

Datum 16 april 2009

Bijlage 1

Bijlage behorende bij DIR09-021

Pagina 1 van 17

Inleiding

Voor de uitvoering van haar wettelijke taak om de leveringszekerheid van de Nederlandse elektriciteitsvoorziening te handhaven, werkt TenneT continu aan de versterking van het landelijk transportnet. Dat net moet robuust, betrouwbaar en toekomstvast zijn, omdat het de ruggengraat vormt van de Nederlandse stroomvoorziening. Een hoge beschikbaarheid van het net is essentieel. Dit landelijke transportnet heeft belangrijke verbindingen op 380 kV-niveau met het Europese net ter versterking van de internationale elektriciteitsmarkt en de leveringszekerheid.

Na gedegen afwegingen van nut en noodzaak wordt dit net uitgebreid, binnen de politiek-maatschappelijke kaders en na besluitvorming op basis van de Rijkscoördinatie Regeling over de inpassing van concrete tracé's.

De betrouwbaarheid, die als absolute voorwaarde geldt, vereist een zeer hoge technische standaard van alle installaties in het net. Daarom bouwt TenneT op basis van bewezen, gedegen techniek en kiest ze voor innovatie en nieuwe technieken waar dat vanuit het oogpunt van betrouwbaarheid kan en wenselijk is voor de optimalisatie van het net. Voortdurend werkt TenneT aan innovatie, ook op het gebied van toepassing van de maatschappelijk gewenste ondergrondse aanleg van de 380 kV-verbindingen.

Dit document bevat de overwegingen en de technische onderbouwing van TenneT over de mogelijkheid om 380 kV-kabel in te zetten in het huidige landelijke transportnet.

1 Wat zijn de risico's van verkabeling binnen een vermaasd 380kV-net

Inleiding

Een net bestaande uit bovengrondse lijnen én ondergrondse kabels vraagt om de toepassing van compensatiemiddelen op grote schaal. Deze compensatiemiddelen beïnvloeden de spanningsstabiliteit van het net in negatieve zin. In het algemeen is het zo dat spanningsinstabiliteit wereldwijd de voornaamste reden is voor grootschalige black-outs van hoogspanningsnetten.

Er is nog veel praktijkonderzoek nodig naar de systeemtechnische aspecten en operationele haalbaarheid van het toepassen van ondergrondse kabelverbindingen in vermaasde 380 kV-transportnetten. De focus van dit onderzoek ligt op het effect van inpassing van kabelverbindingen over grote lengtes (vanwege de compensatiemiddelen en verbindingsmoffen in kabels) alsook in het aantal individuele stukken kabelverbindingen (vanwege de eindsluitingen). In deze paragraaf wordt uitgelegd waardoor de instabiliteit kan ontstaan, wat er tegen kan worden gedaan en met welk effect en waarom het ontstaan van instabiliteit zo moeilijk voorspelbaar is.

Systeemgedrag van kabels

De bedrijfsvoering van een hoogspanningsnet is gericht op een ononderbroken levering. Daarbij is het van belang om de hoogte van de spanning, de omvang van de transporten en de constantheid van de spanning te managen. Bij een overwegend bovengronds net is dat eenvoudiger dan bij een deels ondergronds net. Omdat een kabel zich elektrotechnisch anders gedraagt dan een bovengrondse lijn, zijn er ter beheersing van een deels ondergronds net zogenaamde compensatiemiddelen nodig. Deze compensatiemiddelen zijn gericht op twee aspecten:

- compensatie van het blindvermogen;
- compensatie voor verschillen in weerstand tussen lijn en kabel.

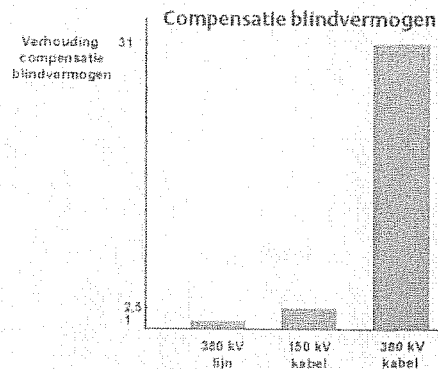
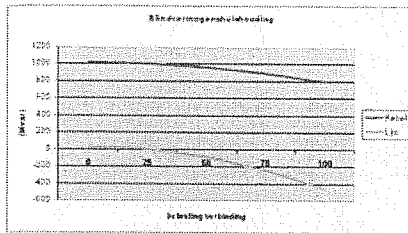
Compensatie van het blindvermogen

Kabels gedragen zich als condensatoren die blindvermogen opwekken. Blindvermogen leidt tot spanningsverhoging in het netwerk, dit dient gecompenseerd te worden. Kabels op het hoogste spanningsniveau vergen meer omvangrijke compensatiemiddelen om deze blindstroom te compenseren (parallelcompensatie) dan lijnen. De benodigde compensatie van het blindvermogen bij 380 kV over een kabel is maar liefst 31 keer groter dan de blindstroom-compensatie bij 380 kV over een lijn. Daarnaast is de mate van compensatie afhankelijk van het getransporteerde vermogen. Hoe groter het vermogen, des te omvangrijker de benodigde compensatie met de bijbehorende deels onbekende effecten. Deze compensatie neemt kwadratisch toe met de spanning en nader onderzoek moet aantonen of dit risicovol is. Dit wordt geïllustreerd in diagram 1.

2009/04/29 07:10:50

Diagram 1 Compensatie blindvermogen

Blindvermogenshuishouding bij 20 km verbinding



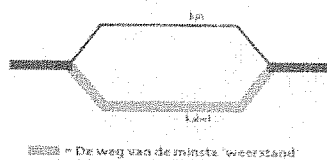
(bijschrift) Links een vergelijking van het te compenseren blindvermogen van lijn en kabel, rechts ook het verschil in compensatie die nodig is voor respectievelijk 380 kV-lijn, 150 kV-kabel en 380 kV-kabel.

Compensatie voor verschillen in weerstand tussen lijn en kabel

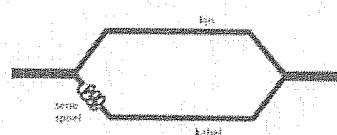
Verder is in vermaasde netten bij een parallele toepassing van een kabel en een lijn, sturing van vermogen nodig voor een gelijke verdeling van stromen over het net. De stroom kiest immers automatisch de weg van de minste weerstand in een net en dat is via de kabel en niet via een lijn. Compensatiemiddelen zijn nodig voor een meer gelijke verdeling van stromen over het net (bestaande uit lijn en kabels) om te voorkomen dat de kabels eerder overbelast raken. Dat gebeurt met seriespoelen om de impedantie (weerstand) vergelijkbaar te maken met bovengrondse lijnen. Diagram 2 illustreert dit.

Diagram 2 Vermogenssturing

Verschillende elektrotechnische eigenschappen



Seriecompensatie in kabel



Invloed van compensatiemiddelen op spanningsstabiliteit van een net: resonantie

Op systeemniveau gaan kabels en hun compensatiemiddelen inwerken op het net als geheel, wat tot instabiliteit kan leiden: de spoelen van de compensatiemiddelen en de condensatorwerking van de kabels kunnen met elkaar resoneren. Deze resonantieverschijnselen kunnen leiden tot spanningsinstabiliteit (spanningsslingeringen).

Bij plotseling afschakelen van een 380 kV-kabel komen grote hoeveelheden in de kabel opgeslagen energie vrij waardoor de kabel zelf en het net gaan resoneren wat leidt tot een te hoge spanning. Het realiseren van een lange kabelverbinding of meer korte 380 kV-kabelverbindingen zorgt ervoor dat het risico toeneemt op resonantie, met gevolg een te hoge spanning. De te hoge spanningen kunnen verder oplopen met als gevolg een toename van het risico dat andere componenten

afschakelen of beschadigen. Wanneer hoogspanningsverbindingen en generatoren op ongecontroleerde wijze van het net afgeschakeld worden, wordt de systeemintegriteit aangetast en neemt het risico op stroomuitval als gevolg van resonatieverschijnselen toe.

Succesvol scheiden van netdelen waarin ongewenst slingeren optreden, met als doel het isoleren van het probleem, kan niet altijd gegarandeerd worden vanwege de complexiteit van het systeem. Deze complexiteit wordt onder andere veroorzaakt door de actuele toestand van het net, de actueel in bedrijf zijnde componenten, de snelheid van de slingeren, het falen van componenten en de volgorde van reageren van beveiligingen. Bovendien betekent afschakelen van een volledig netdeel dat er meer wordt uitgeschakeld dan met N-1 (ook bij onderhoud) als reserve wordt aangehouden. De stroomverzorging naar een bepaald gebied zal dan ook onderbroken worden, met alle gevolgen van dien.

Mogelijkheden om te hoge spanningen te voorkomen

In theorie kan een te hoge spanning worden beïnvloed door het toevoegen van geschikte componenten in de schakelstations. Internationaal gezien is er vrijwel geen praktijkervaring met het toepassen van dergelijke componenten in 380 kV-kabels over grotere lengte. Bovendien geldt dat het elektrisch systeem eigenfrequenties heeft en dat wisselstroomkabels op een hoog spanningsniveau deze zogenaamde natuurlijke frequenties aanzienlijk verlagen. Verlagen van de eigenfrequentie heeft als gevolg dat de dempende werking van het elektrisch systeem voor spanningsslindingen minder wordt. Dit vergroot de kans op het optreden van resonanties in het systeem. Resonanties zijn riskante verschijnselen, omdat ze al kunnen worden ingeleid door schakelhandelingen die in de praktijk relatief vaak optreden – zoals het openen of sluiten van een vermogensschakelaar (denk aan de schakelaar van een lamp of de aardlekschakelaar in huis).

Risico's van resonantie in het net op 380kV-niveau

De effecten van het risico dat samenhangt met resonantie is groter op 380 kV-niveau omdat dit net - in tegenstelling tot lagere spanningsniveaus- de ruggengraat is van het elektrische systeem. Het gehele Europese transportnet is op 380 kV-niveau met elkaar verbonden en heeft als het ware meer "massa" waardoor het zorgt voor een stabiele spanning. Incidenten die nu optreden in het netwerk van de lagere spanningsniveaus (bijvoorbeeld 150 kV) worden op dit moment dan ook opgevangen in het 380 kV-systeem. Maar als het 380 kV-systeem zelf instabiel wordt, moet het herstellend vermogen gezocht en gevonden worden in het 380 kV-systeem zelf; terugval op een overkoepelend systeem is niet mogelijk. Bovendien ligt op 380 kV-niveau de verbinding met de buitenlandse transportnetten.

Bovenstaande risico's worden niet alleen onderkend door TenneT, ook een recente Deense studie (zie referenties) heeft een aantal van de mogelijke effecten en de gevolgen voor het hoogspanningsnet beschreven. De studie en de situatie van het netwerk in Denemarken zijn vergelijkbaar met die in Nederland.

Wat is resonantie?

We spreken van resonantie als een voorwerp gaat meetrillen met een gedwongen trilling. Een snaarinstrument gaat bijvoorbeeld meetrillen op een langsrijdende stadsbus. Elk voorwerp kan gaan trillen bij een bepaalde frequentie. Ieder voorwerp heeft een andere frequentie: de eigenfrequentie. Door externe trilling kan een voorwerp worden 'aangestoten', gedwongen frequentie genoemd. Is deze gelijk aan de eigenfrequentie dan ontstaat resonantie. Dat zorgt voor een sterkere trilling, die zichzelf alsmear kan versterken. Een voorbeeld is het met een hoge toon kapot zingen van een glas. De eigenfrequentie van het glas komt overeen met de frequentie van de trillende stembanden.

Voorbeelden van incidenten als gevolg van resonantieverschijnselen.

De verschijnselen van natuurlijke frequentie of eigenfrequentie en resonanties zijn natuurkundig volledig vergelijkbaar met fenomenen die bijvoorbeeld samenhangen met bruggen of machines die plotseling en zonder waarschuwing vooraf beginnen te schudden, ofwel te resoneren. Een bekend voorbeeld is de ineenstorting van de Tacoma Narrows Bridge op 7 november 1940, kort na de voltooiing. Dat het toch een ongrijpbaar fenomeen blijft, werd duidelijk na de opening in 1996 van de Erasmusbrug in Rotterdam ondanks ondertussen jarenlange ervaring en betere simulatiemiddelen.



In het navolgende wordt de problematiek van resonanties, toegelicht aan de hand van een aantal voorbeelden.

Voorbeeld 1: Mechanische resonantie, het slingeren van een caravan achter een auto

Het risico van resonantie is ook regelmatig waarneembaar op de snelweg bij caravans achter de auto. Dit is een belangrijke reden waarom een caravan achter de auto niet harder mag dan 80km/h. Boven deze snelheid is de kans groot dat de caravan gaat slingeren, en eenmaal in beweging versterkt dit verschijnsel zich en is niet meer te houden. Analooq aan het elektriciteitsnet of een brug veroorzaakt een onvoorspelbare combinatie van factoren het slingeren van de caravan. Bij de caravan gaat het om gewicht, snelheid, de beladingswijze en externe factoren zoals wind, een vrachtwagen inhalen, etc. De vele factoren in dit voorbeeld die (kunnen) leiden tot slingering zijn vergelijkbaar met de vele factoren die ook in het elektrisch net spelen ten aanzien van resonanties.

Voorbeeld 2: Elektrische resonantie, overspanningen in een gedeeltelijk verkabeld 150 kV-net

Vijftien jaar geleden waren in het 150 kV-net eindsluitingen tussen ondergrondse kabel en bovengrondse lijn een punt van zorg vanwege de kans op beschadiging door overspanning ten gevolge van spanningsresonantie. Een Nederlands voorbeeld is de black out in de Achterhoek op 4 januari 1993 (zie referenties).

Door spanningsresonantie ontstonden toen overspanningen in het 150 kV-net die in 29 minuten tijd leidden tot beschadiging van tien 150 kV-eindsluitingen in verschillende verbindingen in het 150 kV-net van Gelderland. Het betrof hier een 150 kV-net (in casu: met blusspoel geaard net) waarin door een verstoring een resonantie in het net ontstond. Deze resonantie leidde tot hoogfrequente spanningsslingeringen die voor de kabel eindsluitingen te hoogfrequent en te hoog in overspanning bleken te zijn. Meerdere eindsluitingen begaven het nagenoeg gelijktijdig. Een aantal 150 kV-verbindingen in de 150 kV-ring Zutphen, Lochem, Borculo, Winterswijk, Dalen, Uift, Doetinchem 150kV en Langerak vielen daardoor langere tijd uit.

Uit dit praktijkgeval in de Achterhoek blijkt dat spanningsresonantie een moeilijk te beheersen fenomeen is, omdat het afhankelijk is van het aantal en soort componenten in het net, de schakelconfiguratie, wijze van sterpunt aarden en een (onverwachte) toestandsverandering in de nettopologie.

Overspanning door spanningsresonantie kan meerdere netcomponenten in verschillende verbindingen tegelijkertijd beschadigen (common cause fault). Eindsluitingen en moffen zijn de zwakste schakels in een hoogspanningskabelverbinding. Ook na het incident in de Achterhoek, zijn er verschillende 150 kV eindsluitingen stuk gegaan in Brabant en Zuid-Holland.

In dit netdeel zijn de problemen opgelost door een aanpassing in het aardingsstelsel en door vervanging van diverse eindsluitingen door een nieuwer type.

Resonantie in het elektrisch systeem.

De gevolg van resonantie in een elektrisch systeem zijn spanningsslingeringen. Deze spanningsslingeringen kunnen tot spanningen leiden die groter zijn dan waarop de componenten gedimensioneerd zijn. Deze zogenoemde overspanningen leiden dan tot doorslag met als gevolg schade. Omdat dit verschijnsel zich verspreid door het netwerk worden meer componenten betrokken dan waar rekening mee gehouden is. De redundantie in het netwerk is vanuit optimalisatie ontworpen op een N-1 (ook bij onderhoud) situatie, er kan dus altijd maar één component tegelijk uitvallen zonder gevolgen voor de elektriciteitsvoorziening. Spanningsslingeringen kunnen meerdere componenten gelijktijdig treffen, met als gevolg onderbrekingen.

Voorbeelden van storingen aan componenten bij 380 kV-kabelsystemen

Voorbeelden van recente storingen in het huidige 380 kV-transportnetwerk van TenneT in relatie tot toepassing van kabels, onderstrepen de risico's bij deze hoge spanning. Op het 380 kV-hoogspanningstation Maasvlakte trad in november 2008, vier jaar na inbedrijfname een forse storing op waarbij de kabeleindsluiting is ontploft. Bijgevoegd een foto van de ontplofte kabeleindsluiting. Eenzelfde storing trad op 11 april j.l. op in het converterstation van Eemshaven. Ook hier is een 380 kV-eindsluiting van een hoogspanningskabel geëxplodeerd.



Storing Maasvlakte

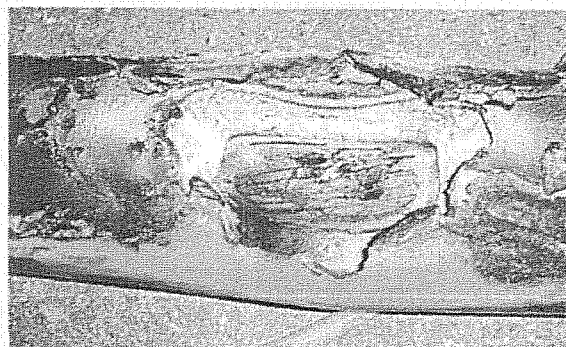


Storing Eemshaven

Eindsluitingen van kabelverbindingen blijken een kritische component in het hoogspanningstransportnet te zijn. (NB: de reparatietijden van dergelijke componenten kunnen daarbij lang zijn. Maasvlakte circa vier weken en inschatting bij Eemshaven ook circa 4 weken).

Internationaal zijn ook een aantal soortgelijke storingen te noemen, waarbij ook de reparatietijd opvalt:

- Berlijn, storing met reparatieduur van 2 weken. Hierna diende een inspectie plaats te vinden van alle verbindingsmoffen van enkele weken;
- Wenen, 3 kabelstoringen waarbij telkens na 2 maanden de kabel weer in bedrijf kon worden genomen;
- Milaan, enkele weken na ingebruikname duurde de reparatie van een storing een maand. Na een half jaar trad een nieuwe storing op. De reparatie van deze storing duurde van november 2007 tot januari 2008.



Storing Wenen

Conclusie

Analoog aan de bewegingsresonanties in de mechanica zijn er spanningsresonanties in de elektrotechniek. Resonanties in de spanning kunnen ontstaan op basis van voorspelbare en onvoorspelbare combinaties van factoren, zoals aantal en soort componenten (kabels, lijnen, compensatiemiddelen, transformatoren, etc.) in het net, netconfiguratie, demping in het net, wijze van aarding en (onverwachte) toestandsverandering in de netstructuur. Een toename van kabels met bijbehorende noodzakelijke compensatiemiddelen verhoogt de kans op het optreden van spanningsresonanties. Studie en onderzoek naar de betrouwbaarheid van 380 kV-kabelverbindingen en het voorkomen en beheersen van de risico's op spanningsresonantie is daarom noodzakelijk.

Op basis van de huidige ervaringen en inzichten, ook internationaal, concludeert TenneT dat kabelsystemen op 380 kV niveau een aantal serieuze fenomenen met betrekking tot leveringszekerheid in zich heeft. Extra kilometers 380 kV-kabel in het net vindt TenneT momenteel vanuit haar verantwoordelijkheid dan ook niet toelaatbaar. Dit vanwege de effecten op leveringszekerheid door lange hersteltijden en de onvoorspelbare combinatie van het systeem en de externe factoren die resonantie kunnen veroorzaken. Hierdoor kunnen grote risico's optreden met betrekking tot de netstabiliteit van het gehele vermaasde landelijke transportnet, de ruggengraat van het Nederlandse elektriciteitsnet.

2 Waarom is er met de huidige stand van technische kennis een beperking van 20 km tracélengte met 380 kV kabel?

Inleiding

De problemen op systeemniveau gerelateerd aan instabiliteit zijn in de netten tot 150 kV in de loop van de tijd opgelost. Bij bovengrondse lijnen zorgen lucht en afstand voor de isolerende werking. Bij ondergrondse kabels wordt hiervoor kunststof toegepast (de koperen kern van de kabel wordt door een kunststof ommanteling geïsoleerd van de aarde). Op component niveau is deze kunststoftechnologie al 25 jaar toegepast, terwijl er met de 380 kV-kunststoftechnologie pas 10 jaar ervaring is. De aard van de problematiek op 380 kV-niveau is groter omdat de effecten van de condensatorwerking zoals we in de vorige paragraaf reeds aangaven kwadratisch toeneemt met de spanning. Ook speelt mee dat het 150 kV-net een deel van haar stabiliteit ontleent aan het bovenliggend 380 kV-transportnetwerk, deze 'steun in de rug' is juist niet aanwezig op het 380 kV-niveau.

De problematiek op systeemniveau is ook nog afhankelijk van een aantal aspecten die te maken hebben met de uitvoering van de kabels op 380 kV-niveau: de lengte, het aantal circuits en het vermogen. Vanwege deze veelheid aan factoren is er daarom ook internationaal grote terughoudendheid in het toepassen van lange stukken kabel in de 'slagaders' van het Europese elektriciteitstransportnet. Onder slagaders wordt verstaan: alle zware transportverbindingen in het vermaasde 380 kV-net.

Aders, waaronder aansluitingen van centrales, maken daarentegen geen deel uit van ons vermaasd landelijk transportnet.

Invloed van lengte van kabels op netinstabiliteit

De risico's van netinstabiliteit worden groter naarmate er grotere stukken kabel in een vermaasd net worden toegepast met de bijbehorende blindstroomcompensatiemiddelen en smoorspoelen. Mede door gebrek aan (wereldwijde) ervaring op toepassing van kabels over grotere lengtes met spanningsniveau's van 380 kV en grote transportcapaciteiten zijn deze risico's ook moeilijker voorspelbaar. Momenteel wordt er wereldwijd ongeveer 250 kilometer tracélengte kabel toegepast met een spanning tussen 400 en 500 kV. In Diagram 3 zijn de belangrijkste toepassingen van 380 kV kabels weergegeven.

Diagram 3 State of art toepassing kabels

State of the art toepassing kabels

voorbeeld	functie	aantal circuits	vermogen per circuit	trace lengte	kabel lengte (1 fase)
Deense kabel	ader	1	975 MW ¹⁾	22 km	66 km
Berlijnse kabel	ader	2	1150 MW ¹⁾	12 km	72 km
Japanse kabel	ader	2	1200 MW ¹⁾	40 km	240 km
Spaanse kabel	ader	2	1720 MW ²⁾	13 km	156 km
Randstad 380	slagader	2	2640 MW²⁾	20 km	240 km

¹⁾ Een kabel per fase

²⁾ Twee kabels per fase

Bijchrift: Het aantal circuits, de lengte en het vermogen bepalen de mate van complexiteit van kabels in een vermaasd net; enkele praktijkvoorbeelden in Europa en Japan.

Voor de versterking van de elektriciteitsvoorziening in de Randstad met de volledige Zuidring en de volledige Noordring, heeft TenneT de Minister van Economische Zaken geadviseerd om de 380 kV dubbelcircuit verbinding te beperken tot maximaal 20 km tracélengte kabel in totaal. Deze 20 km tracélengte komt overeen met een totale kabellengte van 240 km (2 circuits met elk 2 kabels per fase = 12 kabels)

Uit vergelijking met bovenstaande praktijkvoorbeelden blijkt dat wereldwijd gezien TenneT niet alleen de grootste lengte verkabelt, maar tevens ook met deze kabels die onderdeel vormen van de slagaders van het netwerk het hoogste vermogen wil gaan transporteren.

Bij toepassing van meer dan 20 km tracélengte kabel tezamen met de bijbehorende blindstroomcompensatie-middelen en smoorspoelen in het vermaasde net, worden de risico's voor netinstabiliteit niet alleen groter, maar mede door gebrek aan (wereldwijde) ervaring op toepassing van dit spanningsniveau en transportcapaciteit ook minder goed voorspelbaar. De second opinion die is uitgevoerd door het Belgische bureau Tractebel geeft geen aanleiding tot een andere conclusie.

Risico's van storingen met 380 kV-kabels en kritische hersteltijden

Ervaring met kabelverbindingen leert dat de tijdsduur die een circuit na een storing uit bedrijf is, varieert tussen 2 en 20 dagen per storing, maar in de praktijk komen ook veel langere reparatietijden voor. De reparatieduur van bovengrondse verbindingen is veel korter: tussen 8 - 48 uur. Daarnaast leiden niet alle incidenten in bovengrondse verbindingen tot uitval van een circuit vanwege het zelfherstellend vermogen van zo'n bovengrondse lijn. Bij een fout - een kortsluiting door bijvoorbeeld blikseminslag - kan een lijn zichzelf snel uitschakelen en vervolgens automatisch weer inschakelen. Bij een ondergrondse kabel kan niet verantwoord automatisch ingeschakeld worden zonder kans op aanzienlijke schade van de kabel.

Op basis van de huidige internationale praktijkervaring is de kans op niet-beschikbaarheid van een ondergronds kabelcircuit een factor 10 tot 100 hoger dan van een bovengronds lijncircuit (bron: Ecofys)

Conclusie

Gegeven de onvoorspelbaarheid van het optreden van netinstabiliteit en op basis van de huidige ervaringen en inzichten, ook internationaal, concludeert TenneT uitgaande van een voorzorgsprincipe het volgende: Bij toepassing in het net van elke extra kilometer 380 kV-kabel boven de huidige grens van 20 km tracélengte kunnen zeer grote risico's ontstaan voor de leveringszekerheid van het net.

TenneT steekt (ook internationaal) haar nek uit voor 240 km kabel in een 20 km tracélengte kabelverbinding in de 380 kV backbone van Nederland. De primaire taak van TenneT is zorg dragen voor een leveringszeker en bedrijfszeker transportnet in Nederland. Vanuit deze zorg acht TenneT het nu niet verantwoord om meer kilometer 380 kV-kabel aan te leggen zonder gedegen nader onderzoek naar de risico's en mogelijke oplossingen.

3 Waarom geldt die beperking van 20 km tracélengte 380kV kabel ook voor heel Nederland?

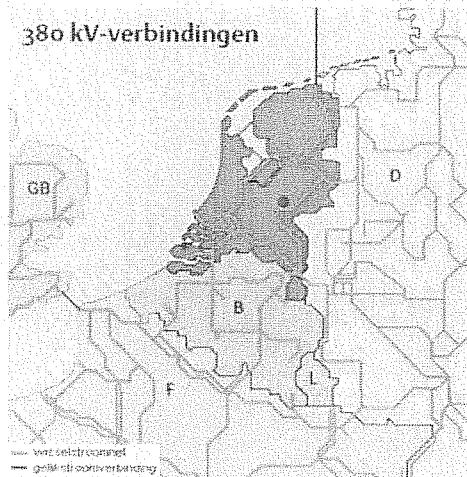
In de vorige paragrafen is uitgebreid ingegaan op de technische achtergronden die de risico afwegingen omtrent de grens van 20 km tracélengte verklaren.

Het landelijke transportnet functioneert als één geheel en verzorgt de transporten die nodig zijn om vraag en aanbod van elektriciteit in de markt te faciliteren. Alle nieuwe verbindingen zijn elementen in een geïntegreerd net, die niet onafhankelijk van elkaar functioneren. De daarin functionerende ringen kunnen niet van elkaar worden gescheiden. Een probleem met de stabiliteit in de Randstad heeft een effect op het gehele landelijke transportnet. Als het net in de Randstad instabiel wordt (begint te 'slingeren') wordt ook de rest van Nederland en het aanpalende buitenlandse hierin in meer of mindere mate meegenomen, zoals ook aangegeven in het praktijkvoorbeeld in de Achterhoek. Netdelen functioneren dus niet onafhankelijk van elkaar; de precieze invloed en reikwijdte moeten grondig onderzocht worden op basis van de praktijkervaring.

TenneT meent dat toepassen van kabel in één gebied in Nederland (namelijk de Randstad) een risico is, zij het op basis van de huidige inzichten een geaccepteerd en verantwoord. Het gedrag van deze 20 km 380 kV-kabel voor het vermaasde systeem moet eerst grondig worden bestudeerd tot er ervaring is opgedaan in combinatie met gedegen praktijkonderzoek.

Tot het moment waarop dit onderzoek wordt afgesloten en de resultaten bekend zijn, wil TenneT geen extra risico's voor de leveringszekerheid introduceren in het landelijke 380 kV net.. Ten aanzien van de huidige 20 km tracélengte laat internationale ervaring zien dat dit verantwoord kan worden ingepast.

4 De relatie van deze 20 km tracélengte kabel met het Europese netwerk



Nederland is op 380 kV-niveau gekoppeld aan het Europese net. De problematiek van het toepassen van 380 kV-kabels in een vermaasd net speelt zich dan ook af in relatie tot interconnectoren met het buitenland. Deze hoogspanningsverbindingen met het buitenland maken deel uit van het veel groter West-Europees hoogspanningsnet. Ook dit hoogspanningsnet is geheel vermaasd, zoals in bijgevoegd schema zichtbaar is.¹

Verkabeling in Nederland kan ook een grensoverschrijdend effect hebben. Ook omgekeerd geldt dit effect. Met name de grensoverschrijdende reikwijdte van de spanningsresonantie en de

onzekerheid over de mogelijke risico's op spanningsinstabiliteit van 380 kV-kabel zijn nog onbekend. Het effect van de vermaasde netdelen is enigszins te vergelijken met de verspreiding van de golven als een steen die in een vijver wordt gegooid. Dicht bij de steen zullen de golven groter zijn. Verder van de steen verwijderd, dempt het effect redelijk snel weg. Vanuit de theorie is het aantoonbaar dat het introduceren van kabels, met lage impedanties, en bijbehorende compensatiemiddelen de demping van 'de vijver' slechter maakt en de golven verder zullen dragen. Met de introductie van de huidige 20 km tracélengte zitten we op de grens van de wereldwijde ervaring.

TenneT neemt met de 20 km tracélengte grens haar verantwoordelijkheid ten aanzien van de betrouwbaarheid van het Nederlands deel van het internationale hoogspanningsnet. Internationaal zijn afspraken gemaakt om dit netwerk verantwoord binnen de technische grenzen te ontwerpen en te bedrijven. Alle betrokken netbeheerders binnen het Europees netwerk van de UCTE (TSO's) hebben hiervoor een Multi Lateral Agreement (MLA) ondertekend. Onderdeel van deze MLA is het Operational Handbook welke ingaat op wederzijdse verplichtingen om de betrouwbaarheid van het elektriciteitsnetwerk te waarborgen. Een bovengronds netwerk op 380 kV heeft zich bewezen als een betrouwbaar en stabiel netwerk. Alle TSO's hebben hierin hun eigen verplichtingen en verantwoordelijkheid binnen de geldende kaders van de nationale wet- en regelgeving. Wanneer blijkt dat de betrouwbaarheid aantoonbaar in het geding is, kunnen TSO's elkaar onderling aanspreken op hun verplichting om een betrouwbaar netwerk te waarborgen en zal de facto de versturende component (het kabelsysteem) uit bedrijf genomen moeten worden tot er een acceptabele oplossing voorhanden is.

¹ Een uitzondering hierop vormen de verbindingen met Noorwegen en Engeland. Deze interconnectoren kunnen alleen als gelijkstroom zee kabelverbinding uitgevoerd worden.

Met de huidige innovatieve toepassing van kabel in het Randstad 380 kV-project vindt TenneT dat zij haar internationale verplichtingen kan nakomen binnen de samenwerkingsverbanden van TSO's van Europa (UCTE / ENTSO-E).

Samenwerking tussen de partners in dit internationaal transportnetwerk is een continu proces, zowel op het gebied van bedrijfsvoering als toekomstige (grensoverschrijdende) netontwikkeling. Ook onderzoek op dit gebied wordt in CIGRE verband op deze wijze opgepakt.

5 Nader onderzoek en vervolg

TenneT kiest voor een innovatieve toepassing van 380kV-kabel nadrukkelijk gekoppeld aan praktijkonderzoek. Wereldwijd bestaat er immers weinig tot geen ervaring met een toepassing op deze schaal. In samenspraak met de Minister van Economische Zaken heeft TenneT medio 2008 een eerste verkenning laten uitvoeren bij de Technische Universiteit Delft. Een eerste conclusie luidt:

"Ondergrondse aanleg van 380kV tot 20 km in het Nederlandse net lijkt vooralsnog verantwoord; er zijn over 400 kV kabels tot 20km ook ervaringsdata beschikbaar. Een grotere lengte kan leiden tot risico's op vooral systeemtechnisch niveau. De eerste verkennende onderzoeken, door ons (red. TU Delft) uitgevoerd in de afgelopen maanden, bevestigen dit vermoeden. Er zullen in ieder geval compensatiemiddelen moeten worden toegepast. Het is echter nog niet geheel duidelijk hoe compensatiespoelen zich in een vermaasd net zullen gedragen. Monitoren en nader systeemonderzoek in de komende 6 -8 jaar moeten uitwijzen of grotere ondergrondse lengtes verantwoord zijn ten aanzien van spanningsstabiliteit en leveringszekerheid." (Brief TU Delft, 20 nov. 2008 met kenmerk: 2008/23/LvdS)

Het theoretische simulatiemodel zal aan de hand van praktijkgegevens geoptimaliseerd moeten worden. Dit is nodig om de voorspelbaarheid van het systeemgedrag cq. ontstaan van netinstabiliteit beter te voorspellen. Hiervoor zijn enkele jaren nodig.

Vervolgonderzoek TU Delft

TenneT en de TU Delft hebben het vervolgonderzoek als volgt gedefinieerd:

Studie, monitoring en nader systeemonderzoek in de komende 6-8 jaar moeten uitwijzen of grote ondergrondse lengtes in het 380 kV transportnet verantwoord zijn ten aanzien van stabiliteit en leveringszekerheid binnen Nederland.

Dit langlopende onderzoek valt in drie fase uiteen, waarbij de tijdsplanning er op hoofdlijnen als volgt uitziet:

1. In de periode 2009 – 2010 worden modellen van de verschillende componenten voor gecombineerde lijn/kabel circuits achtereenvolgens ontworpen, samengesteld en getest. Tenslotte wordt ook een opzet voor een betrouwbaarheidsanalyse gemaakt.
2. In de periode 2011 – 2012 worden aan gecombineerde lijn/kabel circuits transiënte, dynamische en steady berekeningen uitgevoerd. Ook worden de faalkans en betrouwbaarheid van gecombineerde lijn/kabel circuits met compensatiemiddelen onderworpen aan studie.
3. In de periode 2013 -2018 worden de modellen aan de hand van praktijkgegevens geverifieerd en worden de resultaten berekend.

Ontwikkelingen in internationaal verband

Juist internationaal is er voor de Nederlandse ontwikkelingen op dit gebied veel aandacht. TenneT neemt het voortouw in het daadwerkelijk op grote schaal toepassen van 380 kV-kabel in een vermaasd net. De netbeheerders van landen zoals Denemarken, Duitsland, Japan en Spanje zijn weliswaar al actief met het ontwikkelen van beleid rondom 380 kV-kabel, maar hebben nog geen praktijkervaring opgedaan.

Inmiddels is ook binnen CIGRE² een internationale taskforce opgericht die kennis uitwisselt en alle relevante informatie onderzoekt over het toepassen van 380 kV-kabels.

² CIGRE staat voor INTERNATIONAL COUNCIL ON LARGE ELECTRIC SYSTEMS (www.cigre.org)

Referenties

1. Technical report on the future expansion and undergrounding of the Electricity transmission grid. Summary – april 2008, ELINFRASTRUKTURVALGET
2. www.architectenweb.nl
3. Interne notitie PGEM En&O/MvR/AMvR van 2 februari 1993 (vertrouwelijk)
4. SEO, "Gansch het radarwerk staat stil, de kosten van stroomstoringen", juni 2003
5. SEO, "Verfijning regionale informatie", oktober 2004
6. TenneT TSO B.V., Jaarrekening TenneT 2006
7. TenneT TSO B.V., Capaciteits- en Kwaliteitsplan 2008 – 2014 , Deel I en II, 2008
8. TenneT TSO B.V., Visie 2030, februari 2008
9. TenneT TSO B.V., Presentatie aan VROM, Aspecten Ondergronds - Bovengronds, J. de Moel, 13 maart 2008, R380 08 0149
10. TenneT TSO B.V., Notitie Nettechniek bij verkabeling, bij Randstad380, J. de Moel, 15 april 2008, R380 08 0236
11. TenneT TSO B.V., Notitie TenneT beleid bovengronds/ondergronds, M.A.M.M. van der Meijden, 22 januari 2008, AOR 2008-020
12. TenneT TSO B.V., Brief aan Minister Cramer inzake Interdepartementaal overleg Randstad380 Zuidring, J. de Moel, 21 februari 2008, R380 08 0090
13. Tractebel, "General cost comparison between underground cables and o.h. line systems for h.v. transmission. Report on network reliability aspects of the choice line versus cable for the Randstad380 project", mei 2008
14. Ecofys, "Study on the comparative merits of overhead electricity transmission lines versus underground cables", mei 2008 (vertrouwelijk)

