

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Smarta skydd – steg 2	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska Smart protection – stage 2	
Universitet/högskola/företag KTH	Avdelning/institution Elkraftteknik
Adress Teknikringen 33	
Namn på projektledare Lars Nordström	
Namn på ev övriga projektdeltagare Fabian Hohn, Tin Rabuzin	
Nyckelord: 5-7 st Distributionsnät, förnybar produktion, skyddssystem, digitalisering,	

Förord

Projektet Smarta Skydd – steg 2, följer upp det tidigare projektet Smarta skydd. Den första delen av projektet Smarta skydd delfinansierades av Vattenfall, Ellevio och KTH, medan denna andra del varit helt finansierad av Energimyndigheten. De kontakter som skapades mellan projektaktörerna under steg 1 har upprätthållits även under den andra delen av projektet. De personer som varit delaktiga – under första skedet i den formella referensgruppen är Anders Johnson och Yiming Wu från Vattenfall, Bengt Almgren och Christer Flood från Ellevio.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	1
Summary	2
Inledning/Bakgrund	2
Genomförande	3
Resultat	4
Diskussion.....	4
Publikationslista.....	5
Bilagor	5

Sammanfattning

Projektet Smarta skydd – steg 2 är till stora delar en vidareutveckling av projektet Smarta skydd som slutrapporterades 2019. Det första projektet drevs längs två linjer, dels utvecklingen av en plattform för mätning och delning av data som möjliggöra att skyddsapplikationer kan allokeras fritt över olika datorplattformar i ställverk, och dels utveckling av skyddsalgoritmer som utnyttjar en sådan tillgång till data. Detta andra steg i projektet har fokuserat på vidareutveckling av den senare delen fokuserad på skyddsapplikationer även om det även i detta skede funnits inslag av plattformsutveckling.

Två huvudsakliga resultat har uppnåtts under denna del av projektet. Dels har den skyddsapplikation för identifikation av ödrift som togs fram i steg ett av projektet förfinats och gjorts mer tillförlitlig genom att utnyttja spänningsvinkel som indata. Dels har en metod för att filtrera och behandla mätvärden internt i ett ställverk tagits fram, tack vare denna kan en och samma mätning återanvändas av flera olika skyddsapplikationer i en station. Sammantaget gör bägge dessa resultat att framtidens skyddssystem i ställverk kan göras mer flexibla och tillförlitliga, vilket i sin tur är en förutsättning för att kunna integrera stora mängder lokal kraftproduktion från t.ex. vind och sol.

Summary

En sammanfattande beskrivning av innehållet i slutrapporten på engelska på en halv till en sida. Motsvarande sammanfattning som den svenska.

The Smart Protection - stage 2 project is largely a development of the Smart Protection project which was finalized in 2019. The first project was run along two lines, first the development of a platform for measuring and sharing data that enable protection applications to be allocated freely across different computer platforms in the substation. Secondly, the development of protection algorithms that utilize such access to data. This second step in the project has focused on further development of the latter part focused on protection applications, although also at this stage there have been elements of platform development.

Two main results have been achieved during this part of the project. On the one hand, the protection application for identification of island drift that was developed in step one of the project has been refined and made more reliable by using voltage angle as input data. On the other hand, a method for filtering and treating measured values internally in a substation has been developed, by which the one and same measurement can be reused by several different protection applications in a station. Taken together, both of these results mean that the protection systems of the future substations can be made more flexible and reliable, which in turn is a prerequisite for being able to integrate large amounts of local power production from e.g. wind and PV.

Inledning/Bakgrund

Mängden förnybar distribuerad kraftproduktion i det svenska elsystemet fortsätter öka. En betydande del av produktionen, exvis. medelstora vindkraftparker ansluts till regionnäten och denna utbyggnad leder till att driftförhållandena i regionnäten förändras. Exempel på sådana förändrade förhållande är ödrift, där delar av nätet - trots att det kopplats från stamnätet - kan strömförsörjas från lokala produktionsanläggningar. Vid första anblick förefaller det vara en fördel, vilket det också är om stabiliteten kan garanteras, men det är förknippat med flera risker som t.ex. skador på utrustning och människor därför är det av stor betydelse att snabbt identifiera situationer av ödrift. Det finns i dag flera metoder för att

identifiera ödrift, men de är känsliga för fel och kan ibland leda till bortkoppling av produktion trots att ödrift inte föreligger.

Den första delen av projektet Smarta skydd studerade förutsättningslöst flera olika driftsituationer som kan uppkomma i nät med stor andel förnybar produktion Dessutom utvecklades en teknisk plattform på vilken man, baserat på användning av standardiserade modellspråk, kan implementera skyddsfunktioner för olika driftfall. En specifik driftsituation som kan uppträda är att om delar av regionnätet kopplas från, efter t.ex. ett fel, kan de produktionsanläggningar som ligger i det fränkopplade området fortsätta att strömförsörja det fränkopplade området s.k. ödrift [4]. Det huvudsakliga bidraget från steg ett i projektet var en ny skyddsalgorithm som snabbt och förhållandevis säkert kan identifiera situationer av ödrift.

Målet under steg två av projektet är att förfina metoden genom att utnyttja, på samma sätt som i steg 1, fasvinkelmätningar av spänning och med hjälp av dessa skapa modeller av de produktionsanläggningar som kan bli föremål för ödrift. Avsikten är att kombinera modeller utvecklade med hjälp av parameter fri systemidentifikation, och modell-reduktion av de nät som anläggningen är ansluten till och på så vis mer tillförlitligt kunna identifiera ödrift situationer.

Genomförande

Projektet har bedrivits vid KTH, avdelningen för elkraftteknik och deltagare har förutom projektledaren Lars Nordström varit två doktorander verksamma vid avdelningen. Tin Rabuzin och Fabian Hohn. Bägge har varit delaktiga i bägge skeden av projektet, med Tin Rabuzin som huvudsaklig deltagare under steg 1, och Fabian Hohn som huvudsaklig deltagare under detta steg . Genomgående i projektet (både steg 1 och steg 2) har två arbetspaket drivits, dels ett fokuserat på mät och beräkningsplattformar för skyddsapplikationer, och dels ett paket inriktat på skyddsapplikationer.

Arbetspaket 1 – mät och beräkningsplattformar

Deltagare: Fabian Hohn, Lars Nordström

Utveckling av metoder för mätning och beräkning av data som används för skyddstillämpningar. Det inkluderar de högnivå plattformar som huvudsakligen utarbetades under steg 1 av projektet, samt signalbehandling och kommunikation av mätvärden för flera olika tillämpningar som förfinats under steg 2.

Arbetspaket 2 – skyddsapplikationer

Deltagare: Fabian Hohn, Lars Nordström, Tin Rabuzin

Vidareutveckling av skyddsapplikation för att identifiera ödrift som är robust mot transienta fenomen i överliggande nät, som t.e.x. effektpendlingar och omkopplingar. Metoden använder sig av fasvinkel-mätningar för att identifiera förändringar.

Resultat

Projektet har genererat två huvudsakliga resultat, samt indirekt bidragit till utveckling av en demonstrationsplattform.

Vad gäller utveckling av skyddsapplikationer har dels den sedan tidigare utvecklade algoritmen för att detektera ödrift förfinats och gjorts mer tillförlitlig genom att använda fasvinkel-skillnader, filtrerade för att minska effekten av regelbundna ändringar, som indata till detekteringsalgoritmen. Den förfinade algoritmen är publicerad i en av de ledande tidskrifterna inom området, IEEE Transactions on Smartgrids [3]. Därutöver har en känslighetsanalys genomförts för en liknande, men enklare algoritm för att detektera ödrift, resultaten av denna känslighetsanalys har dels presenterats på en vetenskaplig konferens [2] och dels i en vetenskaplig tidskrift[1]. Innehållet i artiklarna är detsamma, och att publikationen tas upp två gånger är eftersom artiklar från konferensen erbjuds möjlighet att publiceras även i tidskriften.

Vad gäller mät och beräkningsplattformar har projektet resulterat i en metod för att utifrån en enda mätning skapa flera parallella dataströmmar med olika kvalitet och upplösning. Detta görs i ett så tidigt skede av mät-kedjan som möjligt, i så kallade Distribuerade signalbehandlingsenheter (Distributed signal processing units). Genom att göra analysen och signalbehandlingen tidigt i kedjan och distribuera endast förädlad mätdata kan man dels uppnå att lasten på kommunikationsnäten minskas, och dels att beräkningsresurser i de centrala plattformarna kan fokuseras på skyddstillämpningarna. Metoden har publicerats i IEEE Transactions on Power delivery [5]. Med denna metod kan man uppnå flexibilitet i vilken data som används för skyddsapplikationen genom att denna kan ”prenumerera” på data av den upplösning och kvalitet som är nödvändig för applikationen utan att själv behöva genomföra filtrering och signalbehandling.

Slutligen har projektet indirekt bidragit till delar av utveckling av en demonstrationsplattform – en IED (Intelligent electronic device) avsedd för skydd av HVDC nät, de delar som specifikt doktoranden Fabian Hohn bidragit med är algoritmer för signalbehandling som togs fram för mät och beräkningsplattformen ovan.

Diskussion

Detta projekt är i huvudsak ett doktorandprojekt bedrivet vid KTH, det betyder att de resultat som tagits fram inte är omedelbart omsättningsbara i Energisystemet. Resultaten i form av vetenskapliga publikationer har spridits i högst relevanta kanaler – både tidskrifter och konferens. Projektet har också resulterat i en doktorsavhandling.

Resultaten från projekten har trots detta bidragit till utveckling av en demonstrationsplattform för skyddstillämpningar i HVDC nät. Dessutom har doktoranderna som varit delaktiga i projektets två steg handlett studenter i sina projekt och examensarbete vilka genomförts hos industriföretag som är

verksamma inom området. Det finns därmed en spridning av resultaten vidare till industrin.

Publikationslista

- [1] T. Rabuzin, F. Hohn, and L. Nordström, 'Computation of sensitivity-based islanding detection parameters for synchronous generators', *Electric power systems research*, vol. 190, 2021.
- [2] Tin Rabuzin, Fabian Hohn, Lars Nordström, *Computation of Sensitivity-Based Islanding Detection Parameters for Synchronous Generators*, In *proceedings of Power Systems Computation Conference 2020, Porto, Portugal, 2020*
- [3] T. Rabuzin and L. Nordström, 'Data-Driven Islanding Detection Using a Principal Subspace of Voltage Angle Differences', *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 12, no. 5, pp. 4250–4258, 2021.
- [4] F. Hohn and L. Nordström, 'Integrating Signals with High Sampling Rates for Transmission Line Protection in Digital Substations', *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2020.
- [5] F. Hohn, 'Distributed Signal Processing in Digital Substations : Integrating High Sampling Rate Measurements at the Process-Level', *PhD dissertation, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2021.*

Parallellt till redovisning av specifika projektresultat har en av doktoranderna i projektet - Fabian Hohn deltagit i arbetet med att bygga upp en demonstrationsplattform för skyddssystem. Plattformen har vissa gemensamma delar med det system som redovisats i denna publikation:

I. Jahn, F. Hohn, G. Chaffey, and S. Norrga, 'An Open-Source Protection IED for Research and Education in Multiterminal HVDC Grids', IEEE Transactions on Power Systems, vol. 35, no. 4, pp. 2949–2958, 2020.

Bilagor

Administrativ bilaga.