

Titel

Power Quality in Control

Projectnummer

1407402

Programmalijn

Het project valt onder programmalijn 4 = flexibilisering van de infrastructuur

Projectperiode

15-03-2018 t/m 15-03-2019

Deelnemers

Synergie Consulting (penvoerder)

Alliander

DNV GL

Kenter

TU/e

Het project is uitgevoerd met TKI toeslag subsidie van het Ministerie van Economische Zaken voor TKI Urban Energy, Topsector Energie.

www.tki-urbanenergy.nl

Dit document of verdere informatie is op te vragen via:

Marcel.Eijgelaar@dnvgl.com

Tim.Joosten@Qirion.nl

0. OPENBARE SAMENVATTING

Aanleiding

Power Quality—de kwaliteit van stroom en spanning—is van essentieel belang voor de continuïteit van de bedrijfsvoering en de betrouwbaarheid van elektriciteitsnetten en processen bij eindgebruikers. Door technische ontwikkelingen van apparaten van eindgebruikers en de opmars van decentrale opwek zoals zonnepanelen en windturbines wordt Power Quality sterk beïnvloedt.

Doel van het project

Het ontwikkelen van nieuwe Power Quality ondersteunende diensten—inclusief (systeem-)technische randvoorwaarden—van eindgebruikers aan de netbeheerder door intelligente vermogens-elektronica binnen het USEF raamwerk. Hierdoor ontstaat een nieuwe markt voor eerdere ontwikkelingen op PQ gebied en wordt de energietransitie naar een duurzaam, betrouwbaar en betaalbaar energiesysteem in gebouwde omgeving gefaciliteerd.

Korte omschrijving van de activiteiten

Het project omvat globaal 2 verschillende activiteiten:

- Technische- en systeemeisen van de dienst
- Ontwerp van processen en protocollen voor de interactie tussen de netbeheerder en de leverancier van de PQ dienst binnen USEF.

De dienst is getest en gedemonstreerd in een kleinschalige implementatie in Friesland, welke een snelle groei van decentrale opwek kent. Onder de huidige omstandigheden en reguleringseisen kan dit niet zonder forse netinvesteringen.

Resultaat (beoogd)

Ontwikkelde, geteste en door de eindgebruiker(s) en netbeheerder(s) geaccepteerde Power Quality ondersteunende dienst(en), inclusief bijbehorende organisatorische en technische condities en randvoorwaarden.

Conclusies

Tijdens het project is—binnen het spectrum van power quality—voornamelijk gekeken naar langzame over- en onderspanning, veroorzaakt door invoeding van lokale opwek, met name PV installaties. Dit naar aanleiding van concrete capaciteitsproblemen in het netwerk in Friesland. Daarnaast is gekeken naar de recente richtlijn Requirements for Generators (RfG) en de implementatie hiervan in de Nederlandse netcode, waarin de verplichting is opgenomen dat opwekinstallaties de mogelijkheid moeten hebben om reactief vermogen te leveren om spanningsproblemen in het netwerk te vermijden.

Op een pilot locatie in Friesland is een succesvolle test gedraaid en is een autonome spanningsregeling toegepast in de installatie van de opwekker. Deze autonome spanningsregeling kan in veel gevallen een geschikt middel zijn om het net beter uit te nutten en meer lokale opwek in het netwerk aan te sluiten. Verder onderzoek bij andere cases heeft aangetoond dat de techniek vaak toepasbaar is, maar dat dit per case bekeken moet worden.

De autonome spanningsregeling wordt al meerdere jaren toegepast in opwekinstallaties (met name in Duitsland), hierdoor is de apparatuur die toegepast wordt in opwekinstallaties vaak standaard uitgerust met deze mogelijkheid. Het toepassen van deze regeling is een kwestie van configureren en vraagt geen extra investeringen voor de opwekinstallatie. Een ander aantrekkelijk punt van de regeling is dat deze autonoom regelt. Er is geen telecom verbinding nodig tussen netbeheerder en decentrale opwek.

Aanbevelingen

Niet in alle gevallen kunnen knelpunten met de autonome spanningsregeling opgelost worden. Aan de hand van een stroomdiagram speciaal ontwikkeld voor de netbeheerder wordt toegelicht in welke situaties de autonome spanningsregeling zinvol toegepast kan worden.

De autonome spanningsregeling grijpt in op de hoeveelheid reactief vermogen dat door de opwekker wordt opgenomen. Als de hoeveelheid reactief vermogen een substantiële omvang krijgt, kan dat leiden tot ongewenste regelacties van de spanning-regelende transformator. In dit rapport is voor de regio Friesland per transformator onderzocht wat de ruimte is die door de autonome spanningsregeling benut kan worden. Deze ruimte kan toebedeeld worden aan de zonneparken die achter eenzelfde transformator gebruik kunnen maken van de autonome spanningsregeling.

De wijze van implementatie in regelgeving van deze manier van netondersteuning is onderwerp van discussie tussen de verschillende partijen. In het rapport staan een aantal varianten beschreven waarop de regeling in de regelgeving kan worden geïmplementeerd. Het is aan de netbeheerder en marktpartijen om een besluit te nemen welke variant de voorkeur heeft.

Inhoudsopgave

0. OPENBARE SAMENVATTING	2
1. PROJECT PQ IN CONTROL	5
1.1. INLEIDING	5
1.2. DOELSTELLING	6
1.3. WERKWIJZE	6
1.4. RESULTATEN, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.....	6
2. UITVOERING VAN HET PROJECT	16
2.1. TECHNISCHE EN ORGANISATORISCHE PROBLEMEN	16
2.2. WIJZIGINGEN TEN OPZICHTE VAN PROJECTPLAN	17
2.3. KENNISVERSPREIDING EN PUBLIC RELATIONS	17

1. PROJECT PQ IN CONTROL

1.1. Inleiding

De omschakeling naar meer duurzame elektriciteitsproductie in de energietransitie betekent een grote toename van net-gekoppelde vermogens-elektronica (PE, wat staat voor power electronics) in het elektriciteitssysteem. Dit zijn met name inverters van duurzame opwek, zoals PV panelen en wind turbines, maar bijvoorbeeld ook inverters voor het op- en ontladen van batterijen van onder meer elektrisch vervoer.

Deze vermogenselektronica kan netvervuiling veroorzaken, wat wil zeggen dat ze de spanningskwaliteit en/of de blindstroom huishouding verstoort (samengevat in de term PQ, wat staat voor Power Quality). In enkele gebieden met een hoge penetratie van duurzame opwek is de spanningshuishouding al een probleem. Hierdoor kan de realisatie van met name PV installaties op midden-spanningsniveau met extra hoge kosten worden geconfronteerd, wat zelfs tot annulering van het project kan leiden.

Dat Power Quality een belangrijk aspect is binnen de energietransitie wordt geïllustreerd door de vele projecten die op dit vlak hebben gelopen en nog lopen, met name op technisch vlak. Voor het operationaliseren van de kennis en ervaring opgedaan in deze projecten, is samenwerking nodig tussen de netwerkbeheerder en de eigenaar van de vermogenselektronica die deze problemen kan helpen oplossen. Het doel van dit project is om hiervoor (ancillary) diensten te ontwikkelen die dit—op basis van het USEF raamwerk—mogelijk maken.

De meeste vermogenselektronica, met name vermogenselektronica voor grotere installaties, is configureerbaar/programmeerbaar en kan worden ingezet om de Power Quality in het netwerk te verhogen. Het project beoogt om deze functionaliteit te vangen in netwerk-ondersteunende diensten (ancillary services), die de distributie netbeheer—net als flexibiliteit t.b.v. capaciteitsmanagement—binnen USEF kan inkopen. Een alternatief is dat deze functionaliteit via de netcode verplicht wordt gesteld aan opwekinstallaties.

Grootverbruikers (>3*80A) moeten voldoen aan de normen die gelden voor het verstoren van de Power Quality. Deze normen (en tarieven voor blindvermogen) gelden voor individuele aansluitingen en bieden (nog) géén mogelijkheid tot actieve aansturing vanuit de netbeheerder. Eindgebruikers die niet voldoen aan deze normen kunnen hierop door de netbeheerder worden aangesproken en zullen maatregelen moeten treffen om aan de normen te voldoen, of worden slechts tegen hoge kosten aangesloten. Indien alle individuele eindgebruikers voldoen aan de normen, maar de Power Quality gezamenlijk toch buiten de normen valt, zal de netbeheerder moeten investeren, wat uiteindelijk leidt tot hogere netwerkkosten (en uiteindelijk tot aanscherping van de normen voor duurzame opwek).

Met de ontwikkeling van USEF krijgen netbeheerders toegang tot flexibiliteit in vraag en aanbod van elektriciteit van eindgebruikers, en worden investeringen in, en operatie van de netwerken op een elegante en niet-discriminatoire wijze meegenomen in de optimalisatie van de energiemarkt (zie: www.USEF.energy).

De eerdere beschreven diensten van eindgebruikers ter ondersteuning van de spanningskwaliteit als dienst aan de netbeheerder passen goed in het USEF-raamwerk en zullen het raamwerk verder versterken. De opname van PQ-ondersteuning biedt, naast het aanscherpen van de normen en regelgeving (zoals bijvoorbeeld al is gebeurd in de Duitse Directive VDE AR-N-4105), meer mogelijkheden tot gezamenlijke optimalisatie tussen de netbeheerder en zijn klanten, en daarmee een optimalere inpassing van duurzame decentrale opwek en flexibele componenten.

1.2. Doelstelling

De doelstelling van het project is het onderzoeken en ontwikkelen van (een aantal) Power Quality ondersteunende diensten van eindgebruikers aan de netbeheerder door intelligente vermogens-elektronica binnen het USEF-raamwerk.

In dit project is ontwikkeld en onderzocht:

- De technische mogelijkheden van vermogenselektronica ten behoeve van PQ-ondersteuning, inclusief risico's op systeemniveau (met name het gebruik van blindstroom van vermogenselektronica van derden voor de spanningshuishouding in het netwerk);
- De economische, juridische en organisatorische mogelijkheden, zoals het ontwikkelen van PQ-producten voor netondersteuning of implementatie in de netcode, inclusief de bijbehorende processen voor het inkopen en activatie hiervan door de netbeheerder;
- De beste wijze van aansturen: gedecentraliseerd en automatisch in de omvormers of gecentraliseerde park aansturing vanuit een micro-grid controller.

Bovenstaande elementen zijn in een kleine pilot bij een eindgebruiker met een MS-aansluiting getoetst, en de effecten zijn op verschillende meetpunten in het omringende net gemonitord.

1.3. Werkwijze

Het project is conform de Prince2 methodiek uitgevoerd. Er is maandelijks gerapporteerd op financiën, tijd, kwaliteit, risico's en issues. De faseovergangen zijn gemanaged conform formele GO – NO GO momenten.

Definitiefase

Aan het begin van de definitiefase is er een kick-off georganiseerd van het project met daarbij alle betrokken partijen. De Netbeheerder is gestart met het inventariseren van de kaders en uitgangspunten voor het ontwikkelen van de PQ-diensten. De Meetverantwoordelijke is gestart met de eisen aan PQ-meetinrichtingen en contact te leggen met de leveranciers voor de inkoop van de PQ-meetinrichtingen. Resultaat van deze fase is dat alle voorbereidingen afgerond zijn om te starten met de uitvoeringsfase.

Uitvoeringsfase

Er is theoretisch raamwerk uitgewerkt om de haalbaarheid vast te stellen. Op basis hiervan zijn lab-tests gedaan om de consequenties van het raamwerk te onderzoeken en is een locatie geselecteerd om het raamwerk in de praktijk te toetsen. De resultaten zijn geanalyseerd en er zijn conclusies en aanbevelingen opgesteld.

Evaluatiefase en disseminatie

In de evaluatiefase is het project en de samenwerking geëvalueerd. De leerpunten en de resultaten van het project zijn gedeeld met de stakeholders, en er is een kennissessie georganiseerd met relevante partijen, waaronder Holland Solar en verschillende netbeheerders, waarin de resultaten zijn gepresenteerd.

1.4. Resultaten, Conclusies en Aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de resultaten, conclusies en aanbevelingen voor de onderstaande deliverables beschreven:

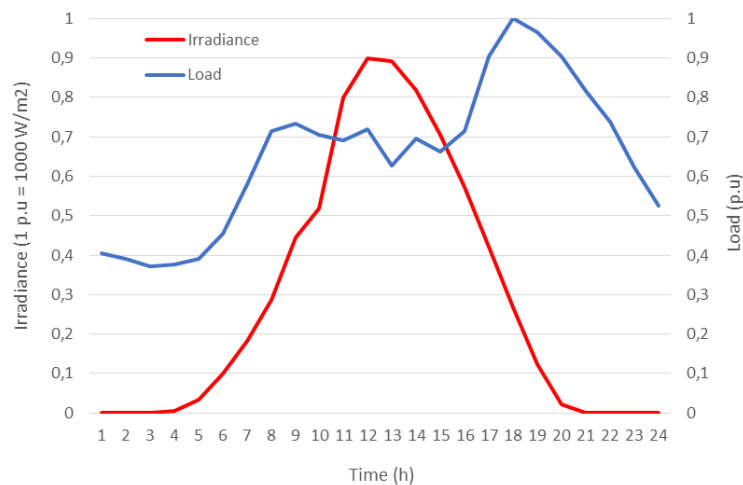
- Theoretisch raamwerk - TU/e
- Resultaten in de praktijk - Alliander
- Effect op het Liander net - Alliander
- Resultaten labtesten - DNV GL
- Wet- en regelgeving spanningsregeling - Alliander / DNV GL
- Validatie en verificatie spanningsregeling - Kenter

Theoretisch framework - TU/e

Beschrijving

De distributienetwerkeexploitanten zijn verantwoordelijk voor het waarborgen van de voedingskwaliteit volgens de voorschriften en gebruiksvereisten. Traditionele distributiesystemen worden ontworpen en gebruikt onder de aanname dat er unidirectionele vermogensstroming plaats vindt, d.w.z. met stroom die van het verdeelstation naar de klant loopt. Echter, met de toename van gedistribueerde opwekkingseenheden (gekenmerkt door niet-uitschakelbare en met een intermitterend generatieprofiel), moet de manier waarop de distributienetwerken opereren opnieuw worden bekeken.

De markt voor zonne-energie voor zonne-energie groeit snel en ongeveer 78% van de PV-generatie wordt nu aan het net geleverd. PV-opwekking wordt gekenmerkt als een intermitterende energiebron, omdat deze grotendeels afhankelijk is van de weersomstandigheden. De typische Nederlandse profielen van verbruik en bestralingssterkte zijn weergegeven in Figuur 1. Tijdens periodes met een hoge bestralingssterkte (en dus een hoge PV-generatie) en een laag verbruik kan een omgekeerde vermogensstroming optreden vanaf het uiteinde van de feeder naar de transformator. Deze gebeurtenissen met omgekeerde vermogensstromen kunnen resulteren in een toename van de vermogensverliezen, problemen met de overbelasting van de transformator en overspanning. In dit opzicht specificeert Europese regelgeving (in het bijzonder de norm EN 50160) dat de 10-minuten RMS-spanningswaarden op het aansluitpunt (POC) van het PV-systeem met het distributienetwerk tussen 0,9 p.u. en 1.1 p.u. van de nominale spanning gedurende 95% van de tijd. Deze norm bepaalt ook dat wanneer de spanning de nominale waarde overschrijdt, deze gebeurtenis wordt beschouwd als spanningsstijging en als de spanning groter is dan 1,1 p.u., moet dit worden gedefinieerd als een overspanningsgebeurtenis.



Figuur 1. Een typisch profiel van belastingen en instralingsniveaus in Nederland. Wanneer de PV-generatie groter is dan het belastingverbruik, kan er in sommige delen van het distributienetwerk de vermogensstroom van richting veranderen, wat leidt tot overbelastings- en / of overspanningsgebeurtenissen van de transformator.

Volgens het International Energy Agency (IEA) zijn spanningsstijging en overspanning twee van de belangrijkste problemen bij de werking van PV-systemen in distributienetwerken en daarom zijn ze een van de belangrijkste redenen om de grote integratie ervan te beperken. Een effectieve besturingsmethode is dus essentieel om overspanningsproblemen te verminderen en de actieve vermogensoutputs van PV-systemen te maximaliseren. Er zijn meerdere strategieën beschikbaar om om te gaan met de overspanningsgebeurtenissen veroorzaakt door een grote inzet van PV-systemen, inclusief versterking van het netwerk, bijvoorbeeld door de geleiderdiameter van de infrastructuur te vergroten (waardoor de impedantie wordt verkleind) of door de installatie van nieuwe apparatuur te overwegen, zoals spanningsregelaars, schakelende condensatoren en OLTC-transformatoren (On Line Tap Changer). Hoewel effectief, vereisen deze strategieën een grote investering door de netbeheerder. Bovendien is het niet bekend of deze apparatuur in staat zal zijn om te reageren op de snelle verandering in de spanning. Andere strategieën hebben betrekking op de regeling van de actieve en reactieve vermogensinjectie

van de PV-systemen. Deze besturingsstrategieën zijn gebaseerd op de algemene kennis van de werking van distributiesystemen, waarbij in het geval van spanningsstijging, actieve vermogensinjectie kan worden verminderd (of alternatief kan reactieve vermogensabsorptie worden verhoogd). Het belangrijkste voordeel van deze strategieën is dat ze lokaal kunnen worden geïmplementeerd (ingebed in het besturingssysteem van de omvormer), waardoor er minder behoefte is aan nieuwe communicatie- en besturingsinfrastructuur.

Conclusies

Op basis van de resultaten in dit rapport en de geleverde technische bevindingen, kan worden geconcludeerd dat gecoördineerde APC-RPC de overspanningsgebeurtenissen in het distributiesysteem als gevolg van de werking van PV-systemen effectief kan oplossen, terwijl de totale vereiste hoeveelheid actief vermogen gereduceerd wordt. APC en RPI kunnen op zichzelf ook spanningsondersteuning bieden, maar met enkele (technische) beperkingen. Er moet meer onderzoek worden gedaan om deze strategieën in een echte omgeving te testen en hun prestaties te testen onder snel veranderende operationele omstandigheden.

Aanbevelingen

Enkele technische aanbevelingen op basis van de resultaten van dit onderzoeksproject zijn als volgt:

- Omdat gecoördineerd APC en RPC efficiënt zijn gebleken om het overspanningsprobleem op te lossen, moet de netbeheerder een kader voor vergoeding van reactief vermogen ontwikkelen om eigenaars van PV-omvormers aan te moedigen reactief vermogen te absorberen / injecteren.
- Er moet een eenvoudige procedure / methodologie worden ontwikkeld om de besturingsparameters (V_{thQ} , V_{thP}) van de gecoördineerde APC-RPC correct te definiëren om succesvol minimale vermogensvermindering en maximale spanningsregulatiemogelijkheden te garanderen.
- Er moet meer onderzoek worden gedaan om de ongelijke actieve vermogensregeling tussen alle PV-omvormers aan te pakken, om de impact op de bezoldiging van de eigenaar van de PV-omvormers te verminderen.
- Er moet meer onderzoek worden gedaan om de impact van de lokale besturing van de PV-omvormer op de werking van OLTC-transformatoren en (indien aanwezig) spanningsregelaars en schakingscondensatorbanken te beoordelen.
- Er moet meer onderzoek (laboratoriumtest) worden uitgevoerd om de tijdsvertraging tussen het overspanningsprobleem en de respons van de vermogensregeling van de PV-omvormer vast te stellen, vooral als de overspanningsgebeurtenis verschijnt aan de secundaire zijde van de distributietransformator.

Resultaten in de praktijk - Alliander

Beschrijving

Dankzij de SDE+ subsidies komen er veel aanvragen voor netaansluitingen voor zonneparken bij Liander binnen. Op een aantal plekken bieden de distributienetten echter geen ruimte voor extra invoerders van energie. In Friesland zijn meestal de spanningsnormen de beperkende factor. Een mogelijke oplossing is het verzwaren van de netten. Nadeel is dat dit vaak leidt tot hoge investeringskosten voor de netbeheerder en geregeld ook tot een langere doorlooptijd dan de voorgeschreven aansluittermijn. Een eigenaar van een zonnepark wordt dan geconfronteerd met een transportbeperking totdat het achterliggende net uitgebreid is.

Een alternatieve oplossing is het gebruiken van de technische mogelijkheden die zijn ingebouwd in omvormers van zonneparken om de lokale netspanning te ondersteunen. Technisch gezien is het dus niet altijd noodzakelijk om het net uit te breiden mits het zonnepark zijn omvormerinstellingen aanpast aan de lokale netbeperkingen. In Nederland worden de mogelijkheden die omvormers bieden maar beperkt ingezet ten behoeve van de netbeheerder. Daarom heeft Liander bij een zonnepark in Friesland met een vermogen van 3,4 MW met succes een pilot uitgevoerd, waardoor een netverzwaring van €1,2 miljoen is uitgesteld.

Door het opwekken van zonne-energie zou de netspanning verhoogd worden tot boven de norm. Door een spanningsregeling toe te passen bij het zonnepark blijft de netspanning nu wel binnen de norm en is de netverzwaring niet nodig. In samenspraak met de eigenaar is de spanningsregeling ontworpen en door de parkbouwer met succes in het zonnepark geïnstalleerd. De kosten voor deze regeling zijn slechts enkele tienduizenden euro's, voor de vooraf uitgevoerde studie, een extra power quality meter en het instellen van de gewenste regeling in de lokale aansturing van het park.

De verhoogde netspanning wordt veroorzaakt door het invoeden van het reële vermogen van het zonnepark, wat nodig is om de verkoopbare energie te transporteren. Door daarnaast blindvermogen op te nemen, wordt de spanningsstijging (gedeeltelijk) gecompenseerd. In de spanningsregeling is gebruik gemaakt van beide effecten. Als de lokale netspanning te hoog dreigt te worden zal het zonnepark namelijk blindvermogen gaan opnemen totdat de grenswaarde voor het zonnepark is bereikt. Als de spanning dan nog verder stijgt, zal ook het reële vermogen terug geregeld worden. Dit gebeurt doordat de stringomvormers in het zonnepark op basis van een lokale te hoge spanning in het zonnepark zichzelf uitschakelen.

Voordelen van deze spanningsregeling zijn:

- De spanningsregeling werkt autonoom door op basis van de lokale netspanning in het inkoopstation het vermogen van het zonnepark te sturen. Hierdoor is er geen centrale aansturing vanuit de netbeheerder nodig.
- Het opnemen van blindvermogen gaat niet of nauwelijks ten koste van de energieproductie en daarmee de inkomsten van de eigenaar van het zonnepark.
- Tijdens normaal (n-1 veilig) netbedrijf zal bijna altijd het extra blindvermogen in staat zijn om de netspanning binnen de norm te houden.
- Met de parkontwikkelaar is vooralsnog geen financiële compensatieregeling afgesproken, gezien het verwachte nadeel voor deze ontwikkelaar lager ligt dan het voordeel van het op tijd aangesloten worden zonder transportbeperking.

Conclusies

- Met een spanningsregeling is een transportbeperking voorkomen
- Met een spanningsregeling zijn netkosten uitgespaard
- Eigenaar van het zonnepark was bereid een spanningsregeling te implementeren
- Door een spanningsregeling is er meer duurzame energie opgewekt
- Simulaties en veldmetingen zijn niet gelijk, bijstelling was noodzakelijk

Aanbevelingen

Aandachtspunten bij deze spanningsregeling zijn:

- Tijdens storing of onderhoud van het elektriciteitsnet kan de spanning zover oplopen dat ook het werkelijke vermogen van het zonnepark door de spanningsregeling wordt afgeregeld. Hierdoor zal de eigenaar van het zonnepark een klein deel van zijn energieproductie mislopen. De verwachting is dat dit slechts om een klein aandeel van de totale productie gaat, omdat dit zich alleen voordoet in de uitzonderlijke situatie dat

zowel het net verschakeld is, het zonnepark veel zonne-instraling ontvangt en de lokale energievraag laag is.

- Het opnemen van blindvermogen leidt wel tot een verhoging van de stromen in het elektriciteitsnet, maar daar is in dit net voldoende netcapaciteit voor beschikbaar.
- Als er meer gelijktijdige opwekkers zonder spanningsregeling in dit netdeel aangesloten worden, zal de spanningsregeling vaker aangesproken worden. Het wordt dan wel nodig om de zonnepark eigenaar te compenseren of het net uit te breiden.

Effect op het Liander net - Alliander

Beschrijving

Als 'Distribution System Operator' (DSO) is Liander volop betrokken bij de energietransitie in Nederland. Dat deze transitie nu echt gestalte krijgt is duidelijk te merken aan het stijgende aantal aanvragen voor het realiseren van aansluitingen voor duurzame opwek. Door de overheid wordt dit ook nadrukkelijk gestimuleerd met subsidieregelingen, zoals de 'Stimulering Duurzame Energieproductie' (SDE+). Vaak worden initiatieven voor grootschalige duurzame opwek, zoals omvangrijke zonneweides, geprojecteerd in dunbevolkte gebieden. Er is veelal ruimte beschikbaar tegen relatief lage prijzen, wat de exploitatie aantrekkelijk maakt.

Het elektriciteitsnet in deze gebieden is echter niet ontworpen voor het transport van grote hoeveelheden decentraal opgewekte energie. Veel aansluitingen van zonneweides, die binnen de wettelijke termijn van 18 weken na aanvraag gerealiseerd moeten worden, krijgen daarom een transportbeperking. Het structureel oplossen van de knelpunten in het net vraagt meestal een lange doorlooptijd. Afhankelijk van de situatie kan dat gemakkelijk een jaar, of zelfs meerdere jaren duren, bijvoorbeeld als gevolg van bezwaarprocedures tegen verleende omgevingsvergunningen. Daarbovenop komt steeds vaker de vraag naar voren in hoeverre het maatschappelijk verantwoord is om het net te dimensioneren op de volledige piekbelasting van de decentrale opwek. Deze combinatie van factoren zorgt ervoor dat het ontsluiten van decentraal duurzaam opgewekte energie vaak moeizaam verloopt.

Conclusies

In dit rapport is uiteengezet dat het toepassen van een autonome spanningsregeling in de installatie van de opwekker in veel gevallen een geschikt middel kan zijn om het net beter uit te nutten. Ondanks beperkingen van het net kan de duurzaam opgewekte energie toch getransporteerd worden. Deze methodiek is gunstig voor de klant, want deze kan dan aangesloten worden zonder beperkt te worden in het transport. En deze methodiek is ook gunstig voor de netbeheerder, want hierdoor kan de aansluiting gerealiseerd worden, zonder een transportbeperking te moeten afgeven. De netbeheerder geeft daarmee een veel betere invulling aan de maatschappelijke rol: iedereen onder gelijke condities toegang geven tot betrouwbare, betaalbare en duurzame energie. De energietransitie wordt beter gefaciliteerd en investeringen in het net kunnen vermeden of uitgesteld worden.

Omdat de autonome spanningsregeling al meerdere jaren toegepast wordt in opwekinstallaties (met name in Duitsland), is de apparatuur die toegepast wordt in opwekinstallaties vaak standaard uitgerust met deze mogelijkheid. Het toepassen van deze regeling is dan een kwestie van configureren en vraagt geen extra investeringen voor de opwekinstallatie. Een ander aantrekkelijk punt van de regeling is dat deze autonoom regelt. Er is geen telecom verbinding nodig tussen de netbeheerder en de decentrale opwek.

Aandachtspunten

De groeiende hoeveelheid decentrale opwek in het net, veroorzaakt een toenemende complexiteit in het netbeheer. Het is ingewikkeld om goed zicht te hebben en te houden op alle effecten van opwek en gebruik, onder andere voor de spanningshuishouding. En niet in alle gevallen kunnen knelpunten met de autonome spanningsregeling opgelost worden. In dit rapport wordt aan de hand van een stroomdiagram toegelicht in welke situaties de autonome spanningsregeling zinvol toegepast kan worden. Dit geeft daarmee handvatten aan netplanners die de aanvragen voor aansluitingen van decentrale opwek moeten toetsen.

De autonome spanningsregeling is van waarde voor het vermijden van spanningsknelpunten, veroorzaakt door de aangesloten decentrale opwek. De mate van effectiviteit hangt af van de lokale netsituatie. Het kan zijn dat ondanks de sturing met reactief vermogen, de spanning op bepaalde momenten toch te hoog dreigt te worden. In die situaties zal de regeling moeten ingrijpen op de levering van het actieve vermogen waarmee een deel van de opbrengst wordt gemist. Dat is relatief gezien echter een beperkt aantal uren per jaar. En dat is dan toch een enorme verbetering ten opzichte van de werkwijze tot nu toe, waarbij in deze gevallen telkens een transportbeperking wordt afgegeven waarmee gedurende 365 dagen van het jaar de hoeveelheid te transporteren energie ingeperkt wordt.

De autonome spanningsregeling grijpt in op de hoeveelheid reactief vermogen dat door de opwekker wordt opgenomen. Als de hoeveelheid reactief vermogen een substantiële omvang krijgt, kan dat leiden tot ongewenste regelacties van de vermogenstransformator. In dit rapport is voor de regio Friesland per transformator onderzocht

wat de ruimte is die door de autonome spanningsregeling benut kan worden. Deze ruimte kan dan toebedeeld worden aan de zonneparken die achter dezelfde transformator gebruik kunnen maken van de autonome spanningsregeling.

Aanbevelingen

De resultaten van dit onderzoek geven aan dat er voldoende potentie is om de daadwerkelijke toepassing van deze regeling mogelijk te maken. Hiervoor worden de volgende aanbevelingen gedaan:

1. Start een vervolgonderzoek en selecteer een aantal klanten waarmee de autonome spanningsregeling toegepast kan worden, zodat op beheersbare schaal praktijkervaring opgebouwd kan worden. Het ligt voor de hand om de aansluitingen voor decentrale opwek waarvoor reeds een transportbeperking is afgegeven, te toetsen op geschiktheid voor deze regeling. Als dit het geval is, kan de klant benaderd worden met de vraag of deze wil meewerken aan deze oplossing.
Maak in het onderzoek onderscheid in technische en organisatorische aspecten waarover meer duidelijkheid nodig is om de regeling als een standaard instrument te kunnen inzetten.
 - Technische aspecten: Hoe vaak spreekt de regeling aan (1^e trap), hoe vaak wordt er ingegrepen in de levering van het actieve vermogen (2^e trap), wat is het effect op spanning en stroom, regeltransformator, e.d. Daarmee wordt het mogelijk om de theoretische bepaling van deze waarden te toetsen met de werkelijkheid en kan ervaring opgebouwd worden met de instellingswaarden.
 - Organisatorische aspecten: Wat zijn de gevolgen voor de organisatie, zoals: netbeheer (o.a.: processen, registratie van de regeling), personeel (kennis), klantprocessen.
2. Overweeg om de autonome spanningsregeling ook toe te passen als er nog geen spanningsknelpunten zijn. De regeling zorgt ervoor dat het spanningsopdrijving door decentrale opwek verminderd wordt. Maar houd wel de beschikbare ruimte voor reactief vermogen in het oog.
3. Onderzoek of het mogelijk is om het reactief vermogen dat decentrale AC5 opwekkers gaan opnemen, geleverd kan worden door een AC6 opwekker, die op hetzelfde netstation is aangesloten. Beoogd doel is om hiermee de interactie met de regeltransformator te voorkomen.
4. Zorg ervoor dat de aanvrager formeel akkoord gaat met de regeling. Zie hiervoor ook het onderzoek naar de juridische en regulatorische aspecten (PQ in Control – D2.3).
5. Zoek de samenwerking op met leveranciers van inverters en andere netbeheerders op dit onderwerp.

Test resultaten - DNV GL

Beschrijving

Deze sectie in het rapport beschrijft de meet- en testresultaten voor PQ in Control gedaan in het Flex Power Grid Lab (FPGL) van DNV GL. Het hoofddoel van PQ in Control is het onderzoeken van de mogelijkheden om vermogenselektronica van installaties van eindgebruikers te gebruiken voor netondersteuning. Steeds meer installaties worden met het elektriciteitsnetwerk verbonden via vermogenselektronica, zoals inverters.

De lab-tests in het FPGL hadden tot primair doel om de mogelijke risico's en problemen te identificeren, welke kunnen optreden wanneer vermogenselektronica op bovengenoemde manier wordt gebruikt om het elektriciteitsnetwerk te ondersteunen. In dit project is specifiek gekeken naar het gebruik van blindstroom van de inverters voor de ondersteuning van de spanningshuishouding in het net.

Het tweede doel van de lab-tests was het ontwikkelen van de capaciteiten en methodologie die nodig zijn voor het opzetten van verificatie, testen en uiteindelijk het certificeren van vermogenselektronica van installaties van eindgebruikers, zodat deze kunnen worden gebruikt om het elektriciteitsnet te ondersteunen zonder de betrouwbaarheid van het netwerk in gevaar te brengen.

Conclusies

De lab-tests bleken uitdagender dan van te voren gedacht, en uiteindelijk is het aantal testweken verdubbeld van 2 tot 4 weken. De eerste twee weken zijn met name gebruikt voor 'trouble shooting', het verkrijgen van toegang tot de inverters en het verbinden van de inverters met de testomgeving.

In de derde en vierde week zijn metingen gedaan om het effect te bepalen dat het invoeden/absorberen van blindvermogen heeft op de efficiëntie van het actieve vermogen van de inverter. Ook is de precisie van de regelcurve en zijn de reactietijden van het control algoritme in de inverter gemeten.

Veranderingen van het geleverde blindvermogen bleek geen noemenswaardig effect te hebben op de efficiëntie van de inverter. Deze bleef tussen 96% en 97%. De efficiëntie daalde alleen als gevolg van veranderingen in het actieve vermogen. Enkele issues werden gevonden rond de instellingen van reactief vermogen bij nominale operatie. Dit wordt op dit moment onderzocht door de fabrikant van de inverter. De reactietijden van de regeling geïmplementeerd in de inverter zijn erg snel, zoals mag worden verwacht van vermogenselektronica. Na een spanningsveranderingen werden de setpoints binnen 500ms bereikt. Dit betekent dat het control algoritme snel genoeg is om als middel te worden ingezet om de spanning in het elektriciteitsnetwerk te regelen.

Aan het einde van de vierde week is een volledige 'Power Hardware in the Loop' test succesvol uitgevoerd, waarin gedemonstreerd werd hoe een inverter reageerde op veranderingen in zonne-instraling, welke geëmuleerd werd door een model van de PV panelen samen met een DC versterker aan de DC kant van de inverter, terwijl aan de andere kant van de inverter spanningsveranderingen optraden, geëmuleerd door een 'real time digital simulator' en AC versterkers.

Hiermee zijn waardevolle ervaring en competenties opgedaan voor het ontwikkelen van inverter verificatie- en testdiensten.

Aanbevelingen

Tijdens de labtesten is één inverter getest. Deze tests tonen de mogelijkheden voor het onderzoek en het testen van de interactie tussen verschillende inverters en andere actieve elementen in het netwerk, zoals spanning-regelende transformatoren en andere inverter gebaseerde belasting, zoals elektrisch vervoer. Dit kan worden gemodelleerd als een 'digital twin' en met het testsysteem worden verbonden, of dit kan fysiek worden getest door het te verbinden op een willekeurige plek met het geëmuleerde netwerk. Toekomstige werk bevat:

- De ontwikkeling van meerdere emulatoren van PV installaties, zodat meerdere verschillende PV installaties aan het gesimuleerde netwerk kunnen worden toegevoegd en de interactie hiertussen kan worden bestudeerd hierop kan worden getest.
- Het toevoegen van meerdere connectiepunten aan het netwerk-emulatiemodel, zodat op verschillende plaatsen in het gesimuleerde netwerk fysieke installaties kunnen worden toegevoegd.
- Het ontwikkelen van modellen van andere applicaties en apparaten (zoals het laden van elektrisch vervoer)

Wet- en regelgeving spanningsregeling – Alliander / DNV GL

Beschrijving

Inpassing van duurzame bronnen loopt tegen de bestaande capaciteitsgrenzen van het elektriciteits-distributienetwerk op, met name in landelijke gebieden. Dit resulteert onder andere in (momentane) spanningsproblemen in het netwerk en beperkingen bij het aansluiten en transporteren van de duurzame energie.

In het project “PQ in Control” is onderzocht hoe deze spanningsproblemen kunnen worden tegengegaan met een spanningsregeling in opwekinstallaties.

Q(U)-regeling

De Netcode biedt de juridische borging voor een netbeheerder om een spanningsregeling met blindvermogen (Q) te eisen of toe te staan.. Volgens art.3.15.5 : *“De elektriciteitsproductie-eenheid aangesloten op een midden- of hoogspanningsnet, is voorzien van en wordt bedreven met een automatische spanningsregeling waarvan de helling instelbaar is tussen 0% en 10%. De netbeheerder kan op basis van de lokale situatie voor een elektriciteitsproductie-eenheid een arbeidsfactor-regeling eisen of toestaan.”.*

Het cos(phi) bereik voor alle aangeslotenen ligt tussen $\cos(\phi) = 0,85-1,0$ tenzij anders overeengekomen. Voor elektriciteitsproductie-eenheden van type B en C is een U-Q/Pmax-profiel in behandeling bij ACM.

De Tarievenscode zegt aanvullend in par 3.9 dat de netbeheerder een blindvermogen tarief in rekening mag brengen bij MS gekoppelde opwek buiten de regelruimte van $\cos(\phi) 0,98 - 1,0$ (in Netcode art. 3.15.1), tenzij het blindvermogen op verzoek van de netbeheerder wordt geleverd.

Voor bestaande installaties (aangesloten vóór 27 april 2019) gelden artikelen 14.3 t/m 14.5 van de Netcode. De technische voorwaarden komen vrijwel overeen die van nieuwe installaties. Aanvullend is er expliciet vermeld dat “capacitief” draaien (opname van blindvermogen) mogelijk is.

P(U)-regeling.

Een netbeheerder kan niet als invulling van art. 3.15.5 een spanningsregeling met werkzaam vermogen (P) *eisen*. De NB kan wel een P(U) regeling *toestaan* of bilateraal overeenkomen echter zonder financiële compensatie, behalve volgens de regels van Congestie management in Netcode.

Conclusies

P-Q regeling als ondersteunende of flexibiliteitsdienst

Een andere of aanvullende vorm van borging naast de Netcode is via een overeenkomst tot ondersteunende diensten (ook wel ancillary services genoemd) tussen netbeheerder en aangeslotene. Deze vorm kan momenteel alleen worden toegepast volgens de voorwaarden van “congestie management” zoals omschreven in par. 9.1 en 9.2 van de Netcode. De netbeheerder vraagt in een transparant proces om een ondersteunende P en/of-Q spanningsregeling aan alle aangeslotenen in een netgebied met congestieaanwijzing en waardeert dat financieel of op andere wijze.

Aanbevelingen

Aanbeveling Netcode: Hoewel het artikel 3.15.5 in de Netcode interpreteerbaar is als een door de netbeheerder oplegbare spanningsregeling met blindvermogen, kan het artikel interpretatieverschillen veroorzaken over hoe de spanningsregeling precies werkt, of zou moeten werken. Daardoor is voor fabrikanten en gebruikers van apparatuur onduidelijk wat het apparaat moet kunnen. Een uitgebreider technische omschrijving in de Netcode bevelen wij aan.

Daarnaast is de relatie tussen de Tarievenscode par. 3.9 en art.3.15.1 op dit moment onduidelijk omschreven. Dit kan verbeterd worden door de verwijzing in Netcode op te nemen of artikel 3.15.1 te verplaatsen naar de Tarievenscode.

Validatie en verificatie spanningsregeling - Kenter

Beschrijving

Op dit moment is de wetgeving nog onvoldoende scherp met betrekking tot het onderwerp PQ in Control. Er zijn meerdere mogelijkheden waar de wetgeving in de toekomst naar toe zal gaan en welke richting dit ook zal zijn, er zijn altijd meerdere stakeholders bij betrokken. De eindgebruiker kan zijn eigen regeling toepassen, maar al dan niet op basis van een vergoeding, kan PQ in Control ook samen met een netbeheerder worden geïmplementeerd.

Dit onderzoek gaat dieper in op de mogelijke rol van het Meetbedrijf op de grens van netbeheerder en eindgebruiker. Ook probeert dit onderzoek een antwoord te geven op de vraag of validatie en verificatie met bestaande middelen kan worden geleverd en of er handvatten zijn om het meten en de uitwisseling van de data voor de verschillende stakeholders te faciliteren en eenvoudig te houden.

Conclusies

Met de comptabele meter op het OverdrachtsPunt is het mogelijk om de benodigde data zoals gedefinieerd in dit project te collecteren. Eventuele toekomstige eisen in Netcode en onderlinge afspraken gemaakt tussen de stakeholders kunnen met deze data getoetst worden.

- De benodigde data wordt reeds in de meter opgeslagen
 - P (kW) is standaard op 5 of 15 minuut intervallen (1 minuut is mogelijk)
 - Q (kvarh) en V (V) zijn extra kanalen
- De meter zit op het juiste punt in het net tussen netbeheerder en eindgebruiker
- Toetsing kan achteraf plaatsvinden of monitoring near real-time
- Combinatie maken van inverter data en comptabele data om de momenten van P en Q regeling exact te bepalen
- Verificatie van de juiste werking (type certificering) van de inverter is mogelijk
- Verificatie van het contract door een onafhankelijke partij, met name in het geval van een financiële vergoeding en wetgeving

Aanbevelingen

- Nader onderzoek naar optimale tijdsintervallen voor registratie van P, Q en V
- Concreet maken van de te verifiëren parameters en instellingen volgens:
 - De Netcode
 - Ancillary service, afspraken tussen netbeheerder en eindgebruiker
 - De eindgebruiker
- De mogelijkheid creëren om P, Q en V op te nemen in het Edine (XML)-berichtenverkeer
- Het Meetbedrijf betrekken bij metingen op het OverdrachtsPunt

2. UITVOERING VAN HET PROJECT

2.1. Technische en organisatorische problemen

In onderstaande tabel is per deliverable aangegeven welke problemen zich hebben voorgedaan tijdens het project en op welke manier deze zijn opgelost:

Deliverable	Problemen	Oplossingen
Theoretisch Framework (TU/e)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Veel wijzigingen in personeel voor modellering van modellen ▪ Moeilijkheid om resultaten uit het onderzoek te delen vanwege de gebruikte gevoeligheidsgegevens ▪ Vertraging bij het uitvoeren van de real-time simulatietest vanwege het gebrek aan ondersteuning door de fabrikant van het apparaat 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Onderlinge afstemming voor overdracht van kennis en kunde om deliverables te finaliseren ▪ Resultaten werden gepresenteerd als een gegeneraliseerd geval. Het is niet nodig gedetailleerde informatie te delen die wordt gebruikt voor de theoretische simulaties ▪ Ondersteuning werd geboden na verschillende verzoeken. Simulaties in het Smart Grid Laboratory (ESS, TU/e) werden dienovereenkomstig uitgevoerd
Resultaten labtesten (DNV GL)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Late levering van inverters waardoor relatief weinig tijd voor configuratie ▪ Onderschatting vereiste technische support 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Periode van 2 weken extra testen uitgevoerd later in project ▪ Netwerk in China aanspreken voor technische ondersteuning
Case in de praktijk (Alliander)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Start van monitoring park viel buiten de zomer daardoor geen zichtbare P sturing ▪ Niet alle metingen waren op dag 1 actief waardoor mogelijk waardevolle data niet beschikbaar was 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Meter langer op locatie aanwezig om gedurende de zomer van 2019 de resultaten te blijven monitoren
Wet- en regelgeving spanningsregeling (Alliander / DNV GL)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Meerdere netcode wijzigingen gedurende het project ▪ Consequenties van niet naleven netcode onvoldoende duidelijk 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Analyse opnieuw opgestart voor laatste versie van de netcode ▪ Experts binnen de markt geraadpleegd
Algemeen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1 pilot lastig om conclusies te trekken voor opstellen van richtlijnen ▪ Periode van 1 jaar voor uitvoeren van onderzoek relatief kort 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Meerdere cases selecteren binnen het project en verder onderzoeken ▪ Duidelijk vaststelling van deliverables, milestones en organiseren van onderlinge afstemming

2.2. Wijzigingen ten opzichte van projectplan

Gedurende het project bleek dat spanningshuishouding als gevolg van de exponentiële groei van het aantal zonneparken voor de netbeheerder een urgent maatschappelijk probleem is. Dit probleem valt onder de categorie langzame spanningsvariaties wat onderdeel is van Power Quality. Vermogenselektronica kan een bijdrage leveren aan het oplossen van dit probleem. Hierdoor is de focus van het project verlegt van problemen met harmonische naar spanningsregeling.

2.3. Kennisverspreiding en public relations

In onderstaande tabel is een opsomming gemaakt van de verschillende manieren van kennisverspreiding en de diverse PR-mogelijkheden door de diverse projectpartners:

Algemeen: Onderdeel van disseminatie van het project is een kennissessie over PQ in Control. De presentaties zijn toegevoegd bij de beschrijving van de individuele deliverables.

Partij	Activiteiten
Alliander	<ul style="list-style-type: none">▪ Interne kennissessies om te informeren en draagvlak te creëren.▪ Blog met beschrijving van resultaten van het project▪ Persbericht naar aanleiding van de Future Solar NL conferentie 13 juni.▪ Presentatie Cired Barcelona
Kenter	<ul style="list-style-type: none">▪ Interne kennissessies en presentaties▪ Benaderen klanten voor implementatie van PQ diensten
DNV GL	<ul style="list-style-type: none">▪ Verschillende interne presentaties▪ 13 Juni Solar Future NL (ism Alliander)
TU/e	<ul style="list-style-type: none">▪ Interne presentaties om resultaten uit te wisselen tussen TU/e-onderzoekers▪ Publicatie van de belangrijkste resultaten in de interne Electrical Eng. Nieuwsbrief, TU/e▪ Presentatie van theoretische resultaten op internationale conferenties
Synergie Consulting	<ul style="list-style-type: none">▪ Benaderen projectontwikkelaars om de resultaten van project te delen