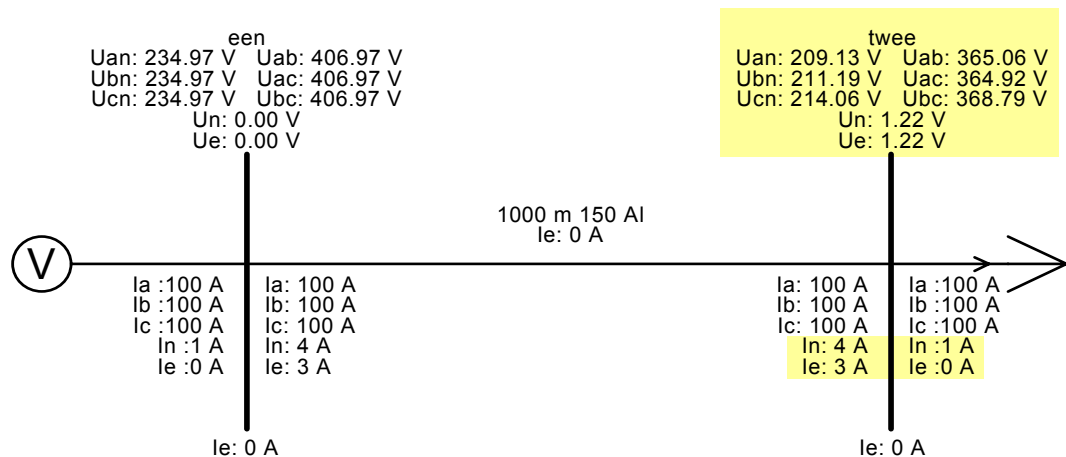
4 TESTEN

Het programma is grondig getest voor een aantal uiteenlopende situaties.

- Allereerst is getest of de impedanties van een niet fasesymmetrische lange kabel inderdaad een asymmetrie in de spanning kunnen veroorzaken.
- Vervolgens is gekeken hoe de retourstroom zich gedraagt bij parallelle kabels.
- De asynchrone machine is getest op gedrag bij asymmetrische spanningen.
- De werking van de nulpuntstransformator op het verbeteren van de asymmetrie is getest.
- Tot slot wordt het programma getest aan de hand van een representatief net.

Testen lange kabel

- Invloed asymmetrie van de laagspanningskabel

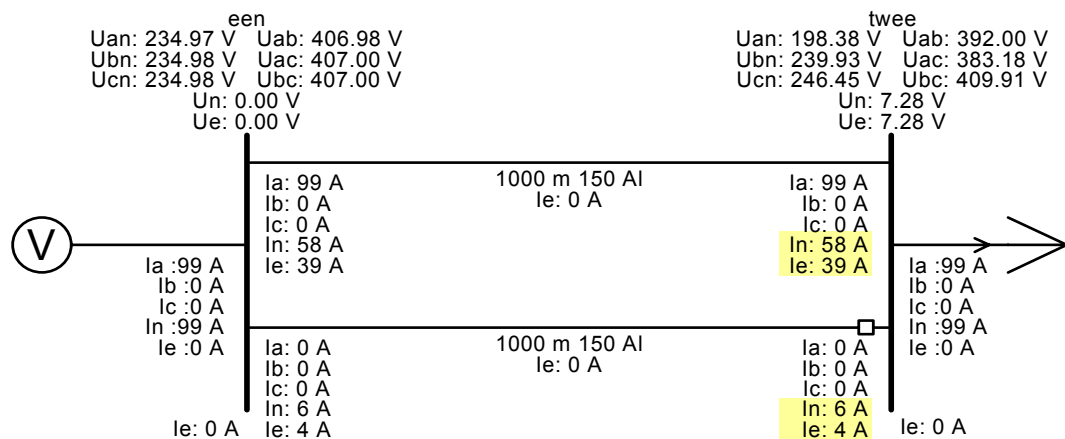


Allereerst is getest of de impedanties van een niet fasesymmetrische lange kabel een asymmetrie in de spanning kunnen veroorzaken.

Het blijkt inderdaad dat de fasenspanningen aan het uiteinde van een symmetrisch zwaar belaste 1 km lange kabel een asymmetrie vertonen. De kabel is een 150 mm² Alkudia kabel. De fasenspanningen ten opzichte van nul verschillen ongeveer 2 to 3 volt met elkaar. Er treedt een nulpuntsverschuiving op van iets meer dan 1 Volt. Als gevolg loopt er een retourstroom van 1 A, verdeeld over +4 en -3 A over de nulleider en de aardgeleider.

Testen retourstroom

- De retourstroom neemt bij voorkeur hetzelfde retourpad als het heengaande pad

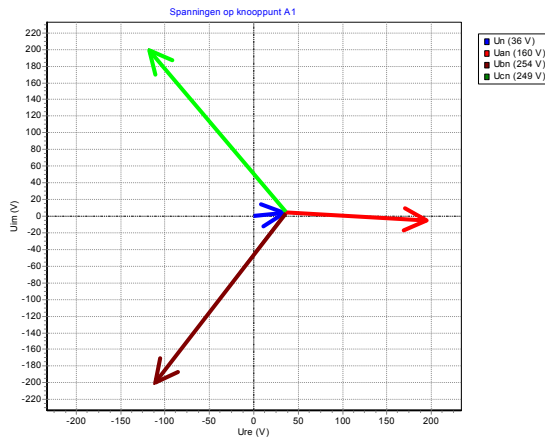


Vervolgens is gekeken hoe de retourstroom zich gedraagt bij parallelle kabels.

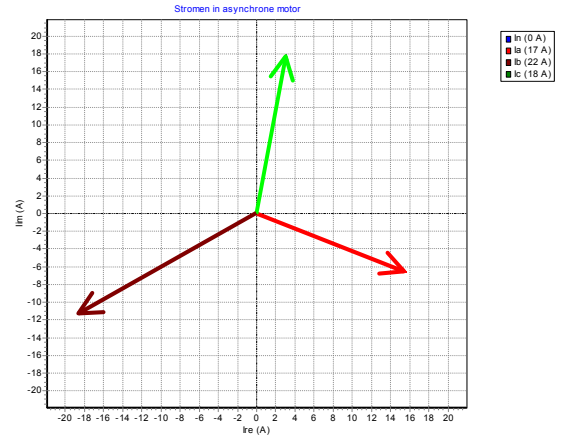
In deze situatie zijn van twee parallelle kabels alle nul- en aardgeleiders aan beide zijden aangesloten. De fasen van één kabel zijn op het rechterknooppunt niet aangesloten. Als gevolg loopt de éénfase belastingstroom door de bovenste kabel.

Uit deze test blijkt dat de retourstroom (via N en PE) voornamelijk ook door de bovenste kabel loopt en zich niet gelijkmatig verdeelt over de twee parallelle nul- en aardgeleiders. Dit is overeenkomstig de werkelijkheid. De oorzaak zit in de inductie van de totale stroomkring.

Testen asynchrone machine (1)



Fasespanningen



Fasestromen

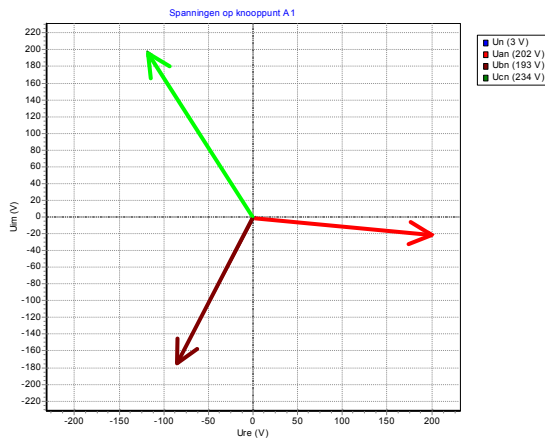
De asynchrone machine is getest op gedrag bij asymmetrische spanningen.

Ten behoeve van de test is een asynchrone motor geplaatst achter een 1 km lange 95 mm² Alkudia kabel. In het symmetrische geval neemt de 10 kW motor bij een spanning van 230 V een stroom van 3x18 A op.

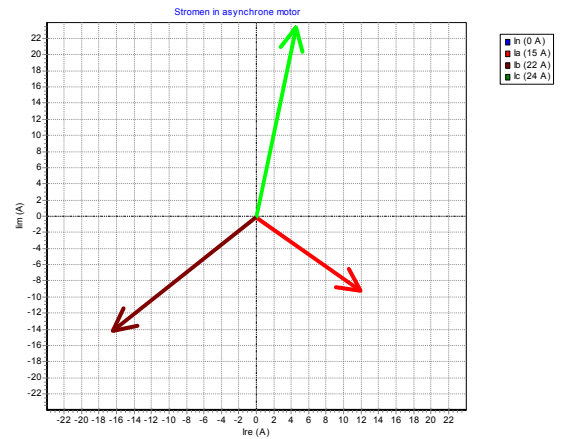
Vervolgens wordt een asymmetrie veroorzaakt door een éénfasebelasting van 100 A parallel aan de motor aan te sluiten. De spanning vertoont een nulpuntsverschuiving en een asymmetrie: 195 V, 231 V en 233 V.

De motor neemt nu ook de stroom sterk asymmetrisch op: 17 A, 22 A en 18 A.

Testen asynchrone machine (2)



Fasespanningen



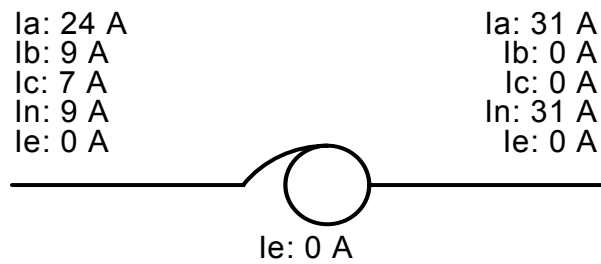
Fasestromen

Bij een fase-fase belasting van 100 A vertoont de motor een nog sterker asymmetrisch gedrag. De fasespanningen op de motorklemmen zijn:
204 V, 195 V en 231 V.

De door de motor opgenomen fasestromen zijn dan:
15 A, 22 A en 24 A.

Testen nulpuntstransformator (1)

- Invloed nulpuntstransformator

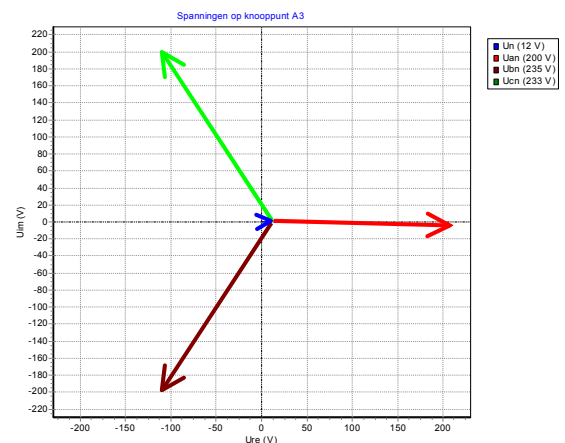
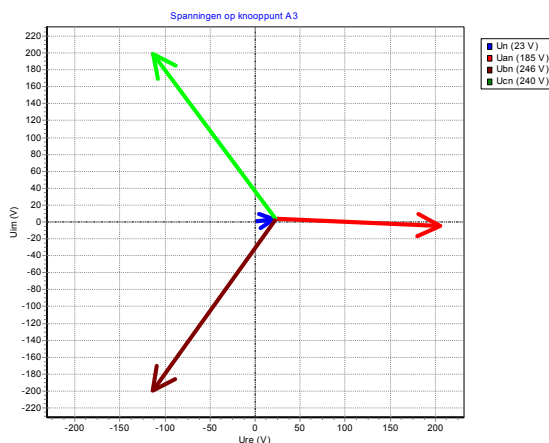


De werking van de nulpuntstransformator op het verbeteren van de asymmetrie is getest.

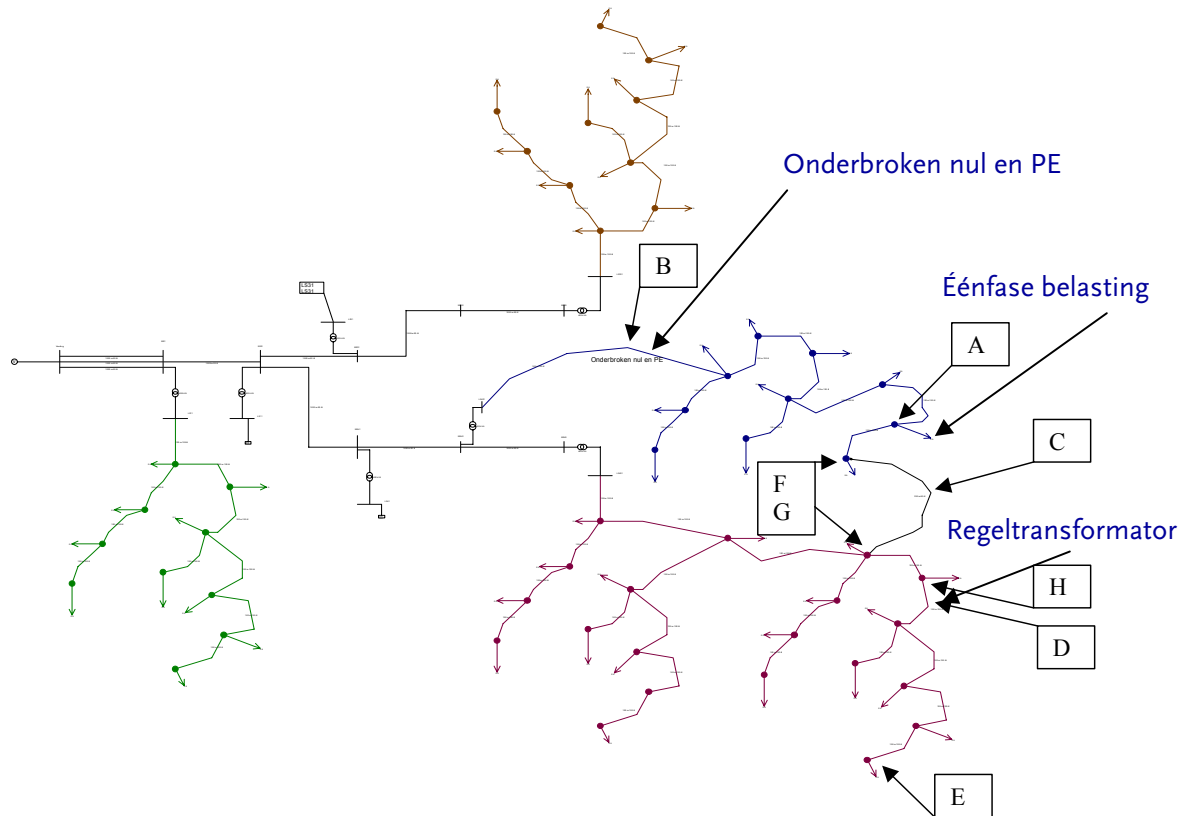
Deze transformator is in staat om een éénfasebelasting (31 A in fase a) te verdelen over alle drie de fasen (24 A, 9 A en 7 A). Het grote voordeel is dat de stroom door de nulleider sterk gereduceerd wordt. In bovenstaand voorbeeld van 31 A naar 9 A. Hierdoor verkleint de nulpuntsverschuiving.

- Invloed op nulpuntsverschuiving lange LS-kabel
- Zonder: 22.8 V

Met: 11.5 V



Testen distributienet



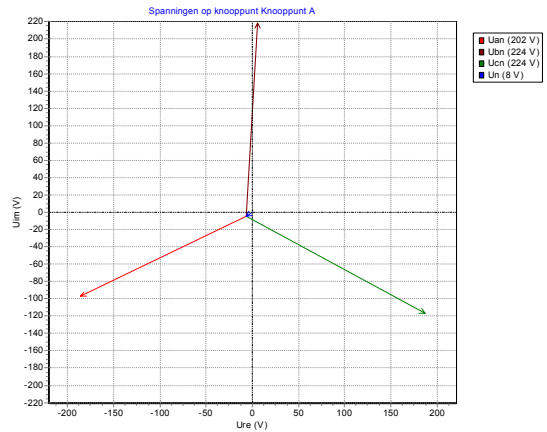
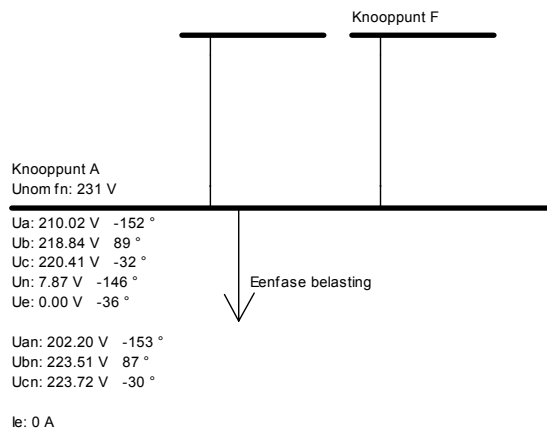
Tot slot wordt het programma getest aan de hand van een representatief net.

Alle kabels zijn 100 m lange stukken van 150 mm² Alkudia. Het net bevat een kabel, waarvan de nul- en aardgeleiders zijn onderbroken.

Voorts bevindt zich een sterke éénfase belasting in het net.

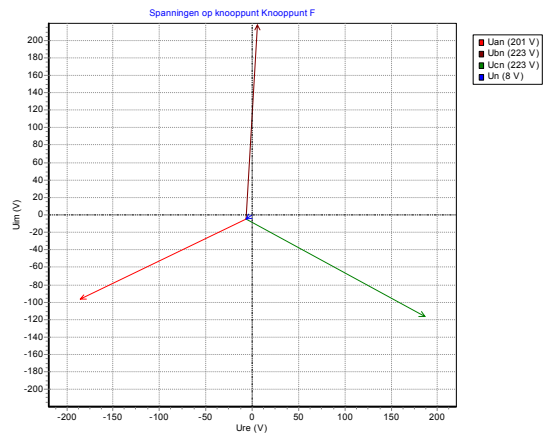
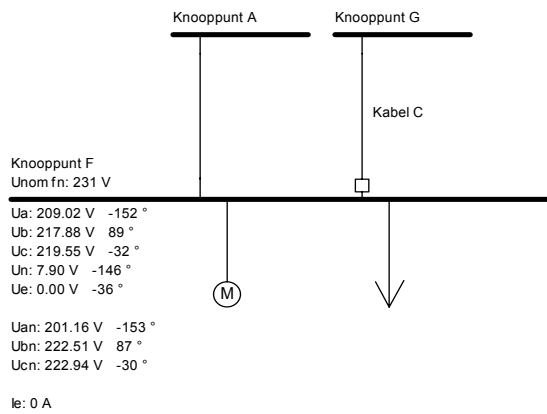
Er is echter wel een mogelijkheid om de nul- en aardgeleiders door te koppelen naar een ander netdeel.

Details *Knooppunt A* (met éénfasebelasting)

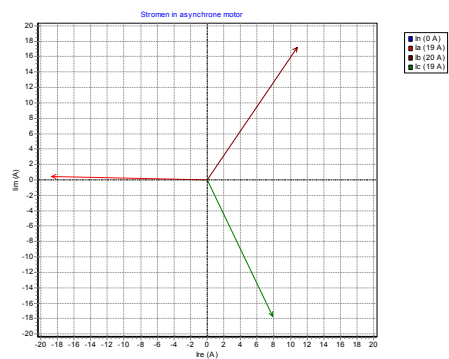
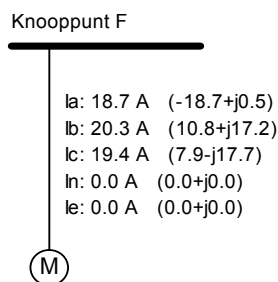


Let op: de eenfase belasting is hier 50 A op fase a.

Details *Knooppunt F* (met asynchrone motor)



Toon details Motor:

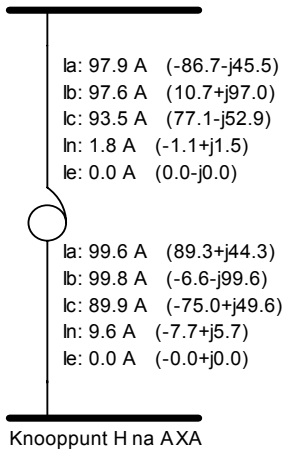


Verskil in fasestromen is maximaal 1,6 A.

Testen: werking regelaar

Details AXA regelaar: *Verbinding D: AXA.*

Knooppunt H voor AXA



Secundair: asymmetrie in stroom is 10 A (vanwege belasting op *Knooppunt E*).

Primair: asymmetrie in stroom is gereduceerd tot 4.5 A en stroom door N tot 1.8 A.

De spanning *Knooppunt E* is te laag: 200 V.

De gekoppelde spanning op *Knooppunt H voor AXA* is 361 V.

De trapstand van de AXA regelaar: *Verbinding D* wordt ingesteld op: -39 (361 V).

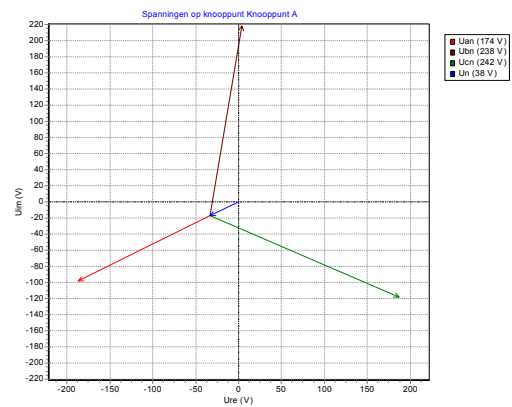
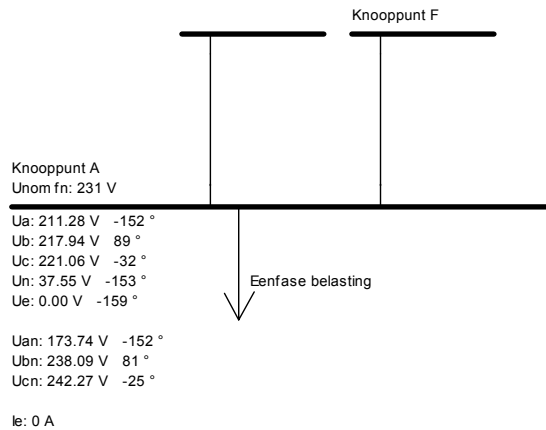
Na uitvoeren van de loadflowberekening is de spanning op *Knooppunt E* hoger geworden: 218 V.

Voor de volgende testen wordt het netdeel met de AXA regelaar losgekoppeld.

Doel: analyse onderbroken nul

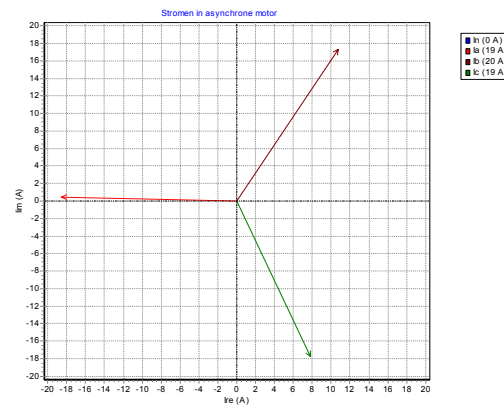
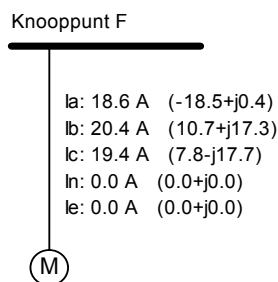
Van *Kabel B* worden de N en de PE aan de zijde van *Knooppunt 422* (rechts) geopend.

Na uitvoeren van de loadflowberekening zijn de spanningen op *Knooppunt A*:



De nulpuntsverschuiving is hier: 37,5 V.

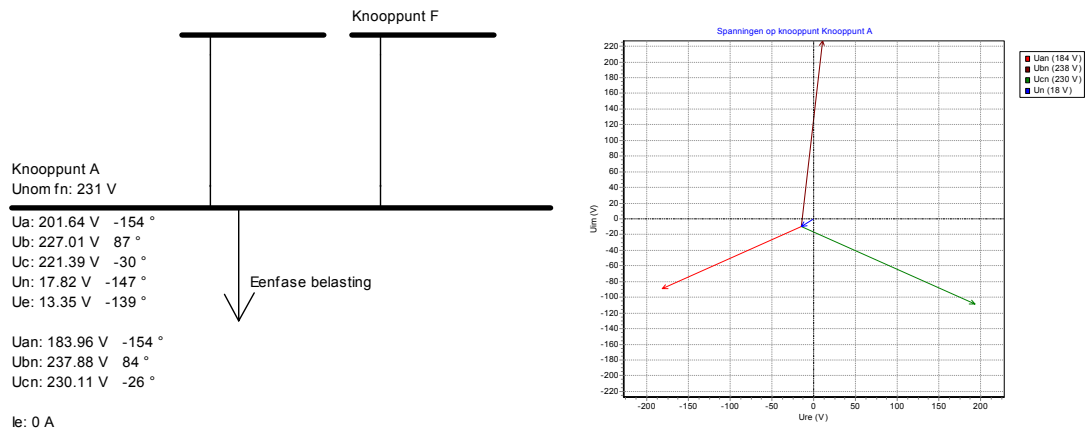
De details van de Motor op *Knooppunt F*:



De asymmetrie van de door de motor opgenomen stromen is ongeveer 2 A

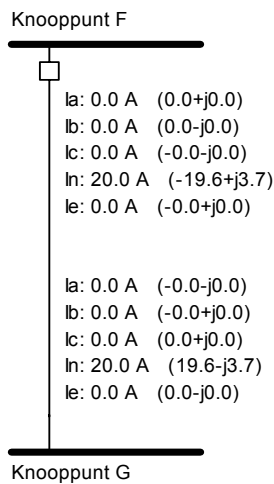
Doel: verbeteren nulpunt voor gevallen van onderbroken nul

Van Kabel C worden de N en de PE aan de zijde van *Knooppunt F* gesloten.
 Na uitvoeren van de loadflow zijn de spanningen op *Knooppunt A* verbeterd.



Let op de nulpuntsverbetering: van 37.5 V naar 17.8 V

De stromen in de *Kabel C* zijn verantwoordelijk van deze vereffening.



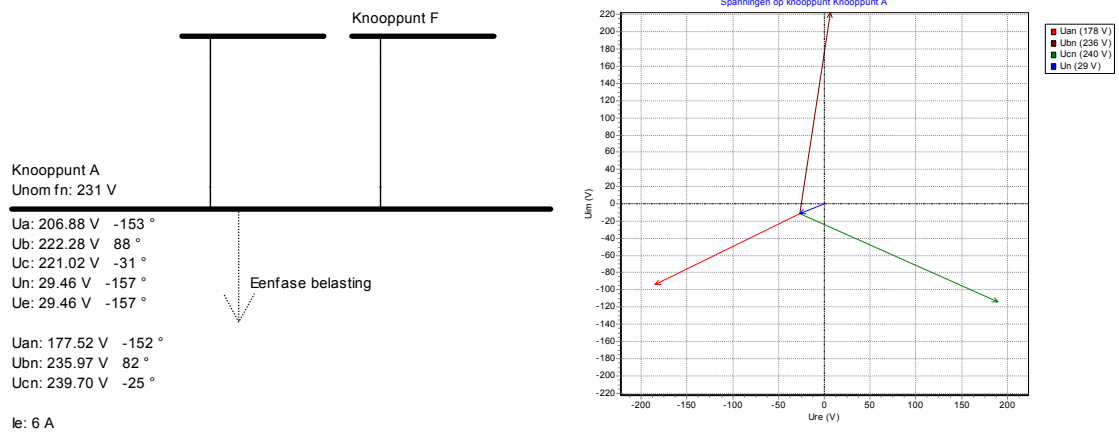
De nulpuntsverbetering in knooppunt F wordt veroorzaakt door de stroom door N van het andere netdeel. In dat andere netdeel is dan wel een verslechtering. De nulpuntspanning op *Knooppunt G* is dan 12.2 V geworden.

Invloed Aardelektrode:

Het is ook mogelijk de nulpuntspanning te verbeteren door middel van een aardelektrode in *Knooppunt F*.

Dit wordt bereikt door in *Knooppunt A* de schakelaars N-PE en PE-Ra te sluiten en een aardverspreidingsweerstand aan te brengen van $R_a=5\ \text{Ohm}$.

Na uitvoeren van de loadflowberekening zijn de spanningen op *Knooppunt A*:



De nulpuntverbetering is nu: van 37.5 V (oorspronkelijk) naar 19.5 V

De aardstroom is gelijk aan: 6 A

Resultaat vijfgeleiderloadflow

- Niet moeilijker dan het al was
- Input belasting vraagt soms meer gegevens
- Transformatortype: Dy, Dz
- Regeltransformator: Zspaar

De invoer door de gebruiker bestaat uit de naamplaatgegevens, zoals gebruikelijk in Gaia. Veel input is afkomstig van type-beschrijvingen, zodat de gebruiker zo min mogelijk geconfronteerd wordt met technische details. In Gaia zijn veel technische gegevens voor de gebruiker afgeschermd. De voor de berekening benodigde technische gegevens haalt het programma uit een type-database, die op concern-niveau door het elektriciteitsbedrijf onderhouden wordt. Alle naamplaatgegevens worden eerst omgerekend naar de voor de loadflow benodigde gegevens. Hierdoor lijkt het voor de gebruiker alsof er ten aanzien van de invoer maar weinig veranderd is in de nieuwe versie van Gaia.

De belastingen kunnen asymmetrisch worden gespecificeerd. Belastingen kunnen tussen elke fase en nul en tussen fasen onderling worden aangebracht. Ook kunnen de fasen en de nul- en aardgeleiders afzonderlijk worden geschakeld.

Van de transformatoren zijn de gangbare typen met D-, y- en z-wikkeling gemodelleerd. Het gebruik van deze modellen is vergelijkbaar aan de voorgaande versie van Gaia. Daarnaast is een in uitgestrekte netten toegepaste Z-spaar regeltransformator gemodelleerd.

Conclusie vijfgeleiderloadflow

- Gaia is met de vijfgeleiderloadflow een krachtig en flexibel gereedschap voor nieuwe toepassingen:
 - Analyse asymmetrische belastingen
 - Analyse nulonderbreking
 - Berekening openbare verlichting
 - Invloed asymmetrie op asynchrone machines
 - Onderzoek toepassing lastransformatoren
 - Invloed nulpuntstransformatoren en transformatoren met zigzag-wikkelingen op asymmetrie en aanraakveiligheid

De vijfgeleiderloadflow is een gereedschap voor volledige asymmetrische analyse

- van een distributienet
- van een laagspanningsinstallatie

Als eerste evidente toepassing is het nu mogelijk om de invloed van asymmetrische belastingen op de spanningen en stromen te berekenen. Ook de dip bij het inschakelen van een asymmetrische belasting kan zo beter worden geschat.

De invloed van een nulonderbreking op het gedrag van het systeem kan gedetailleerd worden onderzocht, want bij onvoldoende maatregelen kan de nul een ontoelaatbaar hoge spanning krijgen.

De openbare verlichting kan in detail gemodelleerd en bestudeerd worden.

De invloed van de spanningsasymmetrie op de veiligheid voor asynchrone machines kan onderzocht worden.

Het gedrag van zware tweefasenbelastingen, zoals lastransformatoren en elektrische ovens, kan worden bestudeerd.

De invloed van de corrigerende werking van speciale transformatoren op asymmetrische stromen wordt nu beter gemodelleerd, hetgeen onder andere de aanraakveiligheidsberekening ten goede komt.

Gaia is met deze nieuwe krachtige functionaliteit een zeer flexibel gereedschap, zonder dat het programma voor de gebruiker moeilijker geworden is.