



ENERGINET

BEHOV FOR SYSTEMBÆRENDE EGENSKABER I DANMARK VED NETFEJL

Opsummering af Energinets analysearbejde

September 2017

Revideret 1. juni 2018: Tekstmæssige præciseringer er indarbejdet

OM PUBLIKATIONEN

Energinet leverer med denne publikation en generel præsentation af afdækningen af behovet for systembærende egenskaber i Danmark ved netfejl. Analyserne er gennemført i perioden 2015-2017 og giver et øjebliksbillede af behovet for systembærende egenskaber i Danmark lige nu og derudover et blik på udviklingen i behovet i de kommende år med forbehold for usikkerheden i udviklingen af transmissionsnettet.

Analyserne er baseret på omfattende mængder data og simuleringer, som ikke er gennemgået i publikationen, hvor kun de mest overordnede beskrivelser, antagelser og konklusioner bliver præsenteret.

Henvendelser vedrørende denne publikation eller de bagvedliggende analyser bedes rettet til afdelingsleder for Forsyningssikkerhed, Anders Pallesen Jensen, apj@energinet.dk.



ANALYSENS KONKLUSIONER OG KONSEKVENSER

Energinets analyse af behovet for systembærende egenskaber ved netfejl har haft en række konsekvenser for elsystemet og Energinets forståelse heraf.

De mange tusinde dynamiske simuleringer har givet Energinet et bredere og dybere billede end tidligere af elsystemets sårbarhed over for fejl. Desuden er der sket en lang række opdateringer af fx regneværktøjer og netmodeller til gavn for fremtidige analyser.

Analysen viser, at elnettet af hensyn til fejl i elnettet selv dækker behovet for systembærende egenskaber ved intakt net. Intakt net vil sige rådighed over alle netkomponenter med væsentlig betydning for systembærende egenskaber. Af hensyn til systembærende egenskaber på grund af fejl i elnettet vil det fremover således kun være nødvendigt at sikre, at centrale kraftværker er i drift, når nettet er svækket ved utilgængelighed af bestemte linjer eller andre centrale netkomponenter. I disse situationer med mangler i elnettet kan der opstå behov for, at specifikke centrale kraftværker er i drift.

Energinets tidligere indkøb af systembærende egenskaber medførte, at et vist antal centrale kraftværker altid var i drift af hensyn til systemsikkerheden. Den nye analyse viser, at dette ikke længere er nødvendigt, fordi systemet er mere stabilt end hidtil antaget. Med revurderingen af behovet er systemet dermed ikke længere beskyttet mod et meget usandsynligt antal fejl, men kun mod det antal fejl og de fejltyper, som Energinets

16/03020-38

dimensioneringskriterier tilsiger. Dermed bliver niveauet af forsyningssikkerhed som ønsket i forhold til systembærende egenskaber. Reduktionen i indkøbet og dermed bortfaldet af en væsentlig omsætning for de centrale kraftværker er dermed en optimering af de samfundsøkonomiske omkostninger, da kun de nødvendige systembærende egenskaber nu sikres.

Kraftværkerne vil isoleret set opleve færre bindinger på deres drift på grund af den reducerede efterspørgsel på systembærende egenskaber fra disse enheder. Således vil kraftværkernes revisionsplanlægning blive friere, og de vil opleve færre beordringer pga. systembærende egenskaber. De vil dog fortsat opleve bindinger af andre hensyn end systembærende egenskaber og fortsat være underlagt de tekniske forskrifters krav.

Energinets indkøb af systembærende egenskaber har betydet, at flere kraftværker var i drift, end det ellers ville være tilfældet. Særligt i sommerperioden har det, udover lavere elpriser end ellers, betydet, at risikoen for effektmangel har været mindre end ellers. Det reducerede indkøb kan således få den konsekvens, at der vil opstå flere situationer, særligt i sommerperioden, hvor Energinet får behov for at have centrale kraftværker driftsklare af andre hensyn, fx effekttilstrækkelighed. Energinets tidligere indkøb af systembærende egenskaber har således reelt skygget for andre problematikker, som nu klarere ser dagens lys.



HVAD ER SYSTEMBÆRENDE EGENSKABER OG HVAD ER DERES FUNKTION?

Systembærende egenskaber er de ydelser, der er nødvendige for at opretholde en sikker og stabil drift af elsystemet, og som ikke nødvendigvis tilvejebringes gennem elmarkederne.

Driften af elsystemet skal være sikker og stabil i såvel situationer med intakt net som i ekstraordinære situationer. Ekstraordinære situationer er kendetegnet ved, at mindst én hændelse pludselig er indtruffet, fx havari af en systembærende enhed eller en kortslutning, som medfører utilgængelighed af en given netkomponent, fx en 400 kV ledning eller en transformer. Alle andre situationer betegnes som intakt net, dvs. rådighed over alle netkomponenter med væsentlig betydning for systembærende egenskaber.

Behovet for systembærende egenskaber er generelt begrænset ved intakt net, imens behovet i en ekstraordinær situation kan være betydeligt. I begge situationer skal driften være sikker og stabil, og her er det kritisk, at elsystemets systembærende egenskaber er tilstrækkelige.

Energinet indkøber systembærende egenskaber ved at betale et kraftværk for at være i drift, sådan at Energinet har sikkerhed for, at leverancen af systembærende egenskaber finder sted. I nogle tilfælde betaler Energinet for, at et kraftværk kan gå i drift med et kortere varsel end ellers for at have sikkerhed for, at de nødvendige systembærende egenskaber kan leveres, hvis behovet opstår.

De systembærende egenskaber er nødvendige for, at elsystemet har tilstrækkelig frekvensstabilitet, spændingsstabilitet og kortslutningseffekt.

Ved *frekvensstabilitet* forstås opretholdelse af stabil frekvens, ud over hvad balanceringen i de aktive effektmarkeder sikrer. Inerti og frekvensregulering er de relevante egenskaber for at sikre frekvensstabilitet. Inerti har ikke indgået i Energinets studier beskrevet i denne præsentation, da tilvejebringelse af inertie skal sikres på regionalt niveau. Frekvensregulering sker gennem indkøbte reserver og har heller ikke indgået i studierne bag denne præsentation.

Ved *spændingsstabilitet* forstås opretholdelse af en stabil spænding med mindst mulig transport af reaktiv effekt og maksimering af den aktive effekttransport. Spændingsstabilitet er desuden kritisk for at sikre, at fejl i nettet ikke medfører udfald af utiladelige mængder af decentraliseret produktion. Dynamisk spændingsregulering er den relevante egenskab.

Ved *kortslutningseffekt* forstås opretholdelse af et passende niveau af kortslutningseffekt, som muliggør stabil drift af elsystemet, så både de klassiske jævnstrømsforbindelser (LCC) og anvendte relæbeskyttelser kan fungere korrekt.

Uden tilstrækkelige systembærende egenskaber er der risiko for ustabil drift af elsystemet, hvilket ultimativt kan bringe forsyningsikkerheden i fare.



ÆNDRINGER I ELSYSTEMET MEDFØRER ÆNDREDE BEHOV FOR SYSTEMBÆRENDE EGENSKABER

Ethvert elsystem har et vist behov for systembærende egenskaber bestemt af systemets karakteristika i form af produktionsenheder med forskellige tekniske egenskaber og driftsmønstre, nettopologi, spændingsniveauer, forbindelser til udlandet og de driftsmæssige håndtag til rådighed for Energinets kontrolcenter. Når elsystemet ændres, ændres også behovet for systembærende egenskaber.

Det danske elsystem undergår fortsat store forandringer, hvor centrale systembærende enheder får færre og færre driftstimer, nettet udvikles og den teknologiske udvikling medfører øgede muligheder for anvendelse af automation til optimering af driften af elnettet.

Tabellen på den følgende side forklarer, hvordan disse ændringer i det danske elnet påvirker behovet for systembærende egenskaber.

HVDC teknologi

Energinet har mange års erfaring med jævnstrømsforbindelser til udlandet, hvor både den traditionelle LCC-teknologi og den nyere VSC-teknologi finder anvendelse. VSC-teknologien blev introduceret i Danmark i form af Skagerrak 4 forbindelsen. De to HVDC-teknologier har forskellige karakteristika og har dermed forskellig påvirkning på behovet for systembærende egenskaber i Danmark.

Line-Commutated Converter (LCC)

Traditionelt er HVDC-forbindelser baseret på tyristorteknologi, hvor konverteren typisk er af typen kaldet Line-Commutated Converter eller LCC. Denne teknologi har behov for et forholdsvist højt niveau af kortslutningseffekt for at fungere stabilt. Uden et tilstrækkeligt niveau af kortslutningseffekt vil der for en LCC-forbindelse kunne opstå kommuteringsfejl og anden driftsmæssig ustabilitet, som kan medføre udfald af forbindelsen. En LCC-forbindelse kan udelukkende bruges til at overføre aktiv effekt fra et område til et andet samt bidrage med forskellige reguleringsfunktioner, fx frekvensregulering m.m.

Voltage Source Converter (VSC)

I de senere år er der kommet en ny teknologi på HVDC-markedet baseret på transistorteknologi. Konverteren er her af typen Voltage Source Converter eller VSC. Denne teknologi stiller ikke på samme måde restriktive krav til kortslutningsniveauet, hvorfor dens drift typisk er mere stabil i forbindelse med driftsforstyrrelser. Ud over at overføre aktiv effekt fra et område til et andet, kan en VSC-konverter også levere andre ydelser, fx dynamisk spændingsregulering og frekvensregulering m.m.



OVERSIGT OVER BETYDENDE ÆNDRINGER I TRANSMISSIONSNETTET

Ændring	Konsekvens
Kabellægning af 132/150 kV-luftledninger og flere 400 kV-systemer.	Nettet bliver tættere sammenkoblet, hvilket bevirker, at spændingsdyk i forbindelse med netfejl breder sig længere væk fra fejlstedet, sådan at flere produktionsenheder påvirkes af fejl, og behovet for systembærende egenskaber øges. Omvendt gør flere 400 kV-systemer elnettet mere stabilt i yderområderne og mindre sårbart ved netmangler, hvilket reducerer behovet for systembærende egenskaber.
Ændring i produktionsapparatet	
Færre decentrale kraftvarmeværker	Med færre decentrale enheder udkobles generelt også færre decentrale enheder i forbindelse med netfejl. Dette reducerer udfaldet af decentral produktion ved netfejl.
Flere moderne vindmøller	Moderne vindmøller udkobles ikke i forbindelse med fejl i nettet, men understøtter derimod systemet ved fejl. Begge dele reducerer behovet for systembærende egenskaber.
Færre ældre vindmøller	Færre ældre møller giver mindre produktionsudfald og hurtigere spændingsgenopbygning i forbindelse med netfejl og reducerer behovet for systembærende egenskaber.
Stærkere udlandsforbindelser, både AC og DC	Flere AC-forbindelser mod kontinentet fra Vestdanmark betyder, at Vestdanmark kobles tættere sammen med det kontinentale vekselstrømsnet. Kontinentet virker dermed i større grad stabiliserende på Vestdanmark, hvilket reducerer behovet for systembærende egenskaber. Nye HVDC-forbindelser i Vestdanmark baseres på VSC-teknologi, der leverer systembærende egenskaber.
Øget automation	Passive netkomponenter som reaktorer og kondensatorer anvendes i stigende grad aktivt til at afhjælpe fejl gennem automatisk ind- og udkobling. Dette reducerer behovet for systembærende egenskaber.



HVORDAN UNDERSØGES BEHOVET FOR SYSTEMBÆRENDE EGENSKABER?

Energinet har gennemført særdeles omfattende og grundige studier af behovet for systembærende egenskaber i Danmark i ekstraordinære situationer. Grundlaget for studierne er en række såkaldte effektbalancer, det vil sige forskellige øjeblikbilleder af elsystemet, fx samtidig import fra Tyskland og eksport mod Norden, mens vindproduktionen er meget høj. I hver balance undersøges konsekvensen af en række alvorlige fejl i elnettet med forskellige kombinationer af systembærende enheder til rådighed. Med tilstrækkeligt mange balancer, fejl og kombinationer af systembærende enheder afdækkes alle relevante fejlscenarier. Energinet har gennemført ca. 5.000 dynamiske simuleringer af fejlsituationer for Vestdanmark og ca. 8.000 for Østdanmark.

Behovet fastsættes derpå ved at undersøge, om og i så fald hvordan elsystemets systembærende egenskaber skal forbedres, for at konsekvenserne i det mest kritiske fejlscenarie er acceptable.

Energinets driftskriterier er bestemmende for, om et givet sæt konsekvenser er acceptable. Driftskriterierne indebærer for eksempel, at spændingen i transmissionsnettet skal holde sig inden for visse grænser i et vist tidsrum i forlængelse af en fejl i nettet, og at en fejl i nettet maksimalt må medføre en vis mængde udfald af produktion.

Ud over disse kriterier er antagelser om elsystemets eget bidrag til de systembærende egenskaber afgørende. Ledninger, kabler og statiske netkomponenter (kondensatorer og reaktorer)

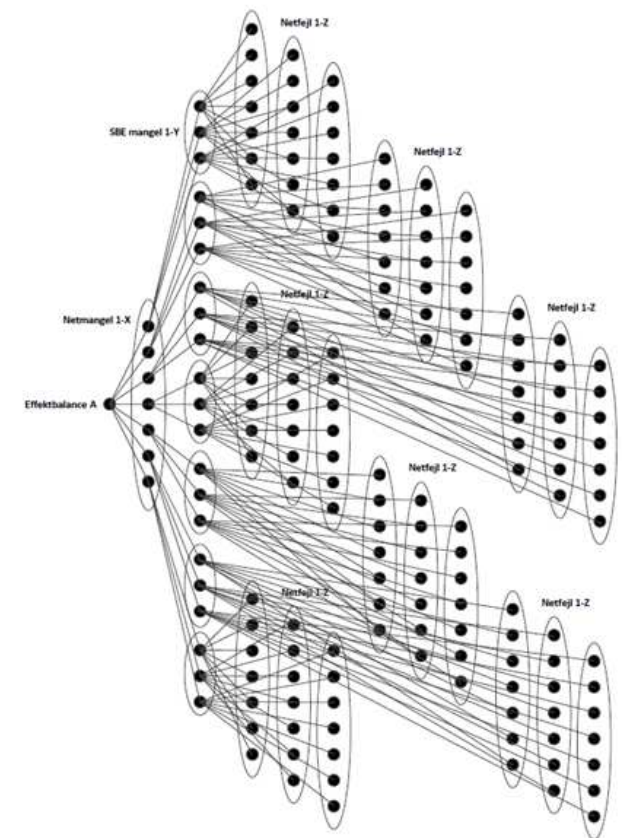
leverer i sig selv i et vist omfang systembærende egenskaber. Men derudover findes der netkomponenter under Energinets ejerskab med mere dynamiske egenskaber. De typiske eksempler herpå er Voltage Source Converter-konvertere (VSC-konverter) eller synkronkompensatorer.

Som en del af den nyeste udlandsforbindelse til Norge, Skagerrak 4 (SK4), er der etableret en VSC-konverter. Dette anlæg er en forudsætning for, at der kan ske udveksling af energi med Norge. Men derudover er anlægget også i stand til at levere systembærende egenskaber i Danmark stort set uden driftsomkostninger.

SK4-konverteren er indgået i Energinets studier på lige fod med synkronkompensatorerne i Fraugde (Vestdanmark) og Herslev og Bjæverskov (Østdanmark) og de kommende VSC-konvertere i Endrup og Revsing (begge Vestdanmark). Det vil sige, at simuleringerne har undersøgt effekten af mangel af disse enheder, enkeltvist og i kombination.

Da VSC-konvertere kan levere systembærende egenskaber stort set omkostningsfrit er de fraregnet behovet, som kan dækkes af andre aktører. Grundet tekniske forhold omkring de ældre synkronkompensatorer i Tjele og Vester Hassing (begge Vestdanmark) er disse fraregnet behovet på samme vis.

Behovet er opgjort separat for Vest- og Østdanmark, da systembærende egenskaber ikke kan overføres på tværs af jævnstrømsforbindelser.



DRIVEREN FOR BEHOVET FOR SYSTEMBÆRENDE EGENSKABER

Behovet for systembærende egenskaber i DK1 og DK2, ud over systemets eget bidrag, kan i grove træk indsnævres til et behov for dynamisk spændingsregulering i form af hurtig og stabil spændingsgenopbygning i forbindelse med netfejl.

Dette behov er nødvendigt for at reducere udfaldet af decentraliseret produktion til et acceptabelt niveau, som er det grundlæggende problem. Decentraliseret produktion omfatter decentrale kraftvarmeværker og specielt ældre vindmøller uden *FRT-egenskaber*, særligt landvindmøller.

De ældre vindmøller har været et stort fokuspunkt i analyserne. Dels i forhold til at fastlægge deres *maksimalt arbejds punkt*. Dels i forhold til at estimere kapaciteten heraf, altså hvor meget produktion, der *kan* falde ud i forbindelse med en netfejl.

I tidligere studier af behovet for systembærende egenskaber har der været anvendt et maksimalt arbejds punkt svarende til årsmaksimum tillagt en vis sikkerhedsmargin.

En undersøgelse af den maksimale elproduktion på de ældre vindmøller har vist, at alle disse møller aldrig producerer maksimalt på samme tid, da de er placeret over hele Danmark og vindforholdene ikke er ens på tværs af Danmark. Undersøgelsen viser desuden, at det er ekstremt sjældent, at disse møllers produktion i gennemsnit overstiger 90 % af deres installerede effekt på samme tid.

Virkeligheden svarer dog ikke altid til en gennemsnitbetragtning. Det er således også undersøgt, om en ikke-gennemsnitlig geografisk fordeling af en samlet vindproduktion svarende til 90 % af maksimalproduktionen kan medføre større udfald. Det har ikke været tilfældet.

Alle observationer med den højeste produktion har været i vinterhalvåret. Om sommeren har produktionen aldrig oversteget ~~ca.~~ 82 %. For sommeren er der indregnet en usikkerhedsfaktor grundet risikoen for en ikke-gennemsnitlig geografisk fordeling af produktion. En maksimalproduktion på henholdsvis 90 % om vinteren og 85 % om sommeren for de ældre vindmøller er således indgået som en central antagelse i Energinets studier.

De ældre vindmøller omfatter vindmøller opsat indtil 2008. Problematikken er altså drevet af en eksisterende bestand af vindmøller og vil aftage, i takt med at møllerne nedtages. Som en del af behovsanalysen og som en del af Energinets generelle arbejde med analyseforudsætninger, har Energinet detailundersøgt forudsætningerne for kapaciteten af ældre vindmøller og har opdateret analysens kapacitetsgrundlag herefter.

En yderligere central antagelse er udviklingen i nabolandene, særligt i Sverige. VSC-forbindelserne NordBalt og SydVästlänken bidrager til de systembærende egenskaber i Østdanmark.



BEHOVET FOR SYSTEMBÆRENDE EGENSKABER I VEST- OG ØSTDANMARK

I *Vestdanmark* har analyserne vist, at det eksisterende elsystem inklusiv SK4-konverteren og de mindre synkronkompensatorer i Tjele og Vester Hassing er tilstrækkeligt til at modstå de undersøgte fejl. Ved vindproduktion på de ældre møller på over 85 % skal synkronkompensatoren i Fraugde eller Fynsværket dog være i drift. Synkronkompensatoren kan opstartes på ca. 15 minutter, efter at en fejl er indtruffet, og kan dermed gøre systemet parat til at modstå en yderligere fejl. Uden synkronkompensatoren ville Energinet skulle beordre Fynsværket i drift i langt flere situationer.

Behovet for systembærende egenskaber i Vestdanmark ved netfejl påvirkes i de kommende år af en tættere kobling til udlandet, flere nye vindmøller og nedtagning af ældre vindmøller. Den tættere kobling til udlandet sker ved, at vekselstrømsforbindelserne til Tyskland udbygges, hvilket øger Tysklands stabiliserende indvirkning på Vestdanmark, og at der etableres HVDC-forbindelser til Holland og England, hvor den valgte løsning betyder, at der etableres VSC-konvertere, der leverer yderligere systembærende egenskaber uden betydende driftsomkostninger. Behovet for systembærende egenskaber (fraset systemets eget bidrag) vil derfor være faldende fremover.

I Østdanmark er elsystemet ikke lige så robust som i Vestdanmark ved fejl i nettet. Problematikken er dog grundlæggende den samme i form af risiko for spændingsustabilitet samt udfald af decentraliseret

produktion ved fejl i nettet.

I Østdanmark er der behov for et yderligere bidrag til de systembærende egenskaber ud over systemets eget bidrag ved fejl i nettet. Dette behov kan dækkes ved fx at holde en af Energinets synkronkompensatorer i drift.

Analyserne har påvist en særskilt problematik i den sydlige del af nettet. Decentraliseret produktion i denne del af nettet er særligt udsat i tilfælde af en fejl i nettet, da spændingsunderstøttelsen her er lille. Da havmølleparken Rødsand 1 er etableret i 2003, før kravet *FRT*-egenskaber blev indført, udgør denne havmøllepark i en fejlsituation en alvorlig trussel mod systemets stabilitet og sikkerhed.

Systembærende enheder i det nordlige net (hvor der findes 400 kV-net) kan ikke afhjælpe denne lokale problematik. Der er således behov for mere lokale løsninger. Ved at implementere automatisk (spændingsstyret) ind- og udkobling af eksisterende reaktorer samt etablere et netværn i det sydlige net kan problematikken imidlertid løses. Der er her tale om meget omkostningseffektive tiltag, som ikke kræver væsentlige investeringer fra Energinets side.

Ud over dette generiske behov, vil der i både Vest- og Østdanmark opstå situationer, hvor netmangler (fx på grund af revisionsarbejde) betyder, at behovet vil være større end beskrevet her. Det konkrete behov her afhænger af den konkrete netmangel og kan således ikke beskrives generelt.



ENERGINET

Tonne Kjærsvej 65
7000 Fredericia
Tlf 70 10 22 44

info@energinet.dk
www.energinet.dk

