

Zelfregelende autonome deelnetten

Het verst gaat de situatie waarin delen van het elektriciteitsnet voor hun eigen stroomvoorziening zorgen en minimaal verbonden zijn aan andere netten. Het doel is om de noodzaak, aard en omvang van de koppelingen vast te stellen en de bedrijfsvoering daarvan te analyseren. De taak van deze koppelingen ligt in het actief beheersen, sturen en beveiligen van vermogensstromen en het handhaven van de stabiliteit en de vermogensbalans.

Optimale power quality

Als het gaat om de kwaliteit van de levering en de kwaliteit van de aangeboden spanning, is de interactie tussen het elektriciteitsnet en de aangesloten apparatuur van de klanten van belang. Het doel van het onderzoek is om alle aspecten van de spanningskwaliteit te analyseren en de afstemming te verbeteren tussen de vervuiler van de spanning enerzijds en de netbeheerder, die gerichte maatregelen moet nemen om te voldoen aan de normen, anderzijds. De opzet van een Power Quality testlaboratorium voor distributienetten maakt integraal deel uit van dit project.

Vruchtgebruik

Tien promovendi beslaan met hun vierjarig promotie-onderzoek elk een deel van het onderzoeksprogramma. Samen coveren ze het hele veld waarbij het zwaartepunt ligt op elektriciteitssystemen. Doordat de onderzoekers niet gelijktijdig maar na elkaar van start zijn gegaan, kunnen ze voortbouwen op elkaars resultaten. 'Dankzij de gespreide aanvang kunnen ze optimaal gebruik maken van de methodieken en resultaten die anderen al ontwikkeld en geboekt hebben', aldus Pieter Schavemaker, begeleider van enkele van de Delftse promovendi, 'ze nemen elkaars methodes, simulatiemodellen en denkwijzen over. Ze schrijven bovendien samen papers die ze op congressen presenteren.'

Relevante actuele thema's

De resultaten uit het onderzoek zijn relevant voor beheerders van het transport- en distributienet, voor de toeleverende industrie en voor consultants. Vijftien mensen uit deze doelgroep maken enthousiast deel uit van de begeleidingscommissie. Deze bedrijven zijn niet alleen geïnteresseerd in de wetenschappelijke resultaten die zij kunnen inzetten voor ver-

betering van hun bedrijfsvoering, producten en adviezen. Waardevol voor de toekomst zijn bovendien de jonge mensen die aan de universiteiten met relevante actuele thema's bezig zijn. 'Dat draagt bij aan het voortbestaan van de sector', aldus Kling, 'voor de bedrijven betekent dat instroom van zeer gekwalificeerde mensen.'

Een ander belang is dat de bedrijven met dezelfde thema's bezig zijn. De promovendi houden regelmatig presentaties bij de bedrijven zelf. Zo ontstaat een wisselwerking tussen wetenschappelijke en toegepaste kennis. Niet geheel toevallig komen drie van de promovendi uit de energie-sector zelf.

De universiteiten zelf profiteren eveneens van de het programma. De wetenschappelijke output in de vorm van artikelen en papers is groot. De promovendi moeten daarnaast regelmatig hun bevindingen presenteren aan elkaar, in de eigen vakgroepen, tijdens het driemaandelijkse overleg tussen TU/e en TUD en de begeleidingscommissies. Bovendien trekt het werk studenten aan die hun afstudeerwerk willen doen op het thema intelligente netten.

Spin off

Een van de meest in het oog springende spin off's is de Real Time Digital Simulator (RTDS), die in 2004 bij de TU Delft is geïnstalleerd en eigendom is van de twee TU's tezamen. Dit simulatiesysteem stelt onderzoekers in staat om gebeurtenissen in het elektriciteitsnet na te bootsen en te analyseren. Zonder IOP zou de subsidie voor de RTDS nooit verkregen zijn.

Datzelfde geldt voor andere nieuwe apparatuur die de vakgroepen hebben kunnen aanschaffen, zoals bijvoorbeeld in het Power Quality laboratorium van de TU Eindhoven. Ook het testnet van Nuon in Zuiderveld bij Lelystad is er gekomen dankzij dit programma. De vraag naar de mogelijkheid om modellen en technieken te kunnen uittesten in de praktijk, heeft Nuon ertoe aangezet een testnet te ontwikkelen. Dit testnet is een aangepast bestaand distributienet. Inmiddels maken meerdere onderzoekers daarvan dankbaar gebruik.

De conferentie 'Future Power Systems' van 16-18 november 2005 was ondenkbaar geweest zonder dit IOP-programma. Aan deze internationale conferentie die door de technische universiteiten samen met SenterNovem, is georganiseerd, hebben naast gerenommeerde internationale sprekers ook alle promovendi een bijdrage geleverd.

Wetenschappelijke infrastructuur

Het project bevindt zich bijna halverwege. De eerste promovendus is vier jaar geleden begonnen met zijn promotie-onderzoek. Begin 2006 zal hij promoveren. De tiende promovendus is begin 2005 van start gegaan. Het duurt tot 2009 tot ook zij haar proefschrift heeft afgerond.

Op dat moment is naar verwachting de wetenschappelijke infrastructuur zodanig versterkt dat de vier betrokken vakgroepen zelfstandig met bedrijven aan de slag kunnen. De kennis moet dan zover ontwikkeld zijn dat de TU/e en TUD gerenommeerde partners worden in nationale en Europese onderzoeksprogramma's en dat zelfs profilering als topinstituut in het verschiet komt.

Recentelijk heeft de overheid al enkele EOS-projecten aan de universiteiten toegekend die een relatie hebben met het IOP-werk en die voortbouwen op de kennis die daarin ontwikkeld is.

IOP-EMVT • stimuleert onderzoek naar Elektromagnetische Vermogenstechniek • belangrijk doel is een brug te slaan tussen de kennis van universiteiten en onderzoeksinstituten en het gebruik hiervan door het bedrijfsleven • het programma kent drie thema's • vermogenselektronica • intelligentie in netten • Elektromagnetische Compatibiliteit (EMC) • Meer informatie bij programmacoördinator ir Geert Wessel Boltje, telefoonnummer 070 373 51 20

Juliana van Stolberglaan 3
Postbus 93144
2509 AC Den Haag
Telefoon 070 373 50 00
Telefax 070 373 56 30

Algemene informatie & advies
Telefoon 070 373 52 77
www.senternovem.nl/iopemvt
info@senternovem.nl

in opdracht van



Hoewel deze publicatie met de grootst mogelijke zorg is samengesteld, kan SenterNovem geen enkele aansprakelijkheid aanvaarden voor eventuele fouten. Bij publicaties van SenterNovem die informeren over subsidieregelingen geldt dat de beoordeling van subsidieaanvragen uitsluitend plaatsvindt aan de hand van de officiële publicatie van het besluit in de staatscourant.

SenterNovem

IOP

EMVT

IOP ElektroMagnetische VermogensTechniek

Intelligentie in elektriciteitsnetten

Het elektriciteitsnet is een uitermate complex systeem. De opkomst van decentrale opwekking en de liberalisering van de energievoorziening maken de vraag actueel of de hiërarchisch opgebouwde elektriciteitsnetten in de toekomst nog wel voldoen. Zijn ze in staat om de wisselende situaties te beheersen? Kunnen ze kwaliteit en betrouwbaarheid blijven garanderen? Dit stelt de ontwerpers en beheerders van netten voor fundamentele vragen, waarop wetenschappers van de Technische Universiteit Delft en Eindhoven antwoorden willen vinden.

Het huidige elektriciteitsstelsel bestaat uit grootschalige elektriciteitscentrales die via een steeds verder vertakt transport- en distributienet de afnemers van stroom voorzien. Hiërarchisch opgebouwd en verticaal gestuurd. Massale invoering van decentrale energieopwekkers, zoals (micro)warmtekrachteenheden, windturbines en



TITEL

Intelligentie in elektriciteitsnetten

Projectleider

Prof.ir. W.L. Kling

Penvoerder naar SenterNovem

Prof. ir. L. Van der Sluis

UITVOERDERS

TUD - Electrical Power Systems (EPS)

ir. M. Reza (aio)

ir. G. Papaefthymiou (aio)

ir. J. Verboomen (aio)

dr.ir. P.H. Schavemaker

prof.ir. W.L. Kling

prof.ir. L. van der Sluis

TUD - Electrical Power Processing (EPP)

ir. J. Morren (aio)

ir. S.W.H. de Haan

prof.dr. J.A. Ferreira, M.Sc. eng

TU/e - Electrical Power Systems (EPS)

ir. A. Ischenko (aio)

ir. F. Provoost (aio)

ir. J.F.G. Cobben (aio)

ir. C. Rong (aio)

ir. R. de Graaff (aio)

dr.ir. J.M.A. Myrzik

prof.ir. W.L. Kling

TU/e - Control Systems (CS)

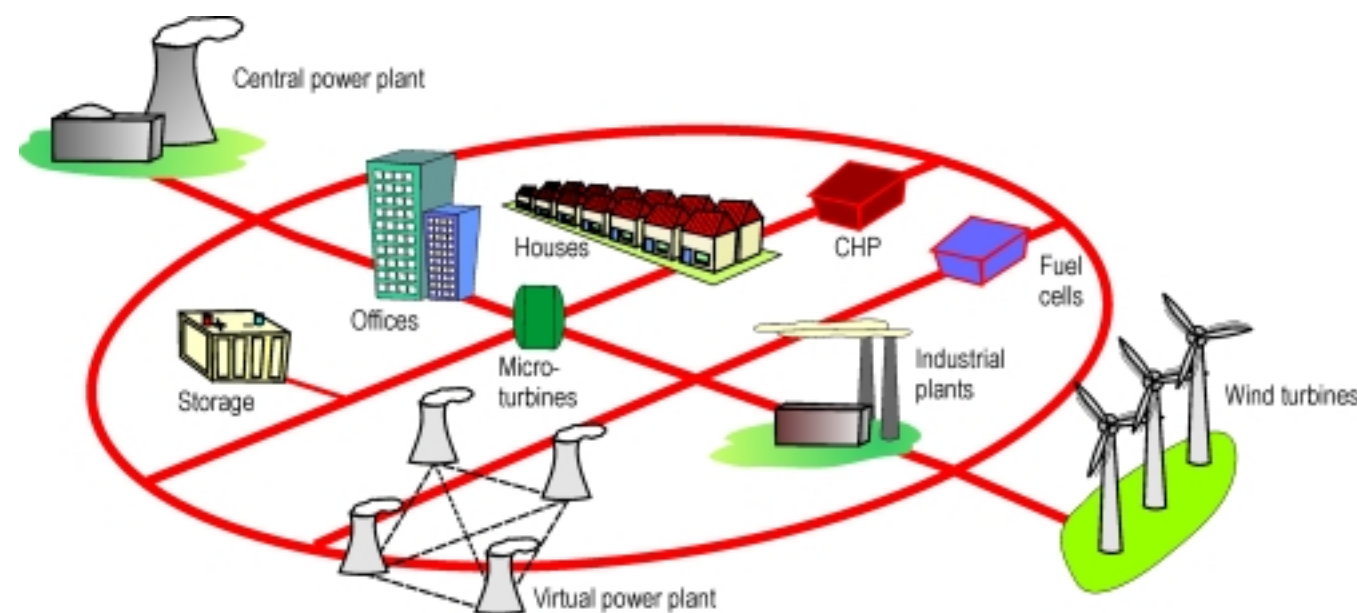
ir. A. Jokic (aio)

dr.ir. A.A.H. Damen

prof.dr.ir. P.P.J. van den Bosch

ONDERZOEKSPERIODE

Voorjaar 2002 tot medio 2009



Future Power System

zonnecellen, stelt andere eisen aan het elektriciteitsnet: horizontaal opgebouwd, lokaal gestuurd en geschikt voor fluctuerend tweerichtingsverkeer. De netten moeten meer intelligentie bevatten. Dat betekent meer autonome, zelfregelende netten die adaptief reageren om continu de balans tussen vraag en aanbod te handhaven en die in staat zijn om storingen adequaat af te handelen.

De huidige hiërarchische regel- en stuurmechanismen moeten worden beoordeeld op hun effectiviteit in veranderende omstandigheden. Het is van belang nieuwe controls te ontwikkelen in samenhang met beheersbare distributienetten of zelfvoorzienende autonome netwerken. Dit impliceert een andere manier van bedrijven van die distributienetten. Deze ontwikkelingen kunnen ertoe leiden dat delen van het transportnet 'leeg' raken doordat het merendeel van de elektriciteit in het actieve distributienet wordt opgewekt, terwijl het overige deel verder weg in andere systemen wordt gegenereerd.

Verbonden maar onafhankelijk

Tegen deze achtergrond is het project 'Intelligentie in elektriciteitsnetten' van start gegaan. Het uiteindelijke doel is om de toekomstige energievoorziening robuuster te maken en beter in staat om te voldoen aan de groeiende behoefte aan flexibiliteit en stuurbaarheid. 'De centrale vraag is of je netten kunt ontwerpen die wel aan elkaar hangen maar niet van elkaar afhankelijk zijn', aldus Wil Kling, projectleider van het programma. 'Blijft de stabiliteit gegarandeerd? Dreigt geen overbelasting? Beheersen we spanningshuishouding? Zit de spanningskwaliteit binnen de normen? Is de vermogensbalans en daarmee de frequentie te allen tijde in orde? Op die vragen moet je antwoord krijgen. Dat is wetenschappelijk gezien al fundamenteel genoeg.' Daartoe ontwikkelen promovendi en wetenschappers van de TU Delft en TU Eindhoven bedrijfsvoering- en ontwerpfilosofieën, simulatiemodellen, regelalgoritmen en intelligente interfaces. Met tien promovendi is dit onderzoek één van de grootste programma's van het IOP-EMVT.

De onderzoekers concentreren zich op vier

samenhangende kwesties:

- Inherent stabiele transportnetten
- Beheersbare distributienetten
- Zelfregelende autonome systemen
- Optimale power quality.

Inherent stabiele transportnetten

Dit project poogt inzicht te krijgen in wijzigende functionaliteit van de hoogspanningsnetten. Ook het ontwikkelen van strategieën en regelmethodeken voor het bewaken, besturen en beveiligen van die netten behoort tot dit thema. Het onderzoek richt zich bijvoorbeeld op de gevolgen van meer ongecontroleerde decentrale opwekking op het transportnet, in termen van stabiliteit en dynamisch gedrag. Hiermee samenhangend dringt zich de vraag op wat de consequenties zijn van de afname van het aantal grootschalige conventionele opwekkers. De onderzoekers zoeken naar oplossingen in de vorm van het regelen van de centrale en decentrale opwekking, het toepassen van vermogenselektronische of conventionele interfaces en het continu monitoren van de stabiliteit en gericht ingrijpen in het systeem. Uiteindelijk gaat het om het vinden van een optimum tussen betrouwbaarheid, bestuurbareheid en economie.

Beheersbare distributienetten

Ook in een omgeving met veel decentrale opwekeenheden moeten distributienetten betrouwbaar zijn. Het is daarom zaak technologieën en strategieën te ontwikkelen om de distributienetten en onderdelen daarvan in verschillende modi te laten werken. Deze moeten de bedrijfsvoering en robuustheid van het totale systeem ondersteunen. Daarbij is met name de kwaliteit van de levering en spanning van belang. Lokale opwekkers zijn mogelijk in staat om zelfstandig de spanning te beheersen, de vermogensstromen te beïnvloeden en de kortsluitstromen te beperken. Het project onderzoekt bijvoorbeeld de vraag welke eigenschappen de vermogenselektronische interfaces moeten hebben. Daarnaast wordt gekeken naar de stabiliteit in het distributienet en de gevolgen van het stochastisch gedrag van de decentrale opwekkers voor de spanningskwaliteit.

Promovendi en hun promotiewerk

Muhamad Reza onderzoekt de gevolgen van toenemende decentrale opwekking op de stabiliteit van het systeem. Hij zoekt naar indicatoren die uitwijzen of de stabiliteit van het transportnet in gevaar komt wanneer deze het karakter krijgt van een minder actief, 'leeg' net. Het gaat dan met name om het transiënte stabiliteitsgedrag door de inzet van vermogensomzetters als interface tussen decentrale opwekking en het elektriciteitsnet. Een van de indicatoren is de tijd dat het duurt voordat het transportnet instabiel wordt na een verstoring. Uit de berekeningen blijkt dat de mate van decentrale opwekking aanzienlijk moet zijn wil het net instabiel raken. Zijn onderzoek is van direct belang voor TenneT, de overheid en indirect voor de toepassers van decentrale opwekking.

George Papaefthymiou onderzoekt de gevolgen van het stochastische, onzekere karakter van de vermogenstransporten in de distributienetten. Het getransporteerde vermogen fluctueert door het wisselende aanbod van decentrale opwekkers en door schommelingen in de vraag. Zijn probabilistische methodologie heeft hij toegepast op een betrouwbaarheidsanalyse van een distributienet waarop veel windenergie wordt ingevoerd. Ook heeft hij een risicoanalyse uitgevoerd voor spanningsregeling door windturbines. Het resultaat van zijn analyses is een waarschijnlijkheidsverdeling van de vermogensstromen en spanning. Zijn onderzoek is van belang voor de planners van distributienetten en indirect voor de toepassers van decentrale opwekking.

Johan Morren richt zich op intelligente interfaces tussen decentrale opwekeenheden en het net. Deze vermogensomzetters zorgen er actief voor dat spanning en frequentie op peil blijven. Een voorbeeld is een vermogenselektronische omzetter die ervoor zorgt dat windturbines door blijven draaien als in het elektriciteitsnet kortsluiting optreedt (de zogeheten fault-ride-through mogelijkheid). Ook heeft hij onderzocht of een extra regeling op een windturbine het mogelijk maakt deze meer vermogen te laten leveren op het moment dat de frequentie daalt. Dit onderzoek is van belang voor distributienetbeheerders en fabrikanten van omzetters.

Anton Ischenko onderzoekt de invloed van decentrale opwekkers op de stabiliteit van het distributienet. Tot nu richt stabiliteitsonderzoek zich vooral op transportnetten. Beveiliging en stabiliteitscontrole van het distributienetwerk moeten snel, selectief en betrouwbaar werken in geval van nood. Daartoe moeten nieuwe algoritmen, aanbevelingen voor aangepaste beveiligingen, ontwerprichtlijnen en stabiliteitscontroles ontwikkeld worden. De nadruk van zijn werk ligt op het ontwikkelen van dynamische analysemodellen. Distributienetbeheerders, software ontwikkelaars en consultants zijn in de uitkomsten geïnteresseerd.

Frans Provoost ontwikkelt kennis en inzicht in zelfsturende en zelfregelende distributienetten. Zonder maatregelen zal fluctuerende opwekking leiden tot fluctuerende spanning. Onderzocht wordt hoe die fluctuaties in een normale situatie opgevangen kunnen worden en welke gevolgen dat heeft voor de bedrijfsvoering van het net. Bij gestoorde netsituaties ligt de nadruk op het beperken van de gevolgen van kortsluitingen en het snel opsporen en verhelpen van storingen. Hij onderzoekt of de koppelfunctie continu in stand moet blijven of dat koppelingen alleen aangebracht moeten worden als het noodzakelijk is. De hypothese is dat netkoppelingen vervangen moeten worden door een intelligente variant. Distributiebedrijven en fabrikanten van apparatuur hebben baat bij dit onderzoek. Andrej Jokic onderzoekt de sturing van marktpartijen om de balans tussen vraag en antwoord te handhaven in een autonoom elektriciteitsnetwerk. Hij probeert een optimale verdeling van opwekking en reservevermogen te vinden. Een tweede belangrijk item is de integratie van zelfregelende autonome netten in een spotmarkt. Jokic beschouwt op wiskundige wijze energiemarkten en autonome netwerken als dynamische systemen. Hij kijkt naar de problemen die daaruit voortvloeien en onderzoekt mogelijke oplossingen. Dit onderzoek is van belang voor de APX, elektriciteitsproducenten en TenneT.

Sjef Cobben onderzoekt de kwaliteitsaspecten van de spanning in distributienetten en de relatie met de apparatuur die daarop is aangesloten. Voor dips, harmonischen en flicker is een uitgebreid classificatiemodel ontwikkeld.

Aan de hand van dit model beoordeelt hij bijvoorbeeld het aantal dips dat toelaatbaar is. Verder beoordeelt hij de afstemming tussen de randvoorwaarden in de netcode en de normen voor toestellen en installaties. Ten slotte kijkt hij naar de invloed van decentrale opwekkers op de spanningskwaliteit. Zijn werk is relevant voor distributiebedrijven en fabrikanten van apparatuur.

Jody Verboomen houdt zich bezig met het gedrag van phaseshifters in het net. Hij heeft een theorie ontwikkeld om de invloed van deze faseverschuivers op de stabiliteit te voorspellen. De Real Time Digital Simulator heeft de juistheid van de theorie aangetoond. Bovendien berekent hij de transfercapaciteit van de Benelux voor verschillende settings van de phaseshifters. Dit thema is van belang van TenneT die aan de Duitse grens in Meeden twee dwarsregeltransformatoren heeft staan. In de toekomst plaatst Elia nog drie van deze phaseshifters in België. De vraag is hoe deze faseverschuivers op gecoördineerde wijze bedreven moeten worden teneinde de vermogensstromen optimaal te kunnen sturen. Behalve voor TenneT is dit onderwerp van belang voor fabrikanten en consultants.

Roald de Graaff kijkt naar de toepassing van vermogenselektronica in distributienetten, zoals de koppeling van netdelen via vermogenselektronische interfaces op basis van gelijkspanning. Vermogenselektronische koppelingen kunnen vermogensstromen actief beheersen, sturen en beveiligen. Het doel is om de functionaliteit van deze koppelingen te definiëren en de bedrijfsvoering ervan te analyseren. Dit onderzoek is van belang voor netbeheerders, consultants en fabrikanten.

Cai Rong richt zich vooral op het meten van spanningskwaliteit in het Power Quality laboratorium. Zij richt zich op de definitie van verschillende kwaliteitsaspecten en hun afhankelijkheden. Verder houdt ze zich bezig met de vraag in hoeverre decentrale energiebronnen invloed hebben op de kwaliteit van de spanning. Het gedrag van inverters in een vervuild net is zo'n kwestie waarin fabrikanten van apparatuur en netbeheerders zeer geïnteresseerd zijn.