

11.2.2022

## Erityistarkasteluvaatimukset suuntaajakytketyille voimalaitoksille liittyen alisynkroniseen vuorovaikutusriskiin

### 1 Johdanto

Tässä asiakirjassa asetetaan erityistarkasteluvaatimukset kaikille Fingridin sarjakompensoidun verkon läheisyyteen liittyville tyyppin D suuntaajakytketyille voimalaitoksille. Vaatimukset asetetaan Voimalaitosten järjestelmäteknisten vaatimusten erityistarkasteluvaatimusten perusteella (ks. VJV2018 / luku 5, [1]). Liittyjän tulee pyytää erityistarkasteluvaatimusten arviointia Fingridiltä hyvissä ajoin, jotta vaatimukset tulevat huomioituiksi voimalaitoksen suunnittelussa ja laitehankinnoissa.

Tämä dokumentti korvaa aiemman, 7.1.2021 julkaistun dokumenttiversioidun samasta vaatimusmäärittelystä. Vaatimuksia sovelletaan hankkeisiin, joille Fingrid ei ole vielä suorittanut erityistarkasteluvaatimusten arviointia. Erityistarkasteluvaatimukset arvioidaan aina voimalaitoskohtaisesti, jolloin sovellettavia vaatimuksia voidaan täsmentää tarvittaessa.

Fingrid on selvittänyt vuosien 2020-2021 aikana suuntaajakytkettyjen voimalaitosten ja Fingridin sarjakompensoidun verkon välistä 5-45 Hz:n taajuusalueella esiintyvää alisynkronista vuorovaikutusta (SSO, Subsynchronous Oscillations). Tehdyn selvityksen perusteella sarjakompensoidun verkon läheisyyteen liittyvät suuntaajakytkety voimalaitokset voivat joutua alisynkroniseen vuorovaikutukseen sarjakompensoidun verkon kanssa. Fingrid on julkaissut verkkosivuillaan teknisen selvityksen aiheesta englanniksi [2].

Vaimentumaton alisynkroninen vuorovaikutus voimalaitoksen ja sarjakompensoidun verkon välillä voi aiheuttaa merkittäviä alisynkronisia virtoja ja jännitteitä. Alisynkroninen vuorovaikutus tulee huomioida voimalaitoksen suunnittelussa ja toteutuksessa, jotta ilmiöstä ei aiheudu voimalaitokselle toistuvaa lyhytaikaista epäkäytettävyyttä suojauksen toimiessa tai merkittävää epäkäytettävyyttä laitteiden rikkoutuessa. Näiden vaatimusten tarkoituksena on:

- varmistaa voimalaitoksen suojaus haitallisia alisynkronisia virtoja ja jännitteitä vastaan,
- minimoida alisynkronisen vuorovaikutuksen riski siirtoverkon eri käyttötilanteissa ml. siirtokeskeytystilanteet sekä tyypilliset häiriö- ja vikatilanteet,
- varmistaa, että voimalaitoksesta on käytettävissä tarvittavat mallinnus- ja mittaustiedot.

Edellä mainitut toimenpiteet parantavat voimalaitoksien käytettävyyttä sekä ylläpitävät koko sähköjärjestelmän käyttövarmuutta ja häiriöttömyyttä.

Fingridin tekemässä selvityksessä [2] on tarkasteltu erityisesti tuulivoimalaitoksia. Liityntälaitteiston teknologia voi olla samanlainen myös muissa suuntaajakytketyissä voimantuotantomuodoissa, joten tämä vaatimus asetetaan kaikille tyyppin D

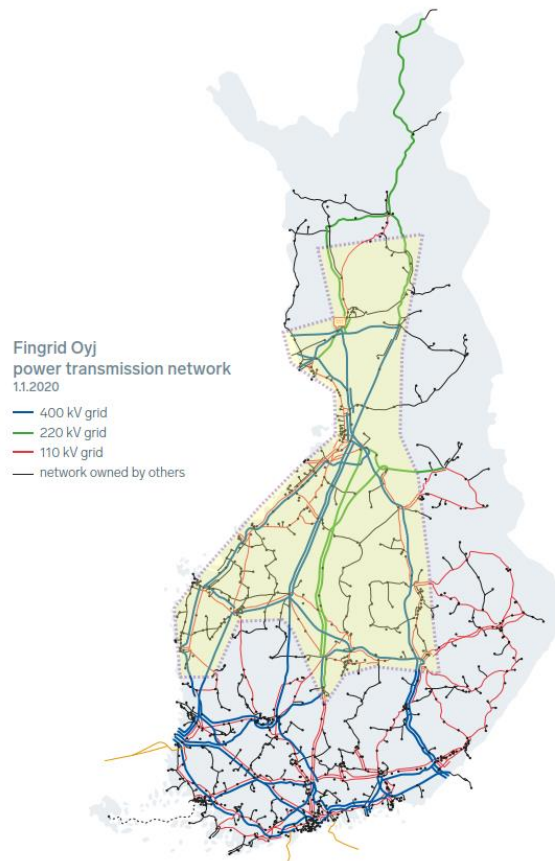
11.2.2022

suuntaajakytketyille voimalaitoksille, jotka liittyvät sarjakompensoidun verkon läheisyyteen.

## 2 Vaatimusten soveltamisala

Alisynkronisen vuorovaikutuksen huomioimiseksi tarvittaviin toimenpiteisiin liittyvät vaatimukset on jaettu suojaus-, mallinnus-, vaimennus- ja instrumentointivaatimuksiin.

Vaatimukset asetetaan Fingridin sarjakompensoidun verkon läheisyyteen liittyville tyyppin D suuntaajakytketyille voimalaitoksille. Asetettavien vaatimusten laajuus riippuu voimalaitoksen mitoitustehosta ( $P_{max}$ ). Vaatimukset ovat voimassa, mikäli voimalaitoksen liittymispiste tai voimalaitoksen liityntäverkon liittymispiste sijaitsevat kuvassa 1 keltaisella merkityllä alueella. Aluerajaus on suuntaa-antava ja sen reunoilla vaatimusten voimassaolo tarkastellaan liittymispistekohtaisesti.



*Kuva 1. Vaatimukset ovat voimassa, mikäli voimalaitoksen liittymispiste tai voimalaitoksen liityntäverkon liittymispiste sijaitsevat kuvassa 1 keltaisella merkityllä alueella. Aluerajaus on suuntaa-antava ja sen reunoilla vaatimusten voimassaolo tarkastellaan liittymispistekohtaisesti.*

11.2.2022

**Vaatimuksia sovelletaan seuraavasti suuntaajakytkettyihin voimalaitoksiin:**

## 1. Suojausvaatimukset

Suojausvaatimukset asetetaan kaikille Fingridin sarjakompensoidun verkon läheisyyteen liittyville tyyppin D suuntaajakytketyille voimalaitoksille.

## 2. Mallinnusvaatimukset

Mallinnusvaatimukset asetetaan kaikille Fingridin sarjakompensoidun verkon läheisyyteen liittyville tyyppin D suuntaajakytketyille voimalaitoksille.

Alle 60 MW:n täyssuuntaajakonverttereilla (FC, Full Converter) toteutetuista voimalaitoksista ei tarvitse toimittaa dynaamisen impedanssiskannauksen tuloksia (kohta 3.2.2.3).

## 3. Vaimennusvaatimukset

Vaimennusvaatimukset asetetaan kaikille Fingridin sarjakompensoidun verkon läheisyyteen liittyville tyyppin D suuntaajakytketyille voimalaitoksille, joiden mitoitusteho on yli 60 MW.

Lisäksi kaikki tyyppin D kaksoissyötetyillä epätahtigeneraattoreilla (DFIG, Double-Fed Induction Generator) toteutetut tuulivoimalaitokset tulee varustaa alisynkronista vuorovaikutusta vaimentavalla vaimennussäädöllä, joka viritetään Fingridin toimittaman liittymispisteen impedanssiprofiiliin perusteella.

## 4. Instrumentointivaatimukset

Instrumentointivaatimukset asetetaan kaikille Fingridin sarjakompensoidun verkon läheisyyteen liittyville tyyppin D suuntaajakytketyille voimalaitoksille, joiden mitoitusteho on yli 60 MW.

**3 Vaatimukset****3.1 Suojausvaatimukset**

Voimalaitos tulee suojata voimalaitoksen ja sarjakompensoidun verkon välille mahdollisesti syntyvältä alisynkroniselta vuorovaikutukselta, jotta laiterikoilta vältytään.

Suojauksen on kyettävä havaitsemaan luotettavasti jännitteessä ja virrassa esiintyvät alisynkroniset taajuuskomponentit. Suojauksen on toimittava selektiivisesti suhteessa voimalaitoksen ja verkon muuhun suojaukseen.

Suojaus voidaan toteuttaa päämuuntajatasolla tai erikseen jokaiseen suuntaajakytkettyyn tuotantoyksikköön. Tuulivoimalaitoksilla tämä tarkoittaa toteutusta puistotasolla tai turbiinitasolla. Mikäli suojaus toteutetaan päämuuntajatasolla ja päämuuntajia on useita, tulee päämuuntajakohtaisille suojille valita eri asetelut (aikaselektiivisyys).

11.2.2022

Liittyjä määrittelee suojauksen asetteluarvot huomioiden voimalaitoksen komponenttien, kuten suuntaajien, muuntajien, ylijännitesuojien ja apulaitteiden mitoituksen sekä VJV2018:n vaatimukset voimalaitoksen toiminnasta mm. taajuus-jännitetoiminta-alueella (VJV2018 / kuva 10.5) sekä jännitehäiriössä (10.5.2). Suojaus ei saa toimia virheellisesti esimerkiksi alitaajuustilanteessa, jossa järjestelmän perustaajuus laskee alueelle 47,5 – 50 Hz, jolla voimalaitoksen edellytetään pysyvän kytkeytyneenä verkkoon.

Fingrid suosittelee, että suojauksen teknisessä toteutuksessa noudatetaan seuraavia periaatteita:

- Alisynkroniset komponentit suodatetaan mittauksesta kaistanpäästösudattimella, jonka ylipäästötaajuus on 5-7 Hz ja alipäästötaajuus 42–45 Hz.
- Suojauksen toiminta perustuu suodatetun alisynkronisen värähtelyn amplitudiin, jonka perusteella suojauksen toiminta-aika määräytyy.
  - Ensisijaisesti toiminta-aika määräytyy käänteisaikaisen toimintakäyrän perusteella (suurempi amplitudi, lyhyempi toiminta-aika) lyhyimmän aseteltavissa olevan toiminta-ajan ollessa korkeintaan 500 ms.
  - Vaihtoehtona käänteisaikaiselle toiminnalle on toteutus vähintään kolmella vakioaika-asetteluun perustuvalla suojausportaalla. Suojausportaiden toiminta-aika on aseteltavissa vähintään välillä 500 ms – 60 s.

Suojauksen asetteluiden – kuten toiminta-aikojen ja suodattimien rajataajuuksien – tulee olla muutettavissa jälkikäteen. Fingrid suosittelee, että asetellut ovat muutettavissa etäyhteydellä.

Suojauksen toiminta tulee todentaa tehdaskokeissa tai vastaavissa testiolosuhteissa tuotetulla tyyppitestausraportilla. Tyyppitestistä tulee laatia ohje, joka hyväksytetään Fingridillä ennen kokeen suorittamista. Suojaukselle suoritettu laitetesti tulee toistaa projektikohtaisella PSCAD-mallilla luvun 3.2.2 mukaisesti.

Suuntaajakytketty voimalaitos voidaan vapauttaa osittain tai kokonaan edellä kuvatuista suojausvaatimuksista, mikäli Liittyjä kykenee osoittamaan, että voimalaitos ei osallistu alisynkroniseen vuorovaikutukseen voimajärjestelmän käyttövarmuutta heikentävällä tavalla. Mahdollinen vapautus ei kuitenkaan poista Liittyjän vastuuta suojata omaisuutensa mahdollisia liittymispisteessä esiintyviä sähkölaatupoikkeamia vastaan.

## 3.2 Mallinnusvaatimukset

Liittyjän tulee toimittaa simulointimalli ja laskentatulokset Fingridille mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, vähintään 6 kk ennen voimalaitoksen suunniteltua käyttöönottoa (ensimmäinen suuntaajakytketty yksikkö kytetään verkkoon).

### 3.2.1 Vaatimukset simulointimallille

Voimalaitoksesta tulee toimittaa PSCAD-malli, joka sisältää projektikohtaiset voimalaitoksen ohjaus- ja suojausjärjestelmät. Mallin tulee olla niin yksityiskohtainen, että se kykenee toistamaan voimalaitoksen todenmukaisen toiminnan alisynkronisella taajuuskaistalla. Malli voidaan toimittaa skaalattavana aggregoituna mallina.

11.2.2022

Mallinnuksen tulee kattaa voimalaitoksen toteutus seuraavassa laajuudessa:

1. Puistosäätäjän malli, sisältäen puiston ohjaus- ja säätöjärjestelmä.
2. Turbiinimallit, sisältäen turbiinien ohjaus- ja suojausjärjestelmät.
3. Voimalaitoksen sisäinen sähköverkko sisältäen päämuuntajan, turbiinimuuntajat, sekä edellä mainittujen väliset kaapeloinnit aggregoituna komponenttina.
4. Voimalaitoksen liittymispisteen ja päämuuntajan välinen sähköverkko.
5. Mahdolliset voimalaitoksen toimintaan olennaisesti vaikuttavat lisälaitteet, kuten mekaanisesti kytkettävät kondensaattorit (MSC) tai reaktorit (MSR) sekä näiden ohjauslogiikka.

Fingrid toimittaa mallinnusta varten liittymispisteen oikosulkuvirrat ja -impedanssit, ekvivalenttisen oikosulkusuhteen (ESCR) sekä passiivisen impedanssiprofiilin alisykronisella taajuuskaistalla.

### 3.2.2 Vaaditut mallinnustarkastelut

Voimalaitoksen PSCAD-mallilla tulee suorittaa

1. voimalaitosmallin toiminnan yleistä vaatimustenmukaisuutta kuvaavat VJV2018:n, [1], taulukossa 20.1 mainitut simuloinnit (jännitteensäädön askelvaste, lähivikakoe, loistehokapasiteetti ja mahdolliset laitoskohtaiset lisäsäädöt),
2. kohdan 3.1 SSO-suojaukselle suoritettujen laitetestin toistaminen vastaavan toiminnan osoittamiseksi

sekä

3. dynaaminen impedanssiskannaus, joka kuvaa voimalaitoksen taajuusvastetta alisykronisella taajuuskaistalla. Impedanssiskannausta tehtäessä voimalaitoksen jännitteensäätö tulee olla kytkettynä päälle ja viritettynä liittymispisteen vaatimusten mukaisesti. Skannaus tulee tehdä PQ-diagrammin viidessä eri toimintapisteessä:

- $P = P_{max}; Q = 0,33 [Q/P_{max}]$
- $P = P_{max}; Q = -0,33 [Q/P_{max}]$
- $P = P_{min}; Q = Q_{max}$
- $P = P_{min}; Q = Q_{min}$
- $P = P_{min}; Q = 0 [pu]$ .

11.2.2022

### 3.3 Vaimennustarkastelu ja -vaatimukset

Fingrid arvioi voimalaitoksen ja verkkokomponenttien välistä alisynkronista vuorovaikutusta liittyjän toimittaman PSCAD-mallin ja impedanssiskannauksen avulla (luku 3.2). Tarkastelussa verrataan liittyjän suorittaman impedanssiskannauksen tuloksia Fingridin suorittaman sähköverkon impedanssiskannauksen tuloksia vasten. Vertailu tehdään nykytilanteen sekä tulevaisuuden sähköverkon mallilla erilaisissa käyttö- ja keskeytystilanteissa.

Mikäli arvioinnin perusteella havaitaan, että voimalaitos voi joutua alisynkroniseen vuorovaikutukseen yhdellä tai useammalla taajuusalueella, vaaditaan voimalaitoksen säädön uudelleenviritys niin, että vuorovaikutus saadaan minimoitua. Uudelleenvirityksen jälkeen liittyjän tulee toimittaa päivitetty impedanssiprofiilit sekä PSCAD-malli Fingridille. Toimitettujen tietojen perusteella Fingrid arvioi uudelleen voimalaitoksen alisynkronista vuorovaikutusta.

Vaimentumattomasta alisynkronisesta vuorovaikutuksesta tavanomaisissa käyttö- ja keskeytystilanteissa aiheutuu voimalaitokselle toistuvaa lyhytaikaista epäkäytettävyyttä suojausten toimiessa tai merkittävää epäkäytettävyyttä laitteiden rikkoutuessa. Mikäli alisynkronista vuorovaikutusta ei saada vaimennettua voimalaitoksen säädön vaimennuspiirin virittämällä, tulee riittävä vaimennus saavuttaa voimalaitoksen teknistä suunnittelua muuttamalla tai täydentämällä.

### 3.4 Instrumentointivaatimukset

Voimalaitos tulee varustaa jatkuva-aikaisella mittauksella, joka täyttää seuraavat vaatimukset:

- Mittalaitteen tulee mitata ja tallentaa liittymispisteen, tai sitä lähinnä olevan voimalaitoksen päämuuntajan yläjännitepuolen, jännitteet ja virrat hetkellisarvoina vaihteittain.
- Mittalaitteen näytteistys- ja tallennustaajuuden tulee olla vähintään 1kHz.
- Mittaustietoja tulee säilyttää vähintään 60 vuorokautta.

Vaihtoehtoisesti jatkuva-aikaisen mittauksen sijaan voidaan käyttää liipaistavaa mittausta, joka täyttää edellä mainittujen vaatimusten lisäksi seuraavat kriteerit:

- Tallennusaika vikatapahtumaa ennen ja sen jälkeen on vähintään 30 + 30 sekuntia (engl. pre + post fault).
- Mittalaitteen tulee liipaista, kun:
  - jännitteen hetkellisarvo alittaa 0,95 tai ylittää 1,05 pu,
  - virran hetkellisarvo ylittää 1,10 pu,
  - suojarole toimii.

11.2.2022

## Viitteet

[1] Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset, VJV2018

(URL: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/palvelut/kayttovarma-sahkonsiirto/vjv2018.pdf>)

[2] Subsynchronous Oscillation Risks of Wind Power Plants Connecting to Finnish Series Compensated Network

(URL: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/palvelut/kulutuksen-ja-tuotannon-liittaminen-kantaverkkoon/subsynchronous-oscillation-risk-of-wpps-connecting-to-finnish-series-compensated-network-white-paper.pdf>)