

Speciale transformatoren

06-055 pmo

5 april 2006

1 INLEIDING

Speciale transformatoren zijn componenten die een andere modellering vereisen dan normale tweewikkel en driewikkeltransformatoren. Er bestaat namelijk een grote verscheidenheid aan regeltransformatoren, zowel wat spanningsniveaus betreft als de opbouw. Onder speciale transformatoren verstaan we onder andere de:

- Spaartransformatoren
- Spaarboostertransformatoren
- Spaartransformatoren met ingebouwde nulpuntstransformator
- Laagspanningsregelaars met continue regeling
- Laagspanningsregelaars met roterende regeling.

In Vision en Gaia is een aantal van deze transformatoren geprogrammeerd. Zij hebben gemeen dat sommige parameters zoals de kortsluitspanning en het kortsluitvermogen sterk van de trapstand afhankelijk kunnen zijn.

Dit document beschrijft enkele bijzonderheden ten aanzien van de modellering en de toepassing in Vision en Gaia.

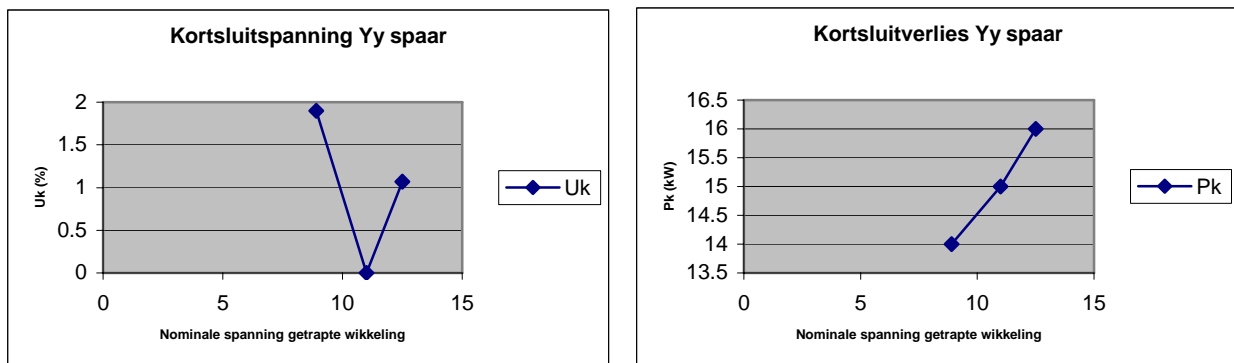
2 MODELLERING TRANSFORMATOREN

De regeltransformatoren kunnen worden uitgevoerd als gewone spaartransformator met of zonder sterpuntsaarding en met of zonder driehoekswikkeling ter vereffening van de homopolaire stromen. Maar ook kunnen zij worden uitgevoerd met een andere schakeling ter vereffening van de homopolaire stromen of verbetering van het asymmetrische gedrag. Ook komen combinatievormen van een spaartransformator met een serietransformator voor.

2.1 De Yy spaar regeltransformator

De Yy spaar regeltransformator is een spaartransformator in zijn eenvoudigste vorm. Er is één wikkeling per fase met een aantal aftakkingen, aangesloten op een trappenschakelaar. De drie wikkelingen zijn in ster geschakeld en het sterpunt is niet stroomvoerend uitgevoerd.

De kortsluitspanning is klein en kan in theorie nul worden in de "nominale" stand (overzetverhouding 1:1). Onderstaande figuren geven kortsluitspanning en kortsluitverlies weer voor een 13 MVA 13 kV regeltransformator.



Figuur 1 Kortsluitverlies en kortsluitspanning Yy spaartransformator

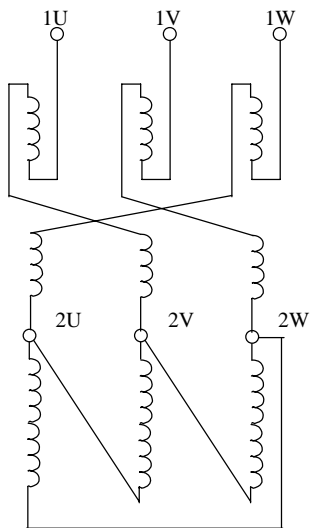
Het nullastverlies is ook afhankelijk van de trapstand, maar deze afhankelijkheid is niet gemodelleerd omdat de bijdrage tot het resultaat niet groot is. De gemiddelde waarde moet worden ingevoerd.

De homopolaire impedantie is niet afhankelijk van de trapstand en is vergelijkbaar met de homopolaire impedantie van een verbinding. De Z_0 (en R_0) is gemodelleerd als langsimpedantie.

2.2 De Y(spaar)d11 transformator

De Y(spaar)d11 transformator is een regelbare spaartransformator, die twee netgedeelten van ongeveer gelijk spanningsniveau met elkaar verbindt. Als voorbeeld is een transformator uitgewerkt van 26,25 naar 21 kV. De transformator bevat één kern, met daarop een zigzag wikkeling en een driehoekswikkeling.

In het normale gebruik is de spaartransformator aangesloten op de klemmen 1U, 1V en 1W aan de ene zijde van de zigzag wikkeling en op de klemmen 2U, 2V en 2W aan de andere zijde van de zigzag wikkeling en aan de driehoekswikkeling. Er is geen uitgevoerd sterpunt.



Figuur 2 Schakelschema Y(spaar)d11 transformator

De transformator heeft een vaste overzetverhouding met een hoekverdraaiing van 30 graden. Het verstellen van de transformator heeft in principe invloed op de hoekverdraaiing, maar dat is in dit model verwaarloosd. De invloed van de trapstand op kortsluitspanning en kortsluitvermogen kan worden meegenomen.

De homopolaire impedantie is niet afhankelijk van de trapstand en is vergelijkbaar met de homopolaire impedantie van een verbinding. De Z_0 (en R_0) is gemodelleerd als langsimpedantie.

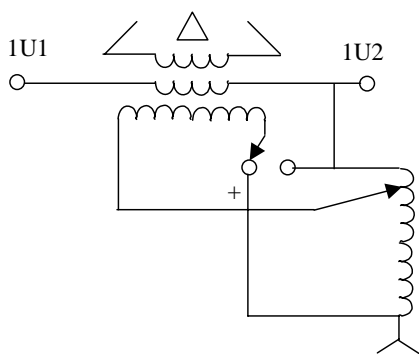
2.3 De spaarboostertransformator

De booster transformator van Smit is een Yao(d) spaartransformator met een serietransformator, voorzien van een driehoekswikkeling, waarvan één hoekpunt op twee klemmen naar buiten is uitgevoerd en op de deksel doorverbonden en geaard. Het sterpunt van de spaartransformator is alleen uitgevoerd ten behoeve van de metingen.

De regeltransformator heeft twee kernen:

- Een kern voor een driewikkelingstransformator (primair: serietransformator; secundair: "regelwikkeling"; tertiair: wikkeling in driehoek geschakeld).
- Een kern voor een regelbare spaartransformator, die de secundaire wikkeling van de serietransformator voedt. Het sterpunt is niet geaard.

In het normale gebruik is de spaartransformator aangesloten op de constante spanningszijde ($1U_2-1V_2-1W_2$). Bij de kortsluitmetingen wordt de variabele spanningszijde ($1U_1-1V_1-1W_1$) kortgesloten. De regelaar wordt aangestuurd door de regelschakelaar en de ompoolschakelaar. De bekrachtigende wikkeling van de serietransformator krijgt een spanning, in te stellen van de volledige nominale spanning (op $1U_2$) tot nul. In de getekende stand (+) wordt de spanning op klem $1U_1$ omhoog getransformeerd. In de alternatieve stand (-) kan de spanning omlaag worden getransformeerd.



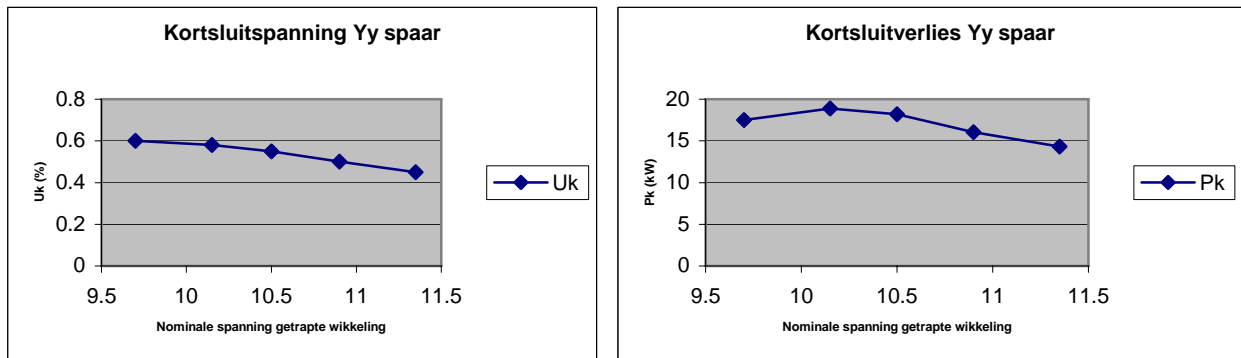
Figuur 3 Schakelschema spaarboostertransformator

In het normale systeem is er niets aan de hand en wordt de boostertransformator behandeld als een gewone transformator Y_{yo} . De overzetverhouding is volgens de instelling van de trapschakelaar.

Uitgangspunten:

- De boostertransformator mag alleen worden aangesloten tussen knooppunten van gelijke basisspanning.
- Het nullastverlies is afhankelijk van de trapstand. Aangezien de grootte van het nullastverlies in verhouding tot het nominale vermogen klein is (0.01%), verwaarlozen wij de afhankelijkheid.
- Het kortsluitverlies is afhankelijk van de trapstand.
- De kortsluitspanning is in geringe mate afhankelijk van de trapstand (plus of min 14 %). De waarde is klein (kleiner dan 1 %).
- De homopolaire impedantie is zeer klein en onafhankelijk van de trapstand.

Onderstaande figuren geven kortsluitspanning en kortsluitverlies weer voor een 23 MVA 10,6 kV regeltransformator.



Figuur 4 Kortsluitverlies en kortsluitspanning spaarboostertransformator

De homopolaire impedantie wordt voornamelijk bepaald door de reactantie van de wikkelingscombinatie seriewikkeling/tertiaire (driehoek) wikkeling. De homopolaire impedantie is in principe onafhankelijk van de regelstand omdat het sterpunt (zwevend) tijdens bedrijf geen stroom kan voeren. De homopolaire is vergelijkbaar met de homopolaire impedantie van een verbinding. De Zo (en Ro) is gemodelleerd als langsimpedantie.

2.4 De laagspanningsregelaar met ingebouwde nulpunttransformator en continue regeling

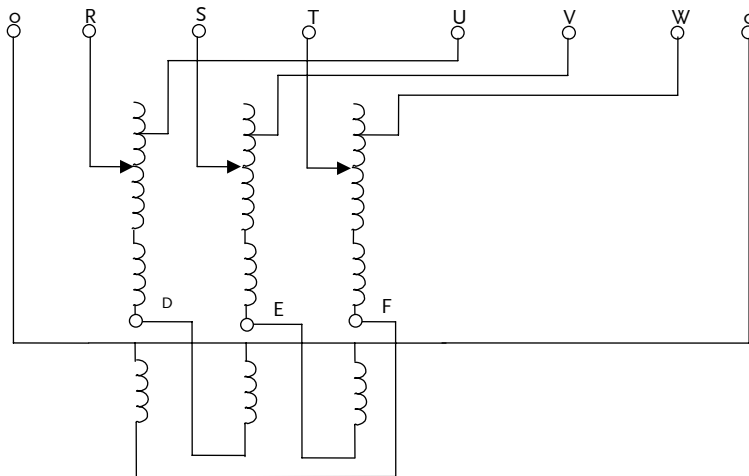
Deze regelaar is een Z-spaartransformator, die traploos regelbaar is en die twee netgedeelten van gelijk spanningsniveau met elkaar verbindt. De transformator bevat één kern, met daarop een zigzag wikkeling. In feite combineert de regelaar een spaartransformator en een nulpunttransformator in één. De transformator wordt toegepast in laagspanningsnetten.

In het normale gebruik is de spaartransformator aangesloten op de klemmen U, V en W aan de geregelde zijde en op de klemmen R, S en T aan de voedende zijde. Er is een uitgevoerd sterpunt.

De transformator is voorzien van een traploze regelaar. Er is een hysteresis (tolerantie), regelbaar tot 2%, ingebouwd om slijtage door nerveus regelgedrag te voorkomen. Een traploze regelaar is niet eenvoudig te integreren in Vision. Om deze redenen wordt de regelaar gemodelleerd met een zo groot mogelijk aantal discrete trapstanden. Voor de geregelde spanning geldt:

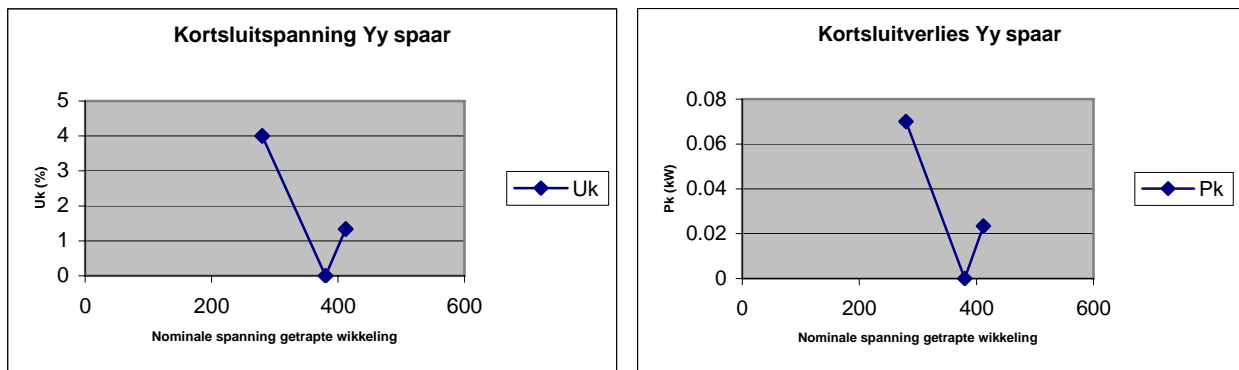
- $U_{min} = U_{ref} - \text{tolerantie}/2$
- $U_{max} = U_{ref} + \text{tolerantie}/2$

Voorbeeld: een transformator met een nominale spanning van 380 V heeft een bereik van 280 V tot 412 V. Dat komt overeen met een regelbereik van -100 V tot +32 V. Voor de speciale transformatoren is het mogelijk een bereik van een trappenschakelaar op te geven van -99 tot +99. Een trappenschakelaar met een trapgrootte van 1 V levert in Vision dan een regelbereik op van -99 tot +32 V. Indien een groter bereik gewenst wordt, moet de trapgrootte groter genomen worden. De bandbreedte van de geregelde spanning mag in ieder geval niet kleiner zijn dan de trapgrootte.



Figuur 5 Schakelschema laagspanningsregelaar met ingebouwde nulpunttransformator

De kortsluitspanning en het kortsluitverlies zijn sterk afhankelijk van de stand van de trappenschakelaar. Praktisch probleem is dat deze transformatoren niet zo nauwkeurig gemeten worden als MS- en HS-transformatoren en dus meestal de juiste gegevens ontbreken. Onderstaande figuren geven ter illustratie een theoretisch verloop van kortsluitspanning en kortsluitverlies, waarbij aangenomen dat de kortsluitspanning 4% is. Het kortsluitverlies stellen we op een maximale waarde van één promille van het nominale vermogen (70 kVA levert 70 W maximaal kortsluitverlies).



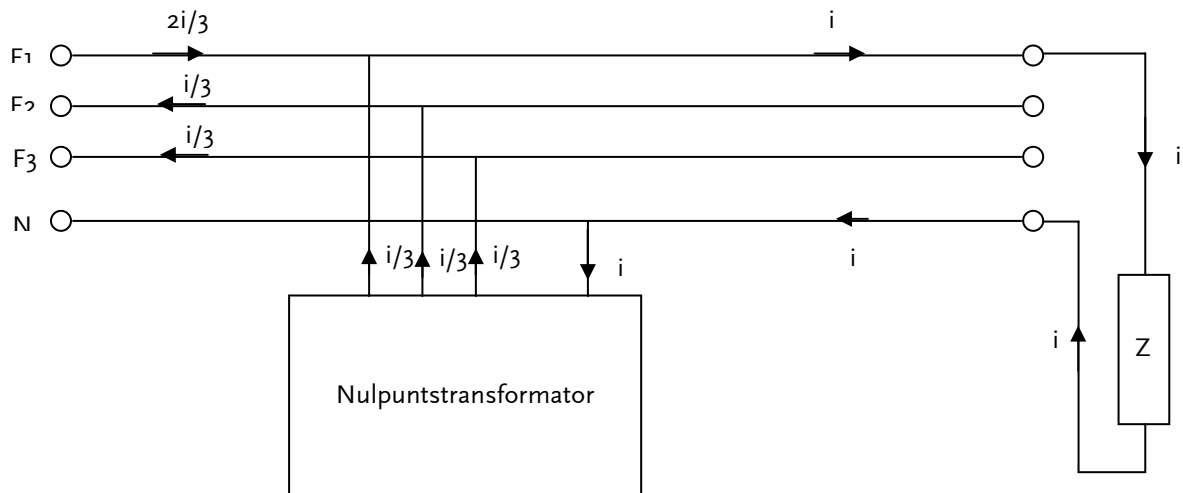
Figuur 6 Theoretisch kortsluitverlies en kortsluitspanning regelaar met ingebouwde nulpunttransformator

De overzetverhouding introduceert een fasedraaiing, die afhankelijk is van de trapstand. Hiermee is rekening gehouden in de modellering. Deze transformator mag dus niet zonder meer in een vermaasd netwerk worden opgenomen.

De homopolaire impedantie is niet afhankelijk van de trapstand en is vergelijkbaar met de homopolaire impedantie van een verbinding. De homopolaire langsimpedantie is in het model gelijk genomen aan de normale langsimpedantie. De waarden voor Z_0 en R_0 zijn gemodelleerd als dwarsimpedantie van de nulpunts-transformator.

Gedrag bij een éénfase kortsluitstroom in Gaia

De ingebouwde nulpunttransformator heeft als taak de eventuele asymmetrie te verminderen. Dat heeft ook gevolgen voor een eventuele éénfase kortsluitstroom. Onderstaande afbeelding geeft de verdeling van de stromen als gevolg van de toepassing van de nulpunttransformator.



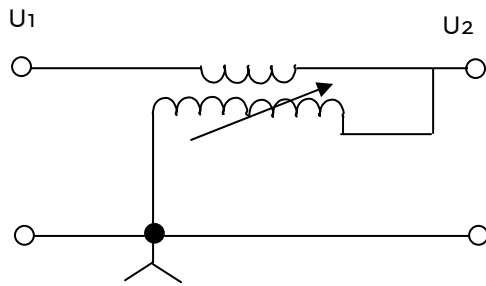
Figuur 7 Gedrag éénfase belasting in combinatie met nulpunttransformator

Een éénfasige stroom achter de nulpunttransformator verdeelt zich in het circuit vóór de nulpunttransformator over de drie fasen in de verhouding $2/3$, $-1/3$ en $-1/3$. Het éénfasig kortsluitvermogen wordt door toepassing van een nulpunttransformator dus aanzienlijk verhoogd.

Dit heeft gevolgen voor de veiligheidsberekening in Gaia. Het in Gaia toegepaste model kent geen symmetrische componenten en kan niet toegepast worden in driefasig asymmetrische systemen. De werking van de module voor het berekenen van de asymmetrie is gebaseerd op het gedrag van een éénfase systeem. Een systeem waar de drie fasen elkaar beïnvloeden is in Gaia zonder de componentenmethode of zonder de vijfgeleiderloadflow niet goed te berekenen. Het gedrag van de éénfase kortsluitstromen, zoals in figuur 7 geschetst, wordt dan ook met Gaia niet zo berekend. In werkelijkheid is altijd een smeltveiligheid achter de regeltransformator is opgenomen. Voor het uitvoeren van een veiligheidsberekening is het absoluut noodzakelijk die smeltveiligheid in het secundaire circuit, achter de nulpunttransformator, ook op te nemen. Zo niet, berekent Gaia een relatief snelle afschakeling door de zekering bij de voeding, terwijl dat niet conform de werkelijkheid is.

2.5 De laagspanningsregelaar met roterende regeling

De regelaar met roterende regeling is een serietransformator, die traploos regelbaar is en die twee netgedeelten van gelijk spanningsniveau met elkaar verbindt. De werking van de transformator komt overeen met de inductie-regelaar. Aan de doorgaande wikkeling wordt een spanning toegevoegd die afhankelijk is van de stand van een draaibare wikkeling. In feite is de regelaar te vergelijken met de spaar-booster transformator: een spaartransformator en een nulpunttransformator in één. Alleen de wijze waarop de spanning aan de doorgaande wikkeling wordt toegevoerd, verschilt. Er is waarschijnlijk ook geen driehoekswikkeling aangebracht, want de regeltransformator is maar beperkt asymmetrisch belastbaar.



Figuur 8 Principeschema regelaar met roterende regeling

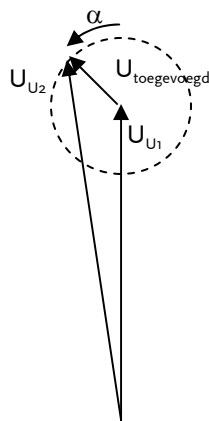
In het normale gebruik is de spaartransformator aangesloten op de klemmen U₁ (en V₁ en W₁) aan de geregelde zijde en op de klemmen U₂ (en V₂ en W₂) aan de voedende zijde. Er is een uitgevoerd sterpunt, maar dat wordt niet gebruikt voor de transformatie. Het sterpunt wordt gebruikt voor opwekking van het regelveld (en voor besturing van de regeling).

De transformator is voorzien van een traploze regelaar. Er is een hysteresis (tolerantie) van 2%, ingebouwd om slijtage door nerveus regelgedrag te voorkomen. Een traploze regelaar is niet eenvoudig te integreren in Vision. Om deze redenen wordt de regelaar gemodelleerd met een maximum aantal discrete trapstanden. Voor de geregelde spanning geldt:

- $U_{min} = U_{ref} - \text{tolerantie}/2$
- $U_{max} = U_{ref} + \text{tolerantie}/2$

Voorbeeld: een transformator met een nominale spanning van 380 V heeft een bereik van 304 V (-20%) tot 418 V (+10%). Dat komt overeen met een regelbereik van -72 V tot +38 V. Een trappenschakelaar met een trapgrootte van 1 V levert in Vision een regelbereik op van -72 tot +38 V. Indien een groter bereik gewenst wordt dan van -99 tot +99, moet de trapgrootte groter genomen worden. De bandbreedte van de geregelde spanning mag in ieder geval niet kleiner zijn dan de trapgrootte.

De regelaar komt in principe overeen met de inductieregelaar, een transformator waarvan de onderlinge stand van de wikkelingen kan worden gewijzigd teneinde de grootte en de fasehoek van de secundaire spanning te regelen. Toegevoegde spanning en ingangsspanning geven vectorieel opgeteld de uitgangsspanning. Zie onderstaande figuur. Deze manier van regelen introduceert een fasedraaiing in de overzetverhouding, die het grootst is in de nominale stand.



Figuur 9 Eenfase vectordiagram van de Relo-regelaar

De homopolaire impedantie is niet afhankelijk van de trapstand en is vergelijkbaar met de homopolaire impedantie van een verbinding. De Z_0 (en R_0) is gemodelleerd als langsimpedantie.