

# PHASE TO PHASE

## Fasestromen bij een tweefasen-aardfout

01-129 pmo

27-4-2001

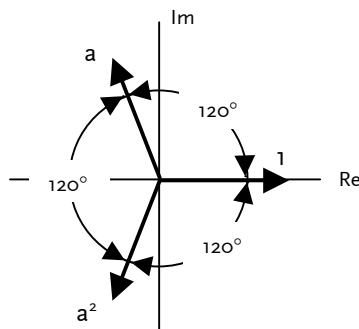
**1 INLEIDING**

Het valt wel eens op dat bij berekening van een kortsluiting tussen twee fasen en aarde de fasestromen niet gelijk aan elkaar zijn. Dit verschijnsel treedt zowel op bij de methode volgens IEC 909 als bij de methode volgens Storing Sequentieel. Men zou verwachten dat in een symmetrisch driefasensysteem de stromen in de kortgesloten fasen wel gelijk zouden zijn. Hoe zit dat?

Een antwoord op deze vraag is niet zo eenvoudig te geven. De reden hiervoor is dat bij deze fout twee voedende spanningen aanwezig zijn (bijvoorbeeld in de fasen b en c) terwijl bij de overige fouten één voedende spanning op de fout werkt of een éénfasig vervangingsschema voldoet. In symmetrische componenten uit zich dat door een parallelschakeling van de componentennetwerken.

**2 MODELLERING MET BEHULP VAN DE COMPONENTENMETHODE**

In Vision wordt de methode van symmetrische componenten toegepast. Deze methode is in de literatuur uitgebreid beschreven (zie bijvoorbeeld Happoldt en Oeding, "Elektrische Kraftwerke und Netze", Springer-Verlag). In het kort splitst de methode een compleet net op in drie onafhankelijke eenfasige netwerken, normale, inverse en homopolaire systeem geheten. De basis wordt gevormd door de drie eenheidsvectoren in het complexe vlak, die 120 graden van elkaar zijn verschoven.



Figuur 1 Eenheidsvectoren 1, a en a<sup>2</sup> in het symmetrische systeem

De drie eenheidsvectoren worden op verschillende manieren beschreven:

$$1 = 1 \cdot e^{j0^\circ} = 1 + j0$$

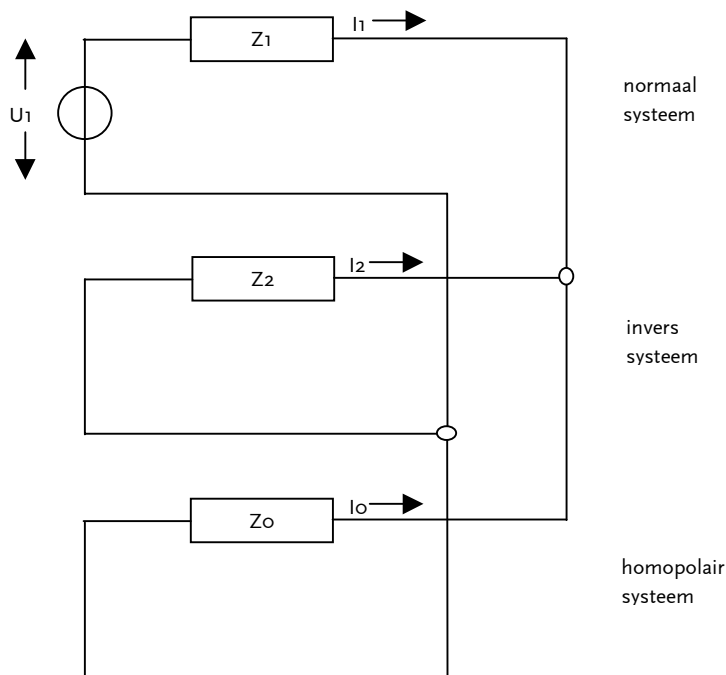
$$a = 1 \cdot e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (1)$$

$$a^2 = 1 \cdot e^{j240^\circ} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

De fasestromen kunnen met behulp van deze vectoren worden samengesteld uit de stromen van de componentennetwerken:

$$\begin{aligned} I_a &= I_0 + I_1 + I_2 \\ I_b &= I_0 + a^2 \cdot I_1 + a \cdot I_2 \quad (2) \\ I_c &= I_0 + a \cdot I_1 + a^2 \cdot I_2 \end{aligned}$$

In deze afleiding gaan we uit van een kortsluiting op de fasen b en c en met aarde. Deze tweefasefout met aardcontact kan in symmetrische componenten worden weergegeven als parallelschakeling van de drie componenten netwerken. De parallelschakeling is op de plaats van de kortsluiting.



Figuur 2 Modelling van een fout tussen de fasen b en c en met de aarde

In het schema van de parallelschakeling van de drie componentennetwerken is te zien dat door toepassing van de eerste wet van Kirchhoff de som van de componentenstromen gelijk is aan nul:

$$\begin{aligned} I_0 + I_1 + I_2 &= 0 \Rightarrow \\ I_1 &= -(I_2 + I_0) \quad (3) \end{aligned}$$

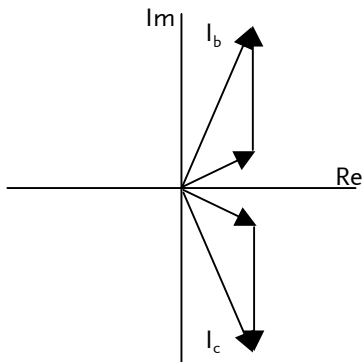
Met behulp van vergelijking (3) gaat vergelijking (2) over in:

$$\begin{aligned} I_a &= I_0 - (I_2 + I_0) + I_2 = 0 \\ I_b &= I_0 - a^2 \cdot (I_2 + I_0) + a \cdot I_2 \quad (4) \\ I_c &= I_0 - a \cdot (I_2 + I_0) + a^2 \cdot I_2 \end{aligned}$$

De stroom door de fase a is nul, wat ook te verwachten was omdat in die fase geen fout was aangebracht. Als we de vergelijkingen voor de andere twee fasen verder uitwerken volgt uit (4):

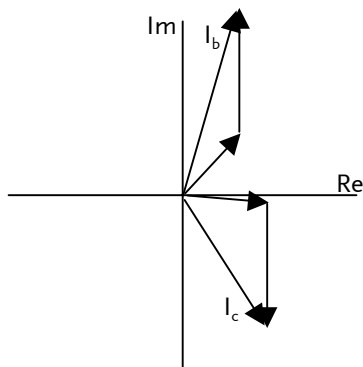
$$\begin{aligned} I_b &= (1 - a^2) \cdot I_0 + (a - a^2) \cdot I_2 = \sqrt{3} \cdot (I_0 \cdot e^{j30^\circ} + I_2 \cdot e^{j90^\circ}) \\ I_c &= (1 - a) \cdot I_0 + (a^2 - a) \cdot I_2 = \sqrt{3} \cdot (I_0 \cdot e^{-j30^\circ} + I_2 \cdot e^{-j90^\circ}) \end{aligned} \quad (5)$$

Indien de componentenstromen  $I_0$  en  $I_2$  dezelfde fasehoek hebben, zijn de moduli van de stromen  $I_a$  en  $I_b$  volgens vergelijking (5) gelijk. In het geval dat  $I_0$  en  $I_2$  beide een fasehoek van nul graden zouden hebben, zou de reële as op het complexe vlak een symmetrie-as zijn. Zie onderstaande figuur.



Figuur 3 Samenstelling van fasestromen b en c uit de symmetrische componenten, waarbij  $|I_b| = |I_c|$ .

In het geval dat de fasehoek van bijvoorbeeld de homopolaire stroom zou toenemen, zouden de kleine schuine vectoren van figuur 3 evenredig mee toenemen. Aldus ontstaat een ander vectordiagram, waarin niet meer de lengte van de vector  $I_b$  gelijk is aan die van  $I_c$ . Zie onderstaande figuur.

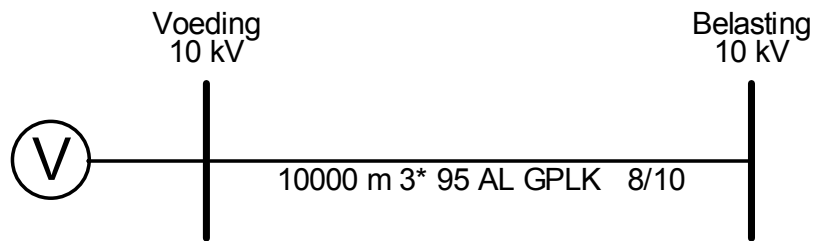


Figuur 4 Samenstelling van fasestromen b en c uit de symmetrische componenten, waarbij  $|I_b| \neq |I_c|$ .

De stromen  $I_0$  en  $I_2$  hebben alleen een gelijke fasehoek als de voedende impedanties  $Z_0$  en  $Z_2$  (zie figuur 1) een gelijke fasehoek (R/X verhouding) hebben. In het algemeen zullen de fasehoeken van deze impedanties verschillen, waardoor dus ook de moduli van de fasestromen bij een tweefasen-aardfout zullen verschillen.

3 PRAKTIJKVOORBEELD

In Vision is een eenvoudig net opgebouwd, bestaande uit twee knooppunten met een voeding en een kabelverbinding. Zie onderstaand schema.



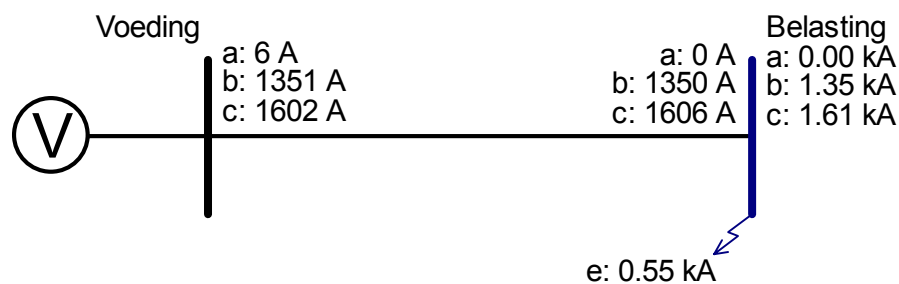
Figuur 5 Voorbeeldschema

Netgegevens:

Voeding:  $I_k''_{nom} = 1000 \text{ kA}$ ;  $I_k''_{min} = 900 \text{ kA}$ ;  $I_k''_{max} = 1000 \text{ kA}$ ;  $I_k''_3/I_k''_1 = 1$

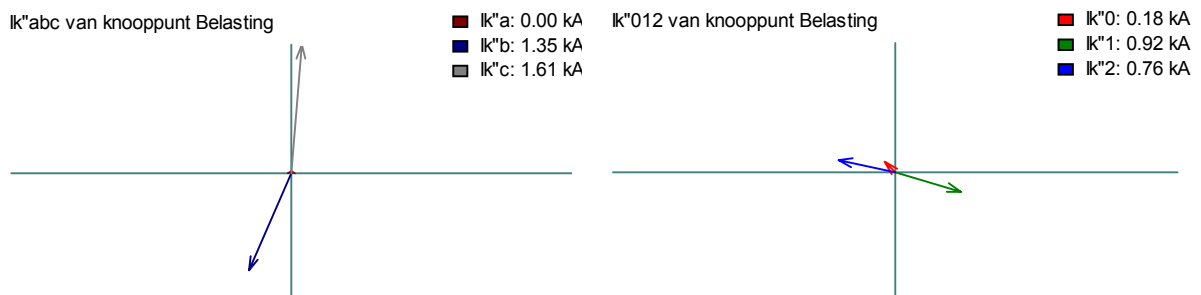
Kabelimpedanties:  $R = 0,333 \text{ } \Omega/\text{km}$ ;  $X = 0,082 \text{ } \Omega/\text{km}$ ;  $C = 0,34 \text{ } \mu\text{F}/\text{km}$ ;  $R_0 = 1 \text{ } \Omega/\text{km}$ ;  $X_0 = 1 \text{ } \Omega/\text{km}$ ;  $C_0 = 0 \text{ } \mu\text{F}/\text{km}$

Uit de berekening volgens Storing Sequentieel volgt voor een aardsluiting met de fasen b en c dat de stromen in de fasen b en c niet even groot zijn. Zou de homopolaire impedantie van de kabel gelijk aan de normale impedantie gekozen zijn, dan zouden de stromen in de fasen b en c in grootte niet van elkaar verschillen.



Figuur 6 Resultaat van berekening van een tweefase-aardsluiting.

Het wijzerdiagram voor de stromen van en naar knooppunt "Belasting" geeft een inzicht in de berekende stromen. Duidelijk zichtbaar is dat de fasehoeken van  $I_0$  en  $I_2$  niet gelijk zijn.



Figuur 7 Berekende stromen voor knooppunt "Belasting"

#### 4 CONCLUSIE

De moduli van de fasestromen bij een tweefasefout met aardcontact zijn in het algemeen niet gelijk aan elkaar. De oorzaak ligt in het feit dat de fasehoeken van de voedende netimpedanties van de symmetrische componenten-netwerken in het algemeen niet aan elkaar gelijk zijn.