

PHASE TO PHASE

Stroomcompensatie bij transformatorregelingen

01-154 pmo

5-6-2001

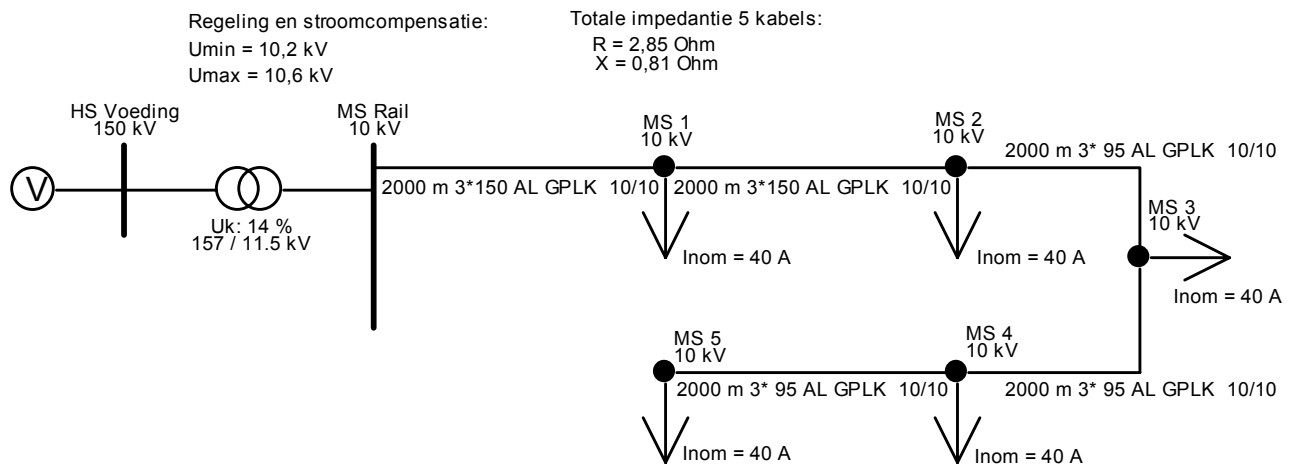
1 INLEIDING

Stroomcompensatie in de spanningsregeling van een voedingstransformator is bedoeld om het spanningsverlies over een verbinding te compenseren. In dat geval wordt de regeling gestuurd met behulp van de secundaire spanning en de belastingsstroom. De regeling is zodanig dat behalve met de spanning op de secundaire klemmen van de transformator ook rekening gehouden wordt met spanningsverliezen voorbij dit punt. De regeling is dan dus in feite ingesteld op een fictief punt in het distributiesysteem. Deze van de belastingsstroom afhankelijke regeling wordt "compounderingsregeling" of "stroomcompensatieregeling" genoemd.

Het komt nogal eens voor dat de invloed van de stroomcompensatie in de transformatorregeling niet goed wordt begrepen. Dit document gaat kort in op de keuze van de compensatie-impedantie en de invloed van diverse belastingen en opwekkers.

2 DE WERKING VAN DE STROOMCOMPENSATIE

De werking van de stroomcompensatie lichten we kort toe met behulp van onderstaand schema. Een 50 MVA transformator (kortsluitspanning 14%) voedt een richting met 5 kabelstukken van 2 km elk. De eerste twee kabelstukken zijn 150 mm² AL. De volgende kabelstukken zijn 95 mm² AL. Op elk knooppunt is een belasting van 40 A (cosφ=0,9) aangesloten. De spanningsregelaar is ingesteld op een spanning tussen 10,3 en 10,5 kV.



Figuur 1 MS-net met verdeelde belastingen

De knooppuntspanningen zijn weergegeven in figuur 2. De spanning aan het uiteinde van de richting is met 9,9 kV aan de lage kant.

Door de stroomcompensatie wordt de gemeten spanning gecorrigeerd met het complexe product van de secundaire stroom en de compensatie-impedantie $Z_c (=R_c + j X_c)$ volgens vergelijking (1):

$$U_{regelaar} = U_{secundair} + I_{secundair} \cdot Z_c \cdot \sqrt{3} \quad (1)$$

Hierdoor "ziet" de regelaar een lagere spanning (het complexe product heeft door de tekenafspraken een negatieve uitwerking). Door deze correctie zal de secundaire spanning doorgaans hoger worden dan met U_{min} en U_{max} is opgegeven. De stroomcompensatie zorgt ervoor dat de spanningsdaling over een lange lijn gecompenseerd wordt.

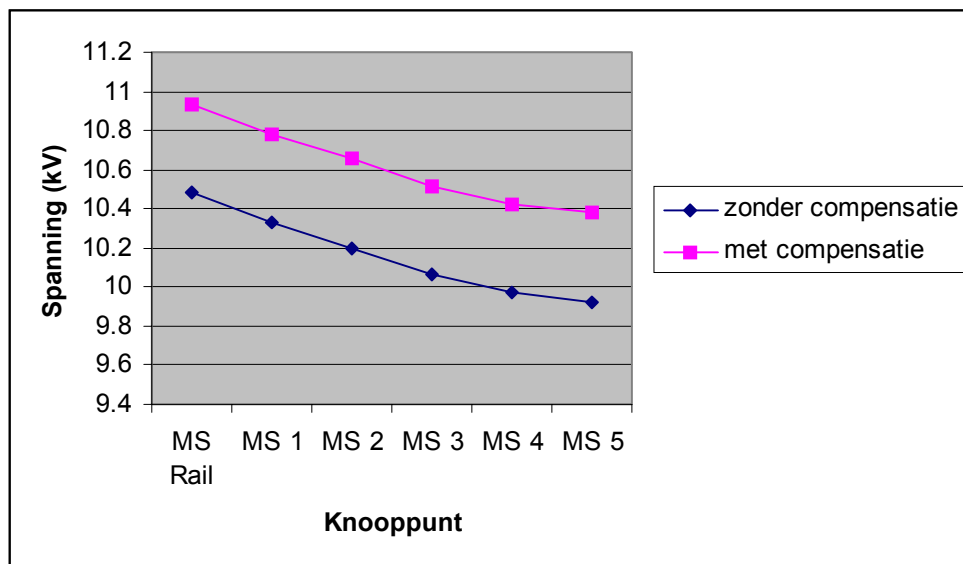
Stel dat we de spanning zodanig willen corrigeren dat voor de totale belasting van 200 A de spanning aan de klemmen van de transformator 500 V verbetert, dan moet de absolute waarde van de impedantie van de compensatie gelijk zijn aan:

$$Z_c = \frac{500/\sqrt{3}}{200} = 1,44\Omega \quad (2)$$

Rekening houdend met een $\cos\phi$ gelijk aan 0,9 krijgen we een compensatie-impedantie van:

$$Z_c = 1,3 + j0,63\Omega \quad (3)$$

De spanning voor de gehele richting verbetert op die manier inderdaad met ongeveer 500 V, namelijk 3 trapstanden van 150 V, afhankelijk van de tapgrootte en het ingestelde spanningsinterval. Het spanningsprofiel is weergegeven in figuur 2.



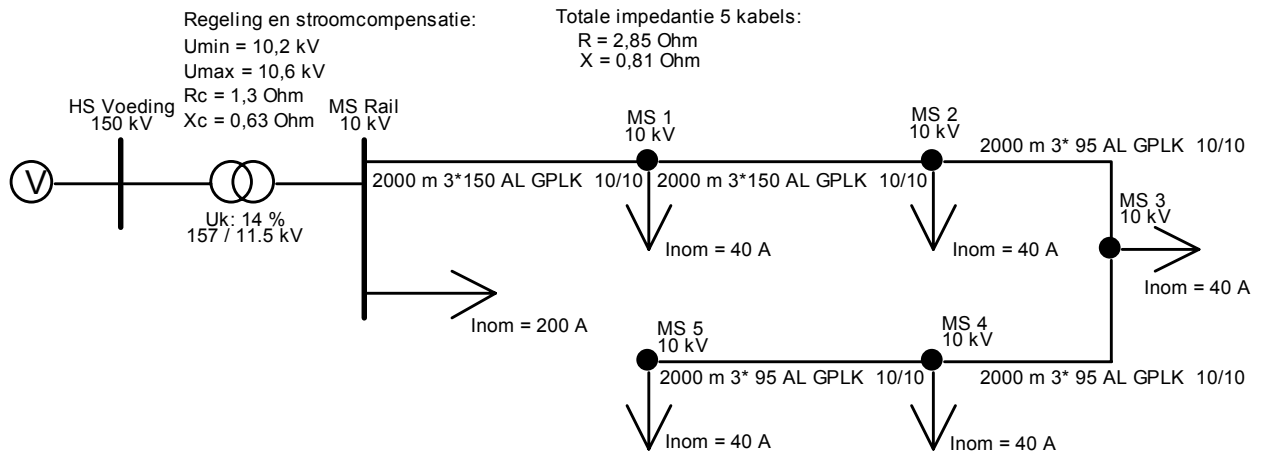
Figuur 2 Spanningsprofiel zonder en met stroomcompensatie.

De gehele richting heeft een totale impedantie van $2,85 + j0,81 \Omega$. Op een zodanige afstand vanaf de transformator, waarvoor geldt dat de "elektrische afstand" ongeveer gelijk is aan deze impedantie, zou de spanning in het ingestelde spanningsinterval moeten liggen. Deze redenering gaat hier niet helemaal op omdat de kabelstroom wegens de over de knooppunten verdeelde belastingen naar het uiteinde van de MS-richting toe afneemt.

3 INVLOED LOKALE BELASTINGEN EN OPWEKKERS

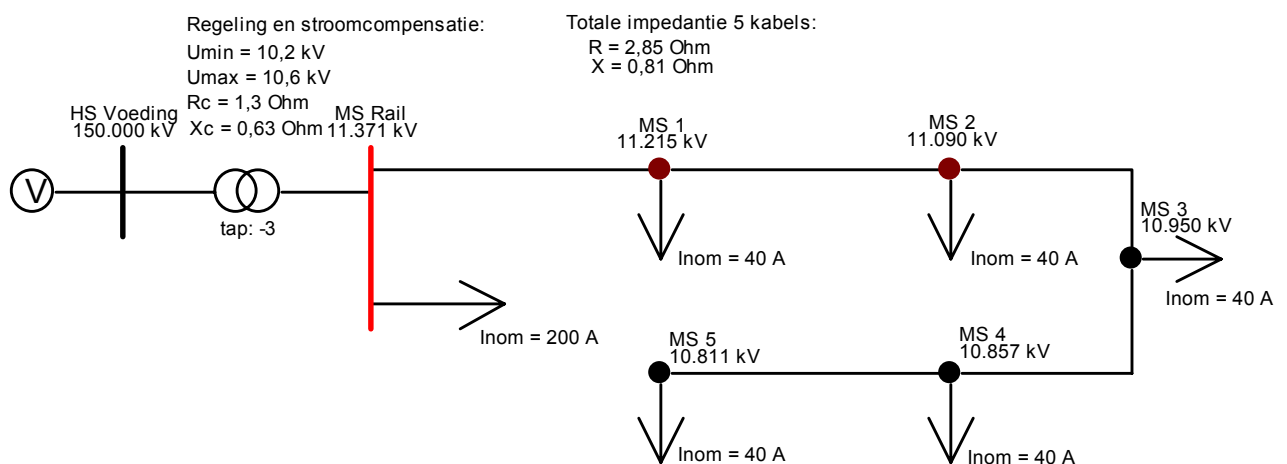
Het komt nogal eens voor dat een bijzondere belasting of een decentrale opwekker direct op de middenspanningsrail van een voedingstransformator wordt aangesloten. In dat geval moet de stroom van die klant worden afgetrok-

ken van de te compenseren stroom. De invloed van een grote lokale belasting wordt toegelicht met behulp van hetzelfde netschema als in het vorige hoofdstuk, maar nu uitgebreid met een grote belasting (figuur 3). Een 50 MVA transformator voedt een dichtbij gelegen belasting en een MS-richting met belasting. De belasting in de MS-richting is evenredig verdeeld over vijf knooppunten. De gedachte is om het spanningsverlies over de kabel te compenseren.



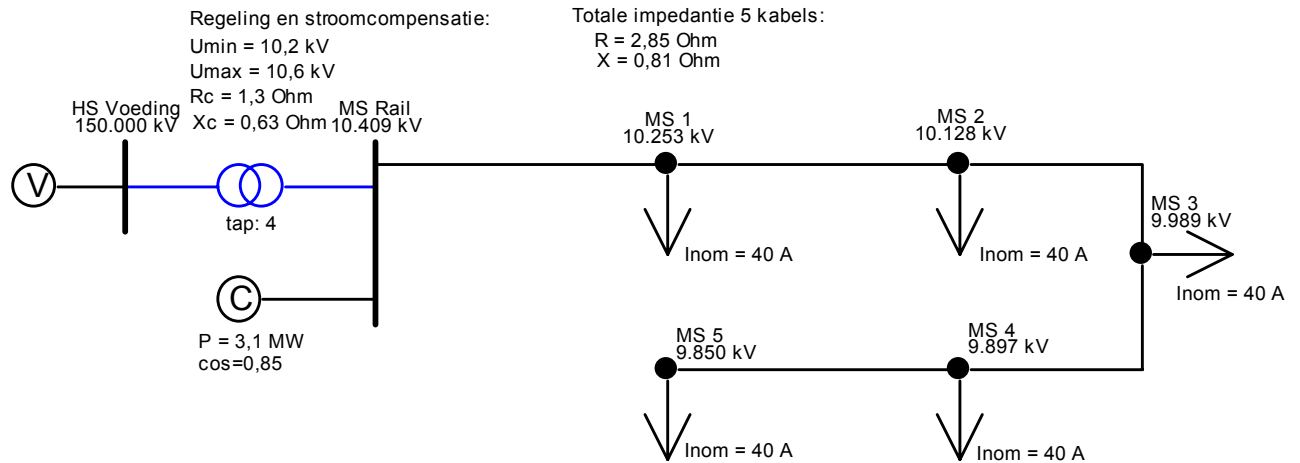
Figuur 3 MS-net met verdeelde belastingen en grote lokale belasting

In het schema valt op dat een stroomcompensatie is aangebracht met als doel het spanningsverlies over de verbinding, bestaande uit vijf kabels in serie, te compenseren. Wat echter ook opvalt, is dat een grote belasting direct op de secundaire rail van de transformator is aangebracht. In het netje wordt de compensatie voor de afgaande richting als het ware misleid door de last van 200 A direct op de secundaire rail (waarvoor de compensatie niet bedoeld is), naast de te compenseren belasting van 200 A in de MS-richting. De invloed van de lokale belasting op de regeling is zó groot, dat de spanning in de rest van het net, dus ook op de te compenseren MS-richting, wordt overgecompenseerd, soms wel leidend tot spanningen hoger dan 11 kV. Zelfs aan het uiteinde van de richting is de spanning hoger dan het ingestelde interval (zie figuur 4).



Figuur 4 Overcompensatie door grote lokale belasting

Figuur 5 geeft een beeld van de invloed van een decentrale opwekker, die direct op de MS-rail is aangesloten. De spanning wordt daardoor juist te weinig gecompenseerd en ligt voor het eerste knooppunt in de richting al beneden het ingestelde spanningsinterval.



Figuur 5 Te weinig compensatie door lokale decentrale opwekker

Decentrale opwekking levert vaak oorspronkelijk niet begrepen situaties op. Sommige apparaten werken met absolute waarden voor stroom en spanning en is dus niet richtinggevoelig. In dat geval wordt de verwarring compleet, omdat de stroomcompensatie bij netto teruglevering via de transformator dan het tegengestelde effect bewerkstelligt. In die gevallen kan de stroomcompensatie beter worden uitgeschakeld.

Zeker in het geval dat de decentrale opwekking bestaat uit een of meerdere windturbines is het spanningsgedrag onrustig en lijkt het onvoorspelbaar. De bijdrage van deze opwekkers mag dan ook geen onderdeel uitmaken van de te compenseren stroom.

4 KEUZE VAN DE COMPENSATIE-IMPEDANTIE

Naast de methode van formule (2) is het ook mogelijk Z_c te schatten met behulp van de impedantie van de afgaande richting. In het hierboven geschetste voorbeeld zou de eerste schatting uitkomen op bijvoorbeeld de helft van de totale impedantie ($1,4 + j0,8 \Omega$). Dat deze waarde te groot blijkt te zijn, heeft te maken met de verdeling van de belasting. Indien alle belasting geconcentreerd zou zijn op één punt, zou deze benadering stukken eenvoudiger zijn.

Het kiezen van de juiste impedantie is vaak een kwestie van proberen en simuleren. In de meeste gevallen is de belasting niet zo netjes verdeeld en bestaat de richting uit kabelstukken van diverse lengtes en impedanties en bevat de richting aftakkingen. Van tevoren moet vastliggen hoeveel knooppunten of welke knooppunten zeker binnen het gekozen spanningsinterval moeten liggen. Aandachtspunt is de mogelijkheid dat meerdere transformatortrapstanden een oplossing kunnen leveren.