

Openbaar Eindrapport

Urban Energy - FairPlay

Fair open realtime distributed Power
quality control for low voltage grids

Projectnummer: TEUE419004



UNIVERSITY
OF TWENTE.



Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Anpak'n

TU/e

Technische Universiteit
Eindhoven
University of Technology



Auteurs

Prof. dr. Johann L. Hurink – University of Twente
dr. ir. Gerwin Hoogsteen – University of Twente
ir. Aswin Vadavathi – University of Twente
dr. ir. Dennis Bijwaard – Smart State Technology
dr. ir. Omar Mansour – Smart State Technology

ir. Phoung Nguyen – Technical University of Eindhoven
ir. Javed, Akhtar Hussain - Technical University of Eindhoven
Prof. dr. ir. Gerard J. M. Smit – stichting Anpak'n
Henk Naafs – Stichting Anpak'n

Versie

21 augustus 2024

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Nationale regelingen EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland."

Uitgangspunten en doelstelling

De aanleiding van dit project was een boer die zich aan het einde van een laagspanningkabel bevond en vanwege overspanning zijn PV omvormer regelmatig zag afschakelen waardoor hij zijn PV energie niet kwijt kon. De spanningsstijging op zijn locatie leek te wijten aan extra PV opwek door burens en de lange kabelverbinding tussen zijn boerderij en de laagspanningsdistributietransformator.

Het doel van het project is om de (groeps)opwekking door PV's in landelijke en agrarische gebieden te beheersen waar de kabels lang en oud zijn, waardoor de opwekking van hernieuwbare energie wordt beperkt. Door slimme coördinatie van omvormers op dezelfde kabel naar het onderstation hoopten we eerlijke verdeling te garanderen van opwek door PV systemen en problemen met de stroomkwaliteit zoals congestie (overbelasting, onderbelasting) te verminderen.

Partners

Smart State Technology (SST):

SST is de ontwikkelaar van het open platform voor real-time gesynchroniseerde meetdata en control. Tevens heeft SST test en lablocaties beschikbaar gesteld.

Universiteit Twente (UT):

De UT heeft kennis rondom energiebeheer in het project gebracht, specifiek de TRIANA-methode en een basisversie van de DEMKit simulatie software. Deze basis is gebruikt voor de ontwikkeling van een energiebeheersysteem dat gebruik maakt van de real-time data.

Technische Universiteit Eindhoven (TU/e)

De TU/e heeft vanuit de groep Electrical Energy Systems (ESS) van de faculteit Electrical Engineering veel kennis van de energie-infrastructuur en Smart Grids/Smart Energy Systems. In dit project werkt TU/e aan real-time distributed power quality control.

Stichting Anpak'n (Anpak'n)

Anpak'n doet duurzaamheidsprojecten in oost Nederland en hoopt met dit project tot duurzame, bedrijfszekere en betaalbare energie-infrastructuur te komen en de resultaten van dit project in te zetten in de lokale gemeenschap.

Enexis Netbeheer (Enexis)

Enexis beheert het elektriciteit en gas netwerk in de regio waar het project wordt uitgevoerd. In dit project ondersteund Enexis het project met kennis en kunde met betrekking tot de elektriciteitsinfrastructuur en assisteert bij het doen van metingen in het onderstation bij de proeflocatie.

Resultaten, knelpunten en perspectief

Resultaten

Tijdens de uitvoering van het project zijn zowel hardware- als softwareproducten ontwikkeld, uitgebreid en getest in verschillende experimenten.

Vanuit de kabelmodellen van Enexis voor het testgebied is een **energiemodel** ontwikkeld. Een aantal hardware en software uitbreidingen zijn gemaakt in de **LV Sensors** (een geavanceerd meetsysteem gemaakt door SST) voor geavanceerde *synchrone energiemetingen*. Deze verbeteringen waren nodig om betere resultaten uit het energiemodel te krijgen. Met de **Inverter controller** (SST) kan de PV opwek worden gedimd om uitval bij overspanning te voorkomen. Met de **Embedded Controller** (SST) kunnen meerdere temperatuurpunten worden gemeten, kan veilig relais en/of frequentie-aansturing worden gedaan bij o.a. temperatuur overschrijding, kunnen weerdata en energiemetingen mee worden genomen in stuurbeslissingen. Met het **Open Platform** dat ontwikkeld was door SST in het IDEEGO/ORTEP project kunnen op metingen real-time gedistribueerde berekeningen en visualisaties worden gedaan. Het Open Platform is uitgebreid om stuursignalen te kunnen genereren en te laten gebruiken door controllers die apparatuur zoals omvormers en pompen aansturen. Daarnaast zijn visualisaties van het energiemodel met gedistribueerde opwek mogelijk gemaakt op zowel de geografische kaart als in dashboards.



De simulatieresultaten van actief vermogen gebaseerde spanningsregulatie tonen aan dat de integratie van eerlijke spanningsregulatie kan leiden tot extra vermogensbeperking, afhankelijk van factoren zoals netwerktopologie, kabeltype, het gebruikte concept van eerlijkheid, en de potentiële uitbreiding van opwek in het netwerk. Daarom bevelen de simulatieresultaten de implementatie aan van een eerlijke en efficiënte spanningsregulatie, gebaseerd op een voorgesteld proportioneel spanningsconcept van eerlijkheid.

Toegenomen capacatieve blind vermogen vanuit de distributienetten in de nacht wordt een groeiend probleem voor het hoogspanning netwerk en kan overspanningen, verhoogde energieverliezen en zelfs impact op de systeemstabiliteit veroorzaken. De ontwikkelde gesimuleerde en in het laboratorium geverifieerde reactieve vermogensmodellen voor PV-omvormers regelen de spanning door reactief vermogen van het net te absorberen en te leveren. De modellen verminderen reactief vermogen in de nachts en geven overdag prioriteit aan actief vermogen uit opwek.

Experimenten en analyses:

- *We hebben langdurig gesynchroniseerde metingen gedaan in het onderstation, bij de boer en bij het laatste huis op de kabel van het onderstation. Met het energiemodel konden ontbrekende metingen bij burens worden voorspeld a.h.v. voltage en opwek/gebruik verschillen. We hebben inmiddels 3 jaar aan meetdata verzameld.*
- Met de inverter controller is succesvol een groot aantal uitschakelingen voorkomen aan het einde van de onderstation-kabel en kon meer PV energie worden teruggeleverd.
- Met metingen en het energiemodel konden we analyseren waar de voltageoverschrijdingen vandaan kwamen, i.e. de omvormers vielen uit als het onderstation relatief hoog (>237V) voltage had, en dit voltage bleek verderop geregeld op middenspanning met een trapregeling op een onderstation waar ook een aantal zonnepanelen waren aangesloten.

Knelpunten

De volgende knelpunten en geleerde lessen kwamen onder andere naar voren tijdens het project:

- We hadden initieel verwacht dat het regelen van de omvormers op verschillende aansluitpunten van de feederkabel naar het onderstation een grote impact zouden hebben op de spanning. Het idee was om met grote last bij een buurman de spanning te laten zakken op plek van congestie. Deze spanningsval bleek verwaarloosbaar vanwege de lange, dunne aansluitkabels naar deze feederkabel in verhouding tot de dikte van de feederkabel zelf. Daarom valt er in het testgebied niet veel (slechts 1V per omvormer) te winnen met gecoördineerde PV-opwek. De gecombineerde PV-opwek zou nog steeds een stijging van de spanning kunnen veroorzaken wanneer de onderstation verbinding met middenspanning niet erg sterk zou zijn.
- De verbinding van de stroomaansluiting naar de omvormer kan ook een zwakke schakel zijn; aan het einde van de feederkabel was er vaak een spanningsdaling van 4V te zien, wat een kabel verzwarende een financieel haalbare optie zou maken.
- Lokale omvormer regeling kan een aantal uitschakelingen voorkomen, en dit zou binnen een paar jaar winstgevend kunnen zijn met (nieuwere) omvormers die na uitschakeling de opwek langzaam laten toenemen (zoals die aan het einde van de feederkabel). Oudere omvormers die direct aan/uit gaan hebben een veel langere terugverdiensdijd omdat hun verlies aan opwek kleiner is.
- Er is een melk-koeler gedefinieerd voor de boerderij om aan te kunnen sturen met surplus PV opwek via de embedded controller. Door onvoorziene problemen met het prototype dat ontwikkeld werd door externe partners was het prototype helaas niet klaar voor plaatsing binnen de projecttermijn. De meeste facetten van de embedded controller zijn succesvol getest door pompen van een zonnepiegel-collector systeem aan te sturen a.h.v. temperatuur van glycol en buffer, en weersverwachting.
- Het verzorgen van eerlijke opwek tussen grid-aansluitingen gaat ten koste van meer vermogensbeperking in vergelijking met meer optimale technieken voor spanningsregulatie.

Perspectief

- Hoewel de omvormers vaak werden uitgeschakeld, blijkt de gemiste opwek klein te zijn in het testnetwerk en daarom zouden alleen goedkope oplossingen hier een redelijke terugverdiensdijd hebben. Wanneer de jaarlijkse opwek hoger is dan het verbruik, wanneer de salderingsregeling stopt, of met dynamische tarieven, kunnen de winsten van de oplossing zelfs kleiner of negatief worden.
- Voordat gedistribueerde besturing wordt gedaan, is het beter om eerst de gebruik- en productiepatronen bij de net-aansluitingen zelf te analyseren. Blijkbaar kan koeling van melk op de boerderij grotendeels worden gedekt met PV-opwek als een koude buffer wordt ingezet.
- De geaggregeerde flexibiliteit van DER's en schakelbare apparatuur kan worden gebruikt om de spannings- en congestieproblemen in het net te verminderen.

Bijdrage aan doelstellingen

Met dit project zijn de volgende bijdragen geleverd aan de doelstellingen van de programmaliijn

“Flexibele energieinfrastructuur” binnen de regeling TKI Urban Energy, waarbinnen we ons met name hebben gefocused op “4b Componenten en systemen voor monitoring en control van energie-infrastructuur”:

- Optimaal gebruik van beschikbare hostingcapaciteit zonder netverzwaring en extra kosten.
- Gebruik gedistribueerde metingen en besturing om de hostingcapaciteit te verhogen en tegelijkertijd potentiële problemen in de energie-infrastructuur te corrigeren door vraagsturing te gebruiken om productie- en belastingspieken te verminderen.
- Gedistribueerde real-time sensing van (re)actief vermogen en inverter-sturing om de stroomkwaliteit binnen het net te beheersen.
- Gedecentraliseerde besturing van omvormers om de productie van hernieuwbare energie te verhogen terwijl men binnen de huidige theoretische grenzen van de hostingcapaciteit blijft (d.w.z. zonder extra investering).
- Zorgen voor eerlijkheid onder PV-energieproducenten, onafhankelijk van gridlocatie.
- Vermindering van netcongestie en problemen met de stroomkwaliteit.
- Gebruik van PV opwek als een flexibel netwerkcomponent dat kan worden bestuurd.
- Voorkomen van stroomproblemen door continu gesynchroniseerde meting en besturing van gedecentraliseerde opwekking en optimaliseren van het lokale gebruik van opgewekte energie met vraagsturing (DEMKit).
- Toestaan van meer PV opwek in gebieden waar een DSO momenteel geen goedkeuring meer kan geven vanwege praktische limieten aan de hostingcapaciteit door lokale tijdelijke vraag beter af te stemmen op lokale tijdelijke productie binnen de theoretische grenzen van de hostingcapaciteit van de huidige slimme netwerkcomponenten.
- Real-time (tot 50Hz) 3-fase GPS-gesynchroniseerde metingen voor gedecentraliseerde hernieuwbare energieproductie en het lokale gebruik ervan.
- Beter gebruik van opgewekte groene energie door gebruik te maken van groepsbesturing.
- Real-time visualisatie van (PV) omvormer (reactieve PQ) energieopwekking en stroomkwaliteitsparameters per netwerk segment.
- Real-time detectie van congestie en overbelasting.
- Voorkomen van uitval door slim energiebeheer en real-time congestiepreventie.
- Versterken van de bijdrage van gedistribueerde hernieuwbare energiebronnen, zoals PV en opslag, ter ondersteuning van DSO in de netwerkoperatie, zoals spanningsregulatie, op een gedistribueerde manier (geen centrale besturing en tweerichtingscommunicatie met hoge bandbreedte nodig).
- Cloud-gebaseerd platform om op afstand meetgegevens te verzamelen en op te slaan voor bewakings-, analyse- en besturingsdoeleinden.

Spin-off

Het ontwikkelde hardware, software en kennis hebben geresulteerd in de volgende projecten en activiteiten:

- Prototype voor melkkoeling aan te sturen a.h.v. surplus energie met embedded controller.
 - Aansturing met embedded controller van TCT systeem met zonnespiegels, glycol en bufferpomp.
- Daarnaast wordt de ontwikkelde hardware/software toegepast in de volgende projecten:
- Huidige projecten en nieuwe projectvoorstellen waaronder:
 1. TKI URBAN ENERGY – SLIMPARK
 2. MOOI - SMOOTHEMS WITH GRIDSHIELD
 3. EU HORIZON 2020 – SUSTAINABLE ENERGY SYSTEM FOR ACHIEVING NOVEL CARBON NEUTRAL ENERGY COMMUNITIES (SUSTENANCE)
 4. EU HORIZON 2020 – SUSTAINABLE AND INTEGRATED ENERGY SYSTEMS IN LOCAL COMMUNITIES (SERENE)

Publicaties

Het project heeft geresulteerd in de volgende wetenschappelijke publicaties:

- [1] A. H. Javed, P. H. Nguyen, J. Morren and J. G. H. Slootweg, "Review of Operational Challenges and Solutions for DER Integration with Distribution Networks," 2021 56th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Middlesbrough, United Kingdom, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/UPEC50034.2021.9548198
- [2] A. H. Javed, B. van der Holst, P. H. Nguyen, J. Morren, and J. Slootweg, "Analyzing impact of network constraints on feasible operation region of the radial distribution networks," Electric Power Systems Research, vol. 234, p. 110799, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2024.110799>.
- [3] A. R. Vadavathi, G. Hoogsteen and J. L. Hurink, "Comparison of Fairness based Coordinated Grid Voltage Control Methods for PV Inverters," 2021 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe), Espoo, Finland, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISGTEurope52324.2021.9639982.
- [4] A.H. Javed, P. H. Nguyen, J. Morren, J. G. Han Slootweg and S. Battacharyya, "Issues of Capacitive Reactive Power Flow in Electricity Networks," 2022 57th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Istanbul, Turkey, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/UPEC55022.2022.9917704.
- [5] A. R. Vadavathi, G. Hoogsteen and J. L. Hurink, "PV Inverter Based Fair Power Quality Control," in IEEE Transactions on Smart Grid, doi: 10.1109/TSG.2023.3244601.
- [6] A. H. Javed, P. H. Nguyen, J. Morren and J. G. H. Slootweg, "Using Smart PV Inverters for Reactive Power Management in Distribution Grids," 2023 IEEE Belgrade PowerTech, Belgrade, Serbia, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/PowerTech55446.2023.10202681.
- [7] A. H. Javed, P. H. Nguyen, J. Morren and J. G. Han Slootweg "Analyzing Impact of Capacitive Reactive Power Flows at T-D interfaces," Accepted in (2024 CIRED, Vienna, Austria ,June 19-20)
- [8] A. R. Vadavathi, G. Hoogsteen and J. Hurink, "Fair and Efficient Congestion Management for Low Voltage Distribution Networks," 2024 IEEE 8th Energy Conference (ENERGYCON), Doha, Qatar, 2024, pp. 1-6, doi: 10.1109/ENERGYCON58629.2024.10488817.
- [9] A. R. Vadavathi, G. Hoogsteen, J.S. Giraldo and J. Hurink, " A Data-Driven Interpretable Energy Management System with Fair Grid Support" (To be submitted).

Informatie

Dit document is uitsluitend (gratis) in digitale vorm verkrijgbaar op:
<http://smartstatetechnology.nl> en <https://www.utwente.nl/en/eemcs/energy>

Contact kan worden opgenomen bij de partners via email, telefoon en/of post, zie hieronder.

Universiteit Twente:

Prof. dr. Johann L. Hurink

E-mail: j.l.hurink@utwente.nl

Telefoon: +31 53 489 3447

Dr. ir. Gerwin Hoogsteen

E-mail: g.hoogsteen@utwente.nl

Telefoon: +31 53 489 4681

ir. Aswin Vadavathi

E-mail: a.r.vadavathi@utwente.nl

Telefoon: +31 534891019

Postadres: Postbus 217, 7500 AE Enschede, The Netherlands

Website: <https://www.utwente.nl/en/eemcs/energy>

Smart State Technology:

dr. ir. Omar Mansour

dr. ir. Dennis Bijwaard

E-mail: info@smartstatetechnology.nl

Website: smartstatetechnology.nl

KvK 66888492, Hengelo, Overijssel.

Technical University of Eindhoven:

Akhtar Hussain Javed

Email: a.h.javed@tue.nl

Associate professor Phoung Nguyen

Email: P.Nguyen.Hong@tue.nl

Telefoon: +31 40 247 5830

Postadres: PO Box 513, 5600 MB Eindhoven

Website: <https://www.tue.nl/en/our-university/departments/electrical-engineering>

Stichting Anpak'n:

Henk Naafs

Prof dr. ir. Gerard Smit

Email: info@anpakn.nl

Telefoon: 06 442 392 18

Website: <https://anpakn.nl>

English Abstract

In the FairPlay project we have developed theoretical simulation models for fairness (both active and reactive power) and congestion. The simulation results for active power recommend the implementation of fair and efficient voltage regulation, based on a proposed proportional voltage concept of fairness. Deploying such a model in practice would require a coordination algorithm that may not surpass the lost energy production from inverter outages. Moreover, most energy suppliers have recently started to ask money for injecting energy into the grid, reducing the lost revenue even further. Reduced power injection into the grid using thermal and/or battery storage, can improve the efficiency of the grid and achieve local user objectives such as reduced operational costs. The proposed control architecture supports this functionality, along with global fair power quality control.

Increased capacitive reactive power from the distribution grids becomes a growing problem for the high-voltage transmission network and can cause over-voltages, increased energy losses, and even impact system stability. The developed reactive power models for PV inverters reduce reactive power at nighttime and prioritize active power production during daytime.

Measurements have been used in combination with our developed network-cable model to analyse congestion on the Plasdijk-feeder, inverter outages, and the impact of PV injection and loads on the congestion. Using the acquired data and model we were able to identify the actual weakest connections (their impedance is high due to long and/or thin cables). From this analysis it was seen, that not only the grid connections owned by the grid operator could be weak, but that also the in-house connection between the main fuse-box and the actual PV inverter could have a weak connection and thus lower the threshold of causing congestion at the house. The weak connections only caused inverter problems when the substation voltage was above 237V.

Local usage or storage of the excess energy appears to be most beneficial for reducing inverter outages with weak grid connection cables. Since battery storage is still very expensive, we have explored alternative ways to store excess energy. Thermal energy storage by making ice with PV surplus during the day would be optimal for pre-cooling during milking cycles. Furthermore, this idea lead to a first proof of concept with outside partners and the business case for milk pre-cooling using surplus PV energy was analysed and was input for a new project proposal.

Measurement and control solutions have been developed that can be used in future projects and products. The inverter controller can be used to mitigate inverter outages and could curtail production in other scenarios. The embedded controller combined with measurements can help store excess PV energy in thermal buffers. The aggregated flexibility available from DERs and dispatchable loads could be used to solve the voltage and congestion problems in the grid.