

PHASE TO PHASE

De werking van de nulpuntstransformator

05-005 pmo

17 januari 2005

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.

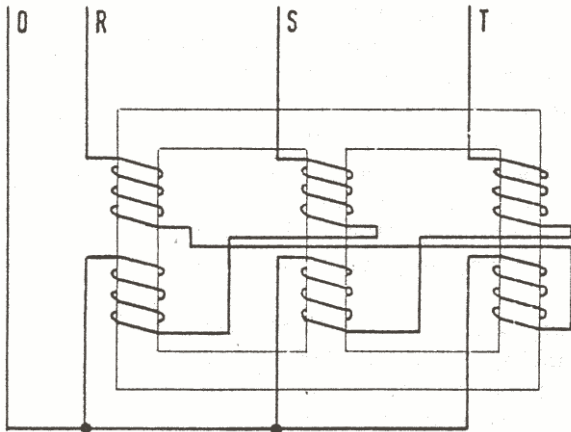
Phase to Phase BV is niet aansprakelijk voor enige directe, indirecte, bijkomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken.

INHOUD

1	Inleiding	4
2	De verschuiving van het sterpunt bij ongelijke fasebelasting	5
3	Invloed van de nulpunttransformator op de sterpuntverschuiving	5
4	Gedrag bij een éénfasekortsluiting.....	6
5	Controle met Gaia.....	6
6	Controle met Vision.....	7
7	Conclusie.....	8

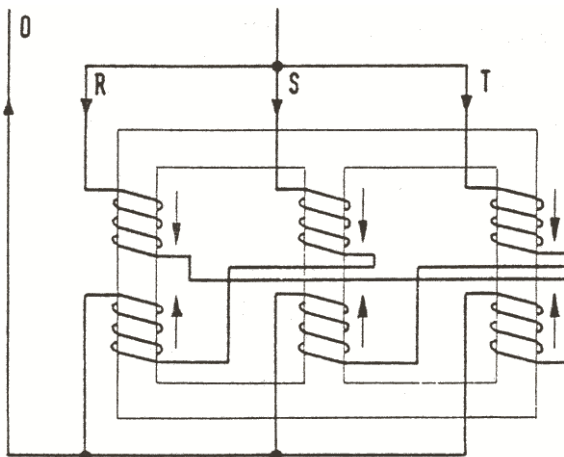
1 INLEIDING

De nulpuntransformator bestaat uit een zigzag gewikkeld stelsel windingen op een driebeinig juk. Indien de transformator op een normaal symmetrisch driefasensysteem is aangesloten, is de impedantie zeer hoog. Er vloeit dan alleen de magnetiseringsstroom. De spanning op het sterpunt van de nulpuntransformator kan afwijken van de spanning op het nulpunt van de distributietransformator.



Figuur 1 Constructie van de nulpuntransformator

Indien de transformator op een homopolair driefasensysteem is aangesloten, is de impedantie zeer klein. Dat wordt aangetoond met onderstaande afbeelding. In de figuur zijn de drie fasen met elkaar verbonden en aangesloten op een wisselspanningsbron. De pijlen langs de wikkelingen geven de veldrichting aan. Het blijkt dat in elke poot van het juk de magnetische velden elkaar opheffen. Aangezien de koperweerstand van de spoelen klein is, kan gesproken worden van een kortsluitsituatie. Voor gelijke stromen met dezelfde richting heeft de nulpuntransformator dus een verwaarloosbare impedantie. In elke fase vloeit 1/3 van de totale (homopolaire) stroom.



Figuur 2 Homopolaire belasting van een nulpuntransformator

2 DE VERSCHUIVING VAN HET STERPUNT BIJ ONGELIJKE FASEBELASTING

Bij een ongelijke fasebelasting in een driefasensysteem treedt verschuiving van het sterpunt op. Door een belasting tussen fase A en de nul loopt een belastingstroom I_{last} . Hierdoor ontstaat een verschuiving van het sterpunt gelijk aan $I_{last} \times Z_{nul}$ (met Z_{nul} gelijk aan de impedantie van de nulleider). In fase A ontstaat een spanningsdaling gelijk aan $I_{last} \times Z_A$ (met Z_A gelijk aan de impedantie van de fasegeleider).

Indien de impedantie van de fasegeleider gelijk is aan de impedantie van de nulleider ($Z_A = Z_{nul} = Z$), is de beschikbare spanning op de éénfase belasting verlaagd met:

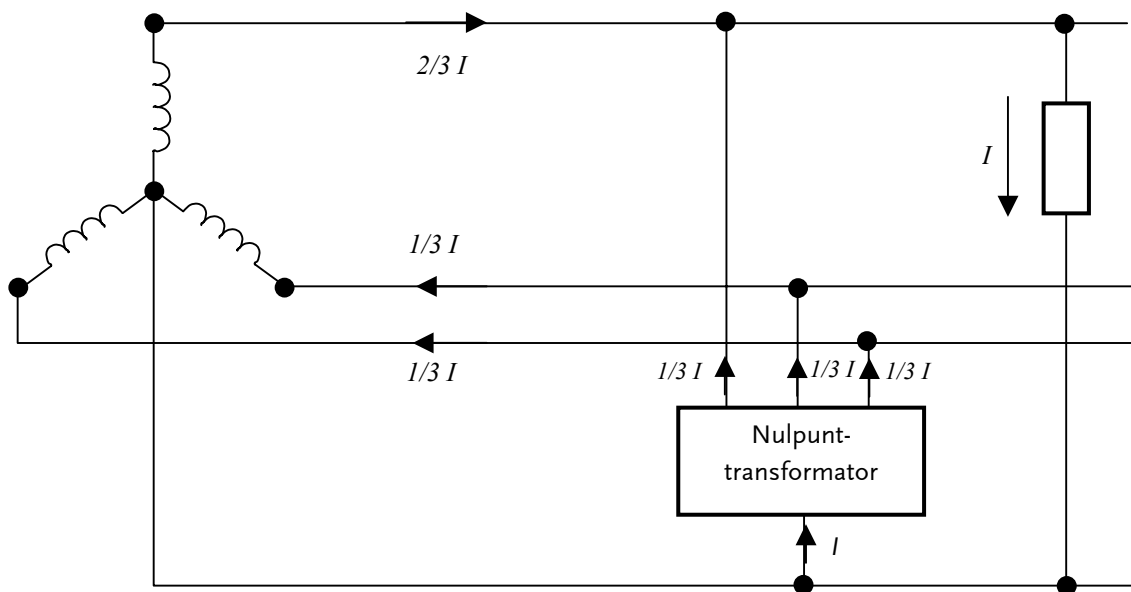
$$2 I_{last} Z$$

Door de nulpuntverschuiving zullen de andere fasespanningen ten opzichte van de nul toenemen. De spanning op de andere twee fasen wordt dan bij benadering (goniometrische afleiding) verhoogd met:

$$0.5 I_{last} Z$$

3 INVLOED VAN DE NULPUNTTRANSFORMATOR OP DE STERPUNTVERSCHUIVING

De door de éénfasige belasting veroorzaakte stroom I zal, indien de nulpunttransformator ter plaatse van de belasting wordt aangesloten, zich via de nulpunttransformator over de drie fasen verdelen zoals in onderstaand schema is aangegeven voor een *ideale* transformator.



Figuur 3 Invloed van de ideale nulpunttransformator op een asymmetrische belasting

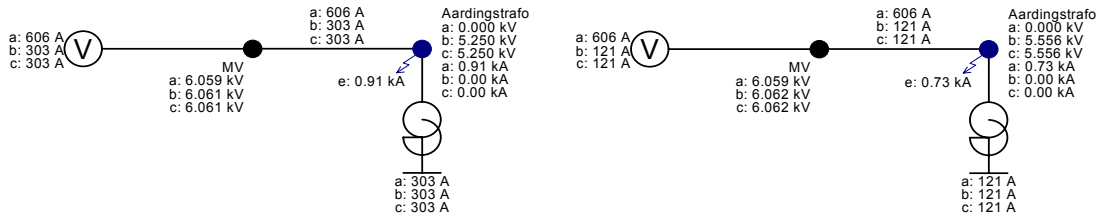
De belastingstroom gaat volgens bovenstaand schema niet meer door de nulleider naar de bron terug, maar door de nul van de nulpunttransformator. Dit is voor de nulpunttransformator een homopolaire stroom, die zich evenredig verdeelt over de drie fasen van deze transformator. Hierdoor worden de stromen in de fasen A, B en C respectievelijk:

$$I_A = 2/3 I (= I - 1/3 I)$$

$$I_B = 1/3 I$$

$$I_C = 1/3 I$$

Door toepassing van deze transformator treedt er in dit ideale geval geen spanningsverschuiving van het nulpunt meer op. De spanningsdaling in de belaste fase wordt verbeterd van $I_{last} Z$ naar $2/3 I_{last} Z$. De spanningsdaling over de belasting wordt verbeterd van $2 I_{last} Z$ naar $2/3 I_{last} Z$. Er treedt nu echter ook een spanningsdaling op in de andere twee (onbelaste) fasen. In die fasen loopt nu een stroom van $1/3 I_{last}$ maar met een fasehoek gelijk aan die in fase A. Hierdoor is het spanningsverlies kleiner dan $1/3 I_{last} Z$. Met een goniometrische afleiding kan deze spanningsdaling benaderd worden op de helft: $1/6 I_{last} Z$. Bovenstaand voorbeeld geeft het gedrag aan voor een ideale nulpuntstransformator. Een werkelijke transformator heeft een homopolaire impedantie, die de werking afzwakt. Vergelijk onderstaande resultaten uit een Vision berekening van een fase-nul kortsluiting met storing sequentieel, voor een netvoeding van 1000 kA en een transformator met $X0=0$ Ohm en $X0=10$ Ohm.



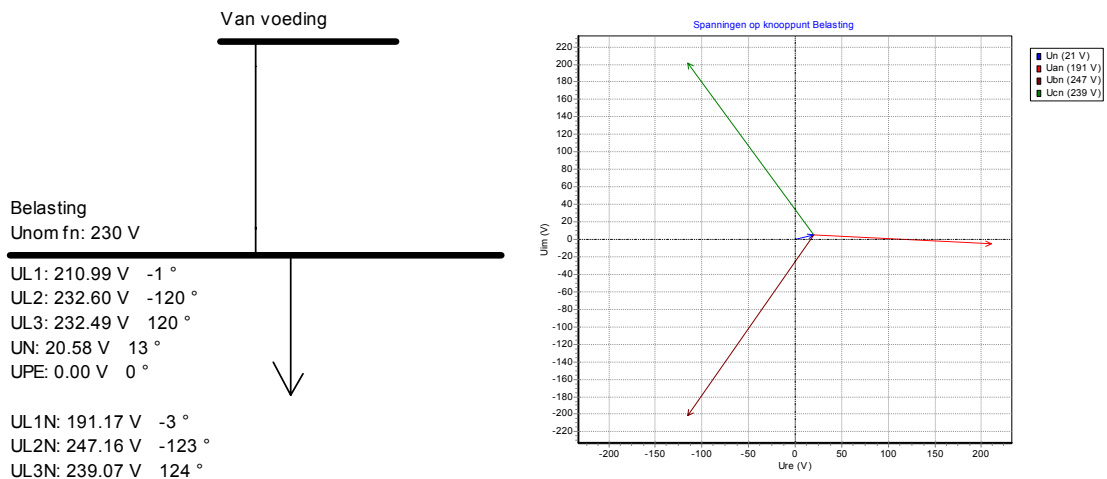
Figuur 4 Voorbeeld met een nulpuntstransformator met $X0=0$ Ohm en met $X0=10$ Ohm

4 GEDRAG BIJ EEN ÉÉNFASEKORTSLUITING

Indien in het distributienet met een nulpuntstransformator een éénfase kortsluiting ontstaat, dan zal ook de kortsluitstroom door de beveiliging worden genivelleerd. Hiermee moet terdege rekening gehouden worden bij de instelling van de beveiliging.

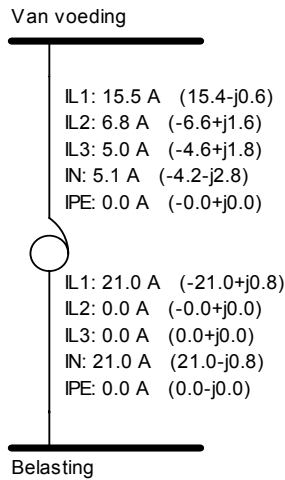
5 CONTROLE MET GAIA

In onderstaand voorbeeld is een sterke voedingsbron ($U_{nom}=231$ V; $I_k''=1000$ kA) via een verbinding (4000 m 150 VVMvKsas/Alk; bij benadering $Z=1$ Ohm) aangesloten op een belasting van 21 A (Ohms) tussen fase A en Nul. Zonder nulpuntstransformator moet de spanningsdaling in fase A gelijk zijn aan: $I_{last} Z = 21$ V. In het experiment is de spanningsdaling gelijk aan 20 V (=230,94-210,99). De spanning op de Nul moet ook gelijk zijn aan 21 V. Volgens Gaia is dat 20,58 V. Ook zichtbaar is dat de spanningen op de overige twee onbelaste fasen UL_2 en UL_3 ten opzichte van de nul toenemen. Het kleine verschil wordt veroorzaakt door de asymmetrie van de vieraderige laagspanningskabel.



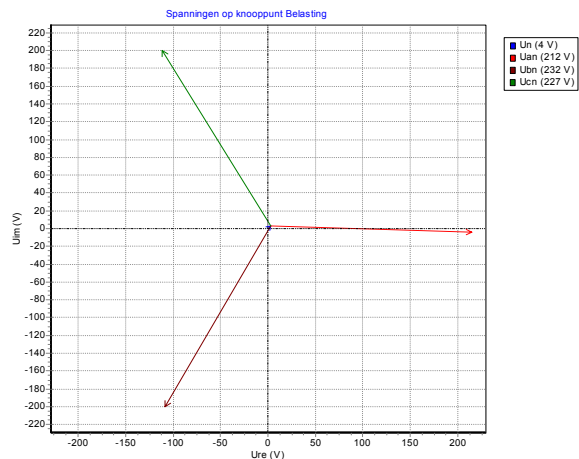
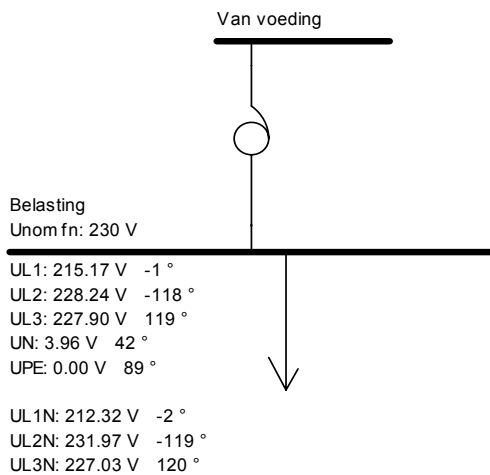
Figuur 5 Experiment zonder nulpuntstransformator

Indien de nulpunttransformator wordt ingeschakeld (in dit experiment is de AXA laagspanningsregelaar van Gaia gebruikt), wordt de asymmetrische stroom over de fasen verdeeld zoals aangegeven in onderstaande afbeelding. De verdeling neigt 2/3, 1/3 en 1/3, maar wijkt in dit niet-ideale geval daar van af. Er loopt dan ook nog wat stroom door de nulleider van de voeding.



Figuur 6 Verbetering stroomverdeling door de nulpunttransformator

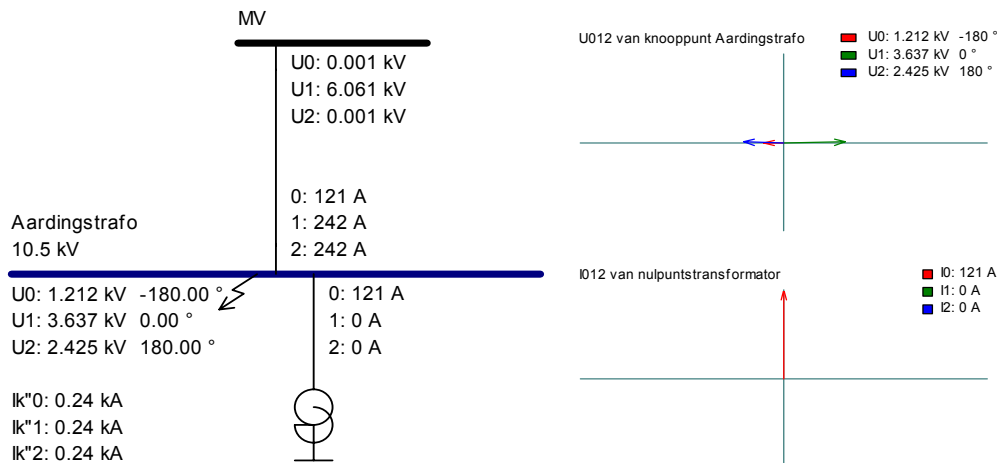
De spanningen worden door toepassing van deze transformator verbeterd. De spanningsdaling zou gelijk moeten zijn aan 14 V. De berekening volgens Gaia levert (door de resterende nulpuntverschuiving) een spanningsdaling op van 16 V. De spanningsdaling in de andere twee fasen zou 3,5 V moeten bedragen. De berekening volgens Gaia levert spanningsdalingen op van 2,7 V (=230,94-228,24) en 3,0 V (=230,94-227,90).



Figuur 7 Experiment met nulpunttransformator

6 CONTROLE MET VISION

In het voorbeeldnet van figuur 4 is de homopolaire reactantie van de nulpunttransformator gelijk aan 10 Ohm. Nadere beschouwing van het gedrag levert:



Figuur 8 Homopolaire spanning, stroom en reactantie volgens Vision

De berekende waarden in het homopolaire schema volgen uit de relatie:

$$U_0 = Z_0 \cdot I_0 = j X_0 \cdot I_0 = j 10 \cdot 121 = j 1210 V$$

Dit is in overeenstemming met elkaar.

7 CONCLUSIE

Concluderend verbetert de nulpunttransformator in het ideale geval:

- de spanningsdaling in de belaste fase ten opzichte van de nul (over de belasting) van $2 I_{last} Z$ naar $2/3 I_{last} Z$,
- de spanningsverhoging in de onbelaste fasen ten opzichte van de nul van $0.5 I_{last} Z$ naar een spanningsdaling van $1/6 I_{last} Z$ en
- de nulpuntverschuiving van $I_{last} Z$ naar 0 .

In meer praktische situaties is de verbetering minder goed dan in het ideale geval.