



BILAG 1B

REQUIREMENTS FOR GENERATORS (RFG)

- KRAV TIL SIMULERINGSMODEL

ENERGINET
Elssystemansvar

Energinet
Tonne Kjærvej 65
DK-7000 Fredericia

+45 70 10 22 44
info@energinet.dk
CVR-nr. 39 31 49 59

Dato:
29. august 2022

Forfatter:
SBS/KAB/MKT/JEG/LAN/
CFJ/CSH

2	Offentlig udgave	LAN CFJ CSH	JMI	MPO HAB KDL JGA VLA JKW	SBN PHT	22.10.2020
3	Anmeldt udgave	SBS MKT KAB JEG	FBN	NAQ JKW YLI LDL	CFJ	30.08.2022
REV.	DESCRIPTION	PREPARED	CHECKED	REVIEWED	APPROVED	DATE

AFSNIT	TEKST	REVISION	DATO
Alle	Krav om levering af simuleringmodeller til Energinet for C-anlæg mellem 10-25 MW fjernet for synkrone og asynkrone produktionsanlæg. Krav til levering af simuleringmodeller til Energinet for D-anlæg fastholdt, udvidet og præciseret. Krav for D-anlæg udvidet med levering af EMT-simuleringmodel for synkrone produktionsanlæg. Øvrige præciseringer og opdateringer samt strukturopdateringer.	3	29.08.2022
2 Alle	Tabel 1: produktionsanlægstype C nærmere specificeret Redaktionelle rettelser, krydshenvisninger klikbare	2	22.10.2020
3.2.2.1.1	Opdatering ifm. Forsyningstilsynets godkendelse af indsendte krav (beskrivelse af anvendelsen af per unit værdier, Tabel 2)	1	13.11.2018

Nærværende dokument omfatter Energinets krav til simuleringsmodeller i forbindelse med nettilslutning af produktionsanlæg. Dokumentet indgår som krav i forbindelse med opdatering af den nationale gennemførelse af Kommissionens Forordning (EU) 2016/631 af 14. april 2016 om fastsættelse af netregler om krav til produktionsanlæg (*Requirements for Generators (RfG)*) [1] og omhandler således krav til simuleringsmodeller for synkrone produktionsanlæg og asynkrone (onshore og offshore) produktionsanlæg, jf. definitionen af disse.

Dokumentet beskriver:

- Funktionelle krav til de påkrævede simuleringsmodeller
- Krav til strukturel opbygning og implementering af de påkrævede simuleringsmodeller
- Dokumentationskrav for påkrævede simuleringsmodeller
- Nøjagtighedskrav til de påkrævede simuleringsmodeller
- Verifikationskrav for de påkrævede simuleringsmodeller.

Indhold

1. Baggrund	4
2. Generelle krav til simuleringsmodel.....	4
2.1 Overordnet dokumentationskrav	5
2.2 Proces for levering af simuleringsmodeller og relateret dokumentation.	6
3. Modeltekniske krav	7
3.1 Synkrone produktionsanlæg	7
3.1.1 Krav til stationær simuleringsmodel (stationære forhold og kortslutningsforhold)	7
3.1.2 Krav til dynamisk simuleringsmodel (PDT-model).....	9
3.1.3 Krav til transient simuleringsmodel (EMT-model).....	15
3.1.4 Krav til harmonisk simuleringsmodel	20
3.2 Asynkrone produktionsanlæg	21
3.2.1 Krav til stationær simuleringsmodel (stationære forhold og kortslutningsforhold)	21
3.2.2 Krav til dynamisk simuleringsmodel (PDT-model).....	23
3.2.3 Krav til transient simuleringsmodel (EMT-model).....	30
3.2.4 Krav til harmonisk simuleringsmodel	36
3.2.5 Aggregering af modeller for produktionsanlæg	38
4. Verifikation af simuleringsmodel	39
4.1 Dokumentationskrav	39
4.1.1 Evalueringskriterier	39
4.1.2 Testoplæg for modelverifikation	40
4.2 Synkrone anlæg verificeringsprocedure	40
4.2.1 Verifikationskrav til stationær simuleringsmodel	40
4.2.2 Verifikationskrav til dynamisk simuleringsmodel (PDT-model).....	41
4.2.3 Verifikationskrav til transient simuleringsmodel (EMT-model).....	41
4.3 Asynkrone anlæg verificeringsprocedure	42
4.3.1 Verifikationskrav til stationær simuleringsmodel	42
4.3.2 Verifikationskrav til dynamisk simuleringsmodel (PDT-model).....	42
4.3.3 Verifikationskrav til transient simuleringsmodel (EMT-model).....	50
4.3.4 Verifikationskrav til harmonisk simuleringsmodel	50
5. Referencer.....	51
Bilag 1.....	52
Bilag 2.....	53

1. Baggrund

Den igangværende omstilling af elsystemet, hvor konventionelle produktionsanlæg gradvist udfases og erstattes af mere komplekse produktionsanlæg, medfører, at Energinet har behov for større indsigt i disse nye anlægs systemmæssige påvirkning af det kollektive elforsyningssystem og dermed deres strukturelle opbygning.

Til analyseformål vedrørende planlægning, design og drift af det kollektive elforsyningssystem har Energinet behov for at kunne gennemføre net- og systemanalyser. For at dette kan gøres retvisende, kræves opdaterede og validerede simuleringsmodeller af alle større anlæg tilsluttet det kollektive elforsyningssystem. De krævede simuleringsmodellers anvendelse kan opsummeres til tre formål: anlægscompliance, systemintegrationsstudier og løbende systemevaluering. **Anlægscompliance** verificeres via simulering forud for idriftsættelse af ny produktionsanlæg, således at anlæggets robusthed eftervises, og det sikres, at produktionsanlægget ikke har en negativ påvirkning på forsyningssikkerheden af det kollektive elforsyningssystem. **Systemintegrationsstudier** udføres af Energinet i forbindelse med idriftsættelse af nye produktionsanlæg og skal sikre korrekt funktionalitet mellem alle anlæg i det kollektive elforsyningssystem. **Systemevaluering** giver løbende kontrol af elsystemet som en helhed og bliver realiseret ved, at alle produktionsanlæg inkluderet i Energinets net- og systemmodel automatisk indgår i diverse systemkritiske analyser. Dermed sikres den løbende kontrol af anlæggets compliance over hele produktionsanlæggets levetid.

Simuleringsmodellerne benyttes til analyse af transmissions- og distributionsnettets stationære og dynamiske forhold, herunder spændings-, frekvens- og rotorvinkelstabilitet, kortslutningsforhold, transiente fænomener samt harmoniske forhold.

Hjemlen til at fastsætte krav til simuleringsmodeller er givet i EU-forordningen om fastsættelse af netregler om krav til produktionsanlæg [1]. Energinet har ved kravfastsættelsen i størst muligt omfang refereret til internationale standarder, så anvendte definitioner og procedurer er i overensstemmelse med internationale standarder.

2. Generelle krav til simuleringsmodel

Anlægs ejeren skal stille simuleringsmodeller til rådighed for Energinet [1], hvor disse simuleringsmodeller på korrekt vis skal afspejle produktionsanlæggets egenskaber både i stationær og quasi-stationær tilstand. Til brug ved tidsdomæneanalyser skal anlægs ejeren desuden stille en dynamisk "phasor-domain transient" simuleringsmodel (PDT-model¹) og en elektromagnetisk transient simuleringsmodel (EMT-model) til rådighed for Energinet. Til analyse af harmoniske forhold i det kollektive elforsyningssystem, herunder produktionsanlæggets bidrag til harmonisk emission i tilslutningspunktet, skal anlægs ejeren ligeledes stille en harmonisk simuleringsmodel til rådighed.

Kravet til simuleringsmodeller og leveringsomfang for de enkelte typer af produktionsanlæg [1] fremgår af Tabel 1. Anlægs ejeren er ansvarlig for, at en sådan model fremsendes finder sted til rette tid i henhold til den gældende procedure for nettilslutning af produktionsanlæg og under iagttagelse af gældende lovgivning og regulering i øvrigt.

¹ PDT-model blev tidligere kaldet RMS-model, og gør det stadig andre steder, men er omdøbt i dette dokument, da PDT vurderes at være mere retvisende.

Produktionsanlægstype	Synkrone produktionsanlæg	Asynkrone produktionsanlæg
Type A	Intet krav om simuleringsmodel	Intet krav om simuleringsmodel
Type B	Intet krav om simuleringsmodel	Intet krav om simuleringsmodel
Type C	Intet krav om simuleringsmodel	Intet krav om simuleringsmodel
Type D	Stationær simuleringsmodel PDT-simuleringsmodel EMT-simuleringsmodel	Stationær simuleringsmodel PDT-simuleringsmodel EMT-simuleringsmodel Harmonisk simuleringsmodel

Tabel 1 Krav til simuleringsmodeller for de enkelte typer af produktionsanlæg.

Anlægsejeren skal sikre, at simuleringsmodellerne er verificeret med resultaterne af de definerede overensstemmelsesprøvninger [1] samt relevante test- og verifikationsstandarder, og skal fremsende den nødvendige dokumentation herfor.

Såfremt produktionsanlægget indeholder eksterne komponenter, fx af hensyn til overholdelse af nettilslutningskravene eller til levering af kommercielle systemydelser, skal simuleringsmodellen indeholde den nødvendige repræsentation af disse komponenter gældende for alle påkrævede modeltyper.

Anlægsejeren skal, fra produktionsanlæggets designfase til tidspunktet for Energinets udstedelse af endelig driftstilladelse (FON), løbende holde Energinet orienteret, hvis de foreløbige anlægs- og modeldata ikke længere kan antages at repræsentere det endeligt idriftsatte produktionsanlæg.

For et eksisterende produktionsanlæg, hvor der foretages væsentlige ændringer [1] af produktionsanlæggets egenskaber, skal anlægsejeren stille en opdateret² og dokumenteret simuleringsmodel til rådighed for det ombyggede anlæg.

Modelleverancen betragtes først som afsluttet, når Energinet har godkendt de af anlægsejeren fremsendte simuleringsmodeller og den påkrævede dokumentation.

2.1 Overordnet dokumentationskrav

For at sikre korrekt modelanvendelse, skal de påkrævede simuleringsmodeller dokumenteres i form af en brugervejledning. Krav for brugervejledningen er inkluderet i de respektive afsnit for modeltype i indeværende dokument. Der skal være entydig versionsstyring af simuleringsmodellen og den tilhørende dokumentation.

Foruden simuleringsmodel og brugervejledning skal følgende dokumentation leveres:

- Enstregdiagram med angivelse af simuleringsmodellens elektriske hovedkomponenter frem til tilslutningspunktet.
- En samlet parameterliste, hvor alle parameterværdier skal kunne genfindes i de medfølgende datablade for hovedkomponenter, blokdiagrammer og overføringsfunktioner m.m.
- Beskrivelse af opbygning og aktiveringsniveauer for anvendte beskyttelsesfunktioner.
- Data for netkomponenter og øvrige dele, som indgår i anlægsinfrastrukturen.

² Den nødvendige modelopdatering omfatter kun de udskiftede anlægskomponenter eller systemer til kontrol, regulering eller anlægsbeskyttelse, idet det antages, at Energinet i udgangspunktet har en gyldig simuleringsmodel for det pågældende produktionsanlæg. Hvor dette ikke er tilfældet, vil en væsentlig ændring af produktionsanlægget medføre krav om en komplet og fuldt dokumenteret simuleringsmodel i henhold til denne modelkravspecifikation.

2.2 Proces for levering af simuleringsmodeller og relateret dokumentation.

Forud for tildeling af spændingssætningsstilladelse (EON), midlertidig driftstilladelse (ION) og endelig driftstilladelse (FON) skal nedenstående leverancer relateret til simuleringsmodeller være fremsendt og godkendt af Energinet.

Inden tildeling af EON:

- Studierapport, der påviser, at elkvalitetskrav overholdes for passive komponenter (*).

Inden tildeling af ION:

- Harmonisk model for enkeltenheder og aggregeret anlægsmodel samt:
 - Modelvejledning.
 - Modelbeskrivelse og datablade for komponenter for det fulde anlæg.
 - Studie, der påviser, at elkvalitetskrav overholdes.
 - Valideringsrapport for harmonisk emission og impedanser for aktive komponenter (typetest).
- Modelverifikationsrapport for typetest på enkeltanlæg med sammenligning mellem målinger og simuleringsresultater fra tilhørende PDT- og EMT-model af komponenten, se afsnit 4 (ikke relevant for synkron anlæg).
- Statisk simuleringsmodel af det aggregerede anlæg samt tilhørende modeldokumentationsrapport. (Såfremt den stationære simuleringsmodel er identisk med den dynamiske simuleringsmodel, bortfalder kravet om en separat stationær simuleringsmodel).
- Dynamisk PDT-simuleringsmodel af det aggregerede anlæg samt tilhørende modeldokumentationsrapport.
- Transient EMT-simuleringsmodel af det aggregerede anlæg samt tilhørende modeldokumentationsrapport.
- Compliance-simuleringsrapport, der sammenligner PDT- og EMT-model af anlægget samt verificerer, at anlægget overholder gældende krav til anlægsegenskaber (*).

Inden tildeling af FON:

- Overensstemmelsesprøvninger på elkvalitet foretaget af Energinet (*).
- Testrapport, der igennem overensstemmelsesprøvninger dokumenterer, at det fysiske anlæg overholder gældende krav (*).
- Modelverifikationsrapport, der i overensstemmelse med afsnit 4 påviser, at de leverede PDT- og EMT-modeller overholder relevante nøjagtighedskrav.
- Udbedring af eventuelle problematikker forbundet med simuleringsmodellernes integration med Energinets samlede net- og systemmodel.

Punkter markeret med (*) er kun relevant for produktionsanlæg tilsluttet på transmissionsniveau ($U_n > 110 \text{ kV}$).

Modelspecifikke dokumentationskrav er beskrevet i de efterfølgende afsnit.

3. Modeltekniske krav

3.1 Synkrone produktionsanlæg

3.1.1 Krav til stationær simuleringsmodel (stationære forhold og kortslutningsforhold)

Simuleringsmodellen for det samlede produktionsanlæg skal repræsentere anlæggets stationære og quasi-stationære egenskaber i tilslutningspunktet, gældende for det definerede normaldriftsområde [1] og under alle relevante stationære systemforhold, hvor produktionsanlægget skal kunne drives. Quasi-stationære egenskaber omfatter i denne sammenhæng produktionsanlæggets egenskaber i forbindelse med en kortslutning i tilslutningspunktet eller et vilkårligt sted i det kollektive elforsyningssystem. En kortslutning kan her antage følgende former:

- En fase-jord kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
- En tofaset kortslutning uden eller med jordberøring med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
- En trefaset kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.

Anlægssejer har ansvaret for at levere en stationær simuleringsmodel af produktionsanlægget til Energinet i henhold til specifikationerne i afsnit 3.1.1.1, 3.1.1.2, 3.1.1.3 og 3.1.1.4.

Simuleringsmodellen skal kunne integreres i Energinets samlede net- og systemmodel uden at have en problematisk indvirkning på anvendelsen af denne. Modelkravene specificeret i følgende underafsnit har bl.a. til formål at forebygge dette, men såfremt simuleringsmodellen alligevel giver udfordringer ved integration med Energinets samlede net- og systemmodel, er det anlægssejers ansvar at finde en løsning på dette i samarbejde med Energinet. I praksis vil det foregå således, at modeller testes og godkendes inden tildeling af ION på baggrund af kravene i de følgende underafsnit. Efter udstedelse af ION vil Energinet teste simuleringsmodellens performance ved integration i en større systemmodel, og eventuelle udfordringer skal håndteres, inden endelig modelgodkendelse kan gives, jf. krav til FON.

Simuleringsmodellen skal verificeres som specificeret i afsnit 4.

Såfremt den stationære simuleringsmodel er identisk med den i afsnit 3.1.2 beskrevne dynamiske simuleringsmodel, bortfalder kravet om en separat stationær simuleringsmodel.

3.1.1.1 Funktionelle modelkrav

Den stationære simuleringsmodel skal:

1. Indeholde karakteristikker for produktionsanlæggets stationære driftsområder for aktiv og reaktiv effekt, således simuleringsmodellen ikke fejlagtigt drives i et ugyldigt arbejds punkt.
2. Muliggøre anvendelse af samtlige påkrævede reguleringsfunktioner for reaktiv effekt:
 - I. Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering) med angivelse af referencepunktet.
 - II. Q-regulering (Mvar-regulering) med angivelse af referencepunktet.
 - III. Spændingsregulering inklusive parametre for anvendt droop/kompounding med angivelse af referencepunktet.
3. Kunne benyttes til simulering af effektivværdier i de enkelte faser under symmetriske og asymmetriske hændelser og fejl i det kollektive elforsyningssystem. Den anvendte metode til statiske kortslutningsberegninger skal aftales med Energinet.
4. Som minimum kunne benyttes i frekvensområdet fra 47,5 Hz til 51,5 Hz og i spændingsområdet fra 0,0 pu til 1,4 pu.
5. Indeholde relevant kontrol af produktionsanlæggets passive komponenter, herunder styring af:
 - I. Transformer tap-indstillinger.
 - II. Shunt-komponenter.

3.1.1.2 Modelformat

1. Simuleringsmodellen skal leveres implementeret i simuleringsværktøjet DlgSILENT PowerFactory ved anvendelse af de indbyggede netkomponentmodeller og standardprogrammeringsfunktioner.
2. Seneste udgave af DlgSILENT PowerFactory skal anvendes, medmindre andet aftales med Energinet.
3. Den anvendte modelimplementering må ikke forudsætte anvendelse af særlige indstillinger for eller afvigelser fra standardindstillingerne for simuleringsværktøjets numeriske ligningsløser eller på anden måde forhindre integration mellem den af anlægsejeren leverede simuleringsmodel og en større net- og systemmodel, som anvendt af Energinet.
4. Såfremt produktionsanlægget indeholder flere parallelle generatoranlæg, skal simuleringsmodellen kunne repræsentere produktionsanlæggets egenskaber i tilslutningspunktet, jf. afsnit 3.1.1.1. Simuleringsmodellens parametring skal indeholde komplette datasæt for hvert enkeltanlæg.
5. Simuleringsmodellen skal være gyldig for både balanceret og ubalanceret loadflow.

For at sikre integration med Energinets samlede net- og systemmodel, stilles der desuden krav til strukturen af den statiske model. Produktionsanlæggets statiske model skal:

1. Kun indeholde relevante dele. Dele, der er out of service, må ikke indgå i modellen.
2. Indeholde en "base case" study case uden aktive operational scenarios eller variations, som afspejler produktionsanlæggets påtænkte normaldriftsindstillinger.
3. Modeldannes i et enkelt net, der indeholder samtlige statiske komponenter.
4. Have samtlige anvendte komponenttyper liggende i en separat mappe.

3.1.1.3 Modelleverancer

Den stationære simuleringsmodel skal ved levering bestå af følgende:

- DlgSILENT PowerFactory simuleringsmodel i seneste udgave
 - En funktional stationær simuleringsmodel, som overholder krav i afsnit 3.1.1, skal leveres for produktionsanlægget forbundet til en simpel modelrepræsentation af det kollektive elforsyningssystem, fx en Théveninækvivalent model.
- Brugervejledning med beskrivelse af:
 - Funktionsbeskrivelser af de overordnede moduler i modellen.
 - De enkelte modelkomponenter og tilhørende parametre.
 - Opsætning af simuleringsmodellen, modelantagelser samt eventuelle begrænsninger for anvendelsen af denne.
 - Hvorledes simuleringsmodellen kan integreres i en større net- og systemmodel, som anvendt af Energinet.
 - Relevante parametre for kortslutningskarakteristik. Omfang skal aftales med Energinet.
- Data for netkomponenter og øvrige dele, som indgår i anlægsinfrastrukturen. Data skal have et omfang og et detaljeringniveau, som muliggør opbygning af en komplet, fuldt funktionsdygtig simuleringsmodel, som krævet i afsnit 2.
- Verifikationsrapporter for den stationære model, som specificeret i afsnit 4.

3.1.1.4 Nøjagtighedskrav

Simuleringsmodellen må generelt ikke vise egenskaber, der ikke kan påvises for det fysiske produktionsanlæg.

3.1.2 Krav til dynamisk simuleringsmodel (PDT-model)

Den dynamiske simuleringsmodel for det samlede produktionsanlæg (inklusive egetforbrugsanlæg) skal repræsentere anlæggets stationære og dynamiske egenskaber i tilslutningspunktet gældende for det definerede normaldriftsområde [1] og under alle relevante netforhold, hvor produktionsanlægget skal kunne drives.

Anlægssejer har til ansvar at levere en dynamisk simuleringsmodel af produktionsanlægget til Energinet i henhold til specifikationerne i afsnit 3.1.2.1, 3.1.2.2, 3.1.2.3 og 3.1.2.4.

Simuleringsmodellen skal kunne integreres i Energinets samlede net- og systemmodel uden at have en problematisk indvirkning på anvendelsen af denne. Modelkravene specificeret i følgende underafsnit har bl.a. til formål at forebygge dette, men såfremt simuleringsmodellen alligevel giver udfordringer ved integration i Energinets samlede net- og systemmodel, er det anlægssejers ansvar at finde en løsning på dette i samarbejde med Energinet. I praksis vil det foregå således, at modeller testes og godkendes inden tildeling af ION på baggrund af kravene i de følgende underafsnit. Efter udstedelse af ION vil Energinet teste simuleringsmodellens performance ved integration i en større systemmodel, og evt. udfordringer skal håndteres, inden endelig modelgodkendelse kan gives, jf. kravene til FON.

Simuleringsmodellen skal verificeres som specificeret i afsnit 4.

3.1.2.1 Funktionelle modelkrav

Den dynamiske simuleringsmodel skal kunne repræsentere produktionsanlæggets stationære og dynamiske egenskaber i forbindelse med setpunktsændringer for anlæggets produktion af aktiv og reaktiv effekt, herunder ændring af reguleringsform for dette, samt nedenstående eksterne hændelser eller kombinationer af disse eksterne hændelser i det kollektive elforsyningssystem:

- Fejl set fra tilslutningspunktet i henhold til den påkrævede FRT-karakteristik [2], hvor en kortslutning her kan antage følgende former:
 - En fase-jord kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
 - En tofaset kortslutning uden eller med jordberøring med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
 - En trefaset kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
- Udkobling af, og mulig efterfølgende automatisk genindkobling af, en vilkårlig fejlramt netkomponent i det kollektive elforsyningssystem, jf. ovenstående fejlforløb, og det afledte vektorspring i tilslutningspunktet.
- Manuel ind- eller udkobling (uden forudgående fejl) af en vilkårlig netkomponent i det kollektive elforsyningssystem og det afledte vektorspring i tilslutningspunktet.
- Spændingsforstyrrelser og tenderende spændingskollaps med en varighed inden for den påkrævede minimumssimuleringsperiode, jf. nedenstående, og som minimum inden for indsvingningsforløbet for produktionsanlæggets overgang til en ny stationær tilstand.
- Frekvensforstyrrelser af en varighed inden for den påkrævede minimumssimuleringsperiode, jf. nedenstående, og som minimum inden for indsvingningsforløbet for produktionsanlæggets overgang til en ny stationær tilstand.
- Aktivering af et pålagt systemværn (via et eksternt signal) til hurtig regulering af produktionsanlæggets aktive effektproduktion i henhold til en foruddefineret slutværdi og gradient.

Den dynamiske simuleringsmodel skal overholde følgende:

1. Indeholde samtlige påkrævede reguleringsfunktioner [1].
2. Indeholde relevant kontrol af produktionsanlæggets passive komponenter, herunder styring af:
 - a. Transformer tap-indstillinger.
 - b. Shunt-komponenter.
3. Indeholde relevante beskyttelsesfunktioner, som kan aktiveres ved eksterne hændelser og fejl i det kollektive elforsyningssystem, implementeret enten i form af blokdiagrammer, med angivelse af overføringsfunktioner, programmeret i DSL (DIGSILENT Simulation Language) eller via DIGSILENTS PowerFactorys indbyggede relækomponentmodeller.
4. Indeholde magnetiseringssystemet, spændingsregulator, dæmpetilsats (PSS) og eventuel magnetiseringsmaskine implementeret i form af standardiserede modeller [3].
5. Indeholde magnetiseringssystemets begrænsersfunktioner (statorstrømsbegrænsere, volt/hertz-begrænsere samt over- og undermagnetiseringsbegrænsere) implementeret i form af blokdiagrammer med angivelse af overføringsfunktioner og sekvensdiagrammer for de enkelte elementer.
6. Indeholde effekt- og hastighedsregulator, drivmaskine eller turbineanlæg implementeret i form af standardiserede modeller [4]. Såfremt det kan dokumenteres, at den påkrævede modelnøjagtighed ikke kan opnås med en standardiseret model, kan der efter aftale med Energinet anvendes anlægsspecifikke modeller for disse anlægskomponenter.
7. Indeholde en samlet mekanisk svingningsmassemodel for relevante anlægskomponenter (generatoranlæg, drivmaskine, turbineanlæg, gear, koblinger og magnetiseringsmaskine) inklusive dokumentation af inertikonstanter, egenfrekvenser samt fjeder- og dæmpningskonstanter for hvert af drivtogets masselementer.
8. Kunne benyttes til simulering af effektivværdier i de enkelte faser under symmetriske og asymmetriske hændelser og fejl i det kollektive elforsyningssystem.
9. Som minimum kunne benyttes i frekvensområdet fra 47,5 Hz til 51,5 Hz og i spændingsområdet fra 0,0 pu til 1,4 pu.
10. Kunne eftervise krav til magnetiseringssystemets dynamiske svar, herunder krav til dæmpetilsats (PSS) med hensyn til dæmpning og fasekompensering [1].
11. Kunne beskrive produktionsanlæggets dynamiske egenskaber i mindst 60 sekunder efter enhver af ovenstående setpunktsændringer og eksterne hændelser i det kollektive elforsyningssystem.
12. Være numerisk stabil ved gennemførelse af en simulering på minimum 60 sekunder uden påtrykning af et hændelsesforløb eller ændring af randbetingelser, hvor de simulerede værdier for aktiv effekt, reaktiv effekt, spænding og frekvens skal forblive konstante under hele simulationsforløbet.
13. Være numerisk stabil ved et momentant vektorspring på op til 20 grader i tilslutningspunktet.
14. Såfremt produktionsanlægget indeholder eksterne komponenter, fx af hensyn til overholdelse af nettilslutningskravene eller til levering af kommercielle systemydelser, skal simuleringsmodellen indeholde den nødvendige repræsentation af disse komponenter, som krævet i afsnit 2.
15. Det accepteres, at simuleringsmodellen i løbet af et gennemført simulationsforløb giver enkelte fejlmeddelelser om manglende konvergens i forbindelse med påtrykte eksterne hændelser. Dette vil dog i udgangspunktet blive opfattet som modelimplementeringsmæssig imperfektion, hvor årsagen og forslag til afhjælpning af denne skal fremgå af den tilhørende modeldokumentation.

3.1.2.2 Modelformat

1. Simuleringsmodellen skal leveres implementeret i simuleringsværktøjet DigSILENT PowerFactory ved anvendelse af de indbyggede netkomponentmodeller og standardprogrammeringsfunktioner. Simuleringsmodellens dynamiske lag skal implementeres ved hjælp af DigSILENT Simulation Language (DSL), medmindre andet aftales med Energinet.
2. Seneste udgave af DigSILENT PowerFactory skal anvendes, medmindre andet aftales med Energinet.
3. Den anvendte modelimplementering må ikke forudsætte anvendelse af særlige funktioner i DigSILENT PowerFactory, ud over hvad der er indeholdt i 'Base Package'-, 'Distance Protection'- og 'Stability Analysis Functions (RMS)'-licenserne.
4. Den anvendte modelimplementering må ikke forudsætte anvendelse af særlige indstillinger for eller afvigelser fra standardindstillingerne for simuleringsværktøjets numeriske ligningsløser eller på anden måde forhindre integration mellem den af anlægsejeren leverede simuleringsmodel og en større net- og systemmodel, som anvendt af Energinet.
5. Modellen skal så vidt muligt anvende makroer fra DigSILENT PowerFactorys 'Global Library' samt anvende DSL performance-optimerede funktioner.
6. For at sikre en entydig modelimplementering skal simuleringsmodellens baseværdier for generatorfeltstrøm og generatorfeltspænding angives i henhold til *non-reciprocal per unit*-systemet [5], hvilket skal anvendes som baseværdi for den anvendte model for produktionsanlæggets spændingsregulator. Anvendelse af skaleringsfaktorer skal angives eksplicit for signaler mellem magnetiseringssystemets øvrige funktioner, hvis der anvendes forskellige baseværdier for de pågældende delmodeller.
7. Såfremt produktionsanlægget indeholder flere parallelle generatoranlæg, skal simuleringsmodellen kunne repræsentere produktionsanlæggets egenskaber i tilslutningspunktet, jf. afsnit 3.1.2.1. Simuleringsmodellens parametring skal indeholde komplette datasæt for hvert enkeltanlæg.
8. Simuleringsmodellen skal kunne initialiseres i et stabilt arbejds punkt på baggrund af én enkelt vilkårlig og gyldig loadflow-simulering uden efterfølgende iterationer, for både et balanceret og ubalanceret load flow, samt initialisere for både balanceret og ubalanceret netværksrepræsentation i dynamisk simulering. Ved initialisering skal den afledte værdi (dx/dt) for enhver af simuleringsmodellens tilstandsvariable være mindre end 0,0001.
9. Simuleringsmodellen skal kunne initialiseres i et stabilt arbejds punkt, som beskrevet i ovenstående, uden yderligere manuel betjening af hverken statisk og dynamisk model, hvorved modellen skal kunne initialiseres direkte ved brug af load-flow resultat uden anvendelse af programmering, herunder scripts.
10. Simuleringsmodellen skal indeholde signaler for aktivering af særlige reguleringsfunktioner (f.eks. FRT-aktivering) og systemværn, hvis pålagt.
11. Alle relevante setpunkter og indstillinger på det virkelige anlæg skal være tilgængelige i den dynamiske simuleringsmodel, og hvert enkelt input må ikke kræve justering mere end ét sted og skal kunne justeres både før og under dynamisk simulering, herunder:
 - a. Aktiv effektregulering.
 - b. Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering).
 - c. Q-regulering (Mvar-regulering).
 - d. Spændingsregulering (inklusive parametre for droop/kompondering).
 - e. Frekvensregulering (statik og dødbånd).
12. Yderligere skal alle setpunkter og indstillinger angives med fortegn i henhold til generatorkonventionen [5].
13. Setpunkter for aktiv effekt, reaktiv effekt og spænding skal angives i per unit i henhold til produktionsanlæggets nominelle aktive effekt og spænding i tilslutningspunktet.

14. Setpunkt for effektfaktor-regulering skal angives ved $\cos \phi$ og separat input, som indikerer induktiv eller kapacitiv reaktiv effektudveksling.
15. Det skal være muligt at skifte mellem samtlige påkrævede reguleringsfunktioner for aktiv og reaktiv effekt både før og under dynamisk simulering, såfremt dette kan gøres under drift på det virkelige anlæg.
16. Simuleringsmodellen må ikke kræve, at komponenter, kontrolblokke eller målinger skal sættes out of service ved forskellige driftsmønstre og reguleringsformer.
17. Simuleringsmodellen skal kunne simuleres korrekt med numeriske ligningslødere med variabelt tidsskridt i intervallet 1 til 10 ms.
18. Simuleringsmodellen skal kunne simuleres korrekt med numeriske ligningslødere med et fikseret tidsskridt på 1 ms.
19. Simuleringsmodellen må ikke indeholde krypterede eller kompilerede dele (accepteres ikke), medmindre andet aftales med Energinet, da Energinet skal kunne kvalitetssikre resultaterne fra simuleringsmodellen og vedligeholde denne uden begrænsninger ved softwareopdatering m.m.

For at sikre integration med Energinets samlede net- og systemmodel, stilles der desuden krav til strukturen af den dynamiske model. Produktionsanlæggets dynamiske model skal:

5. Kun indeholde relevante dele. Dele, der er out of service, må ikke indgå i modellen.
6. Indeholde en "base case" study case uden aktive operational scenarios eller variations, som afspejler produktionsanlæggets påtænkte normaldriftsindstillinger.
7. Modeldannes i et enkelt net, der indeholder samtlige statiske komponenter, samt composite models.
8. Modeldannes så den enkelte composite model (.ElmComp) indeholder samtlige relevante:
 - a. Common models (.ElmDsl).
 - b. Anvendte målinger (.ElmPhi_pll, .StaPqmea, .StaVmea, .Stalmea etc.).
9. Have samtlige anvendte block definitions (.BlkDef) liggende i en separat mappe, som inddeles i tre forskellige undermapper:
 - a. Frames (indeholder signalforbindelser).
 - b. Macros (indeholder matematiske udtryk uden grafisk repræsentation).
 - c. Model Definitions (indeholder både matematiske udtryk og signalforbindelser).
10. Have samtlige anvendte komponenttyper liggende i en separat mappe.

3.1.2.3 Modelleverancer

PDT-modellen skal ved levering bestå af følgende:

- DlgSILENT PowerFactory simuleringsmodel i seneste udgave
 - En funktionel PDT-simuleringsmodel³, som overholder krav i afsnit 3.1.2, skal leveres for produktionsanlægget forbundet til en simpel modelrepræsentation af det kollektive elforsyningssystem, fx en Théveninækvivalent model.
- Brugervejledning med beskrivelse af:
 - Modellernes strukturelle opbygning samt beskrivelser af simuleringsmodellernes parametring og gyldige randbetingelser i form af arbejds punkter og eventuelle restriktioner i relation til netforhold (kortslytningsforhold og R/X-forhold) i tilslutningspunktet og i fejlstedet i forbindelse med simulering af eksterne hændelser i det kollektive elforsyningssystem.
 - De i simuleringsmodellen implementerede kontrol-, beskyttelses- og reguleringsfunktioner til brug ved evaluering af anlæggets egenskaber i tilslutningspunktet.

³ I DlgSILENT PowerFactory kaldet RMS-simulering.

- Såfremt dele af simuleringsmodellens parametersæt ikke kan genfindes direkte ud fra det tilsvarende og påkrævede parameterudtræk fra produktionsanlæggets kontrol-, beskyttelses- og reguleringsudstyr, skal modeldokumentationen indeholde beskrivelser af de til simuleringsmodellen gennemførte parameteromregninger samt forudsætningerne herfor.
- Modelantagelser og anvendelse af PDT-modellen.
- Modelbegrænsninger og alle de af produktionsanlæggets funktioner, der ikke er inkluderet i PDT-modellen, som ville kunne antages at have betydning for produktionsanlæggets dynamiske egenskaber og performance.
- Hvorledes simuleringsmodellen kan integreres i en større net- og systemmodel, som anvendt af Energinet.
- Opsætning og initialisering af simuleringsmodellen
- Parametre for de enkelte modelkomponenter, herunder mætning, ulinearitet, dødbånd, tidsforsinkelser samt begrænsningsfunktioner (non-wind-up/anti wind-up) samt look-up tabeldata og anvendte principper for interpolation m.m.
- Såfremt produktionsanlægget indeholder hovedkomponenter, fx effekt- og hastighedsregulator, drivmaskine eller turbineanlæg, hvor modeldannelsen af disse kræver parametertilpasninger som funktion af produktionsanlæggets aktuelle arbejds punkt af hensyn til den påkrævede modelnøjagtighed, skal modeldokumentationen, jf. ovenstående, indeholde nødvendige modelparametersæt for hvert af nedenstående arbejds punkter:
 - 25 % af nominel aktiv effektproduktion.
 - 50 % af nominel aktiv effektproduktion.
 - 75 % af nominel aktiv effektproduktion.
 - 100 % af nominel aktiv effektproduktion.
- Simuleringsmodellens indgangs- og udgangssignaler, hvor dette som minimum skal omfatte følgende:
 - Aktiv effekt.
 - Reaktiv effekt.
 - Setpunkter for:
 - Aktiv effektregulering.
 - Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering).
 - Q-regulering (Mvar-regulering).
 - Spændingsregulering inklusive parametre for anvendt droop/kompondering.
 - Frekvensregulering (statik og dødbånd).
 - Systemværn (slutværdi og gradient for regulering af aktiv effekt), hvis pålagt.
 - Signaler for aktivering af særlige reguleringsfunktioner i forbindelse med hændelser i det kollektive elforsyningssystem (f.eks. FRT-aktivering).
 - Signal for aktivering af systemværn, hvis pålagt.
 - Styresignaler for eventuelle eksterne netkomponenter, fx STATCOMs eller energilagringssenheder m.m.
- Data for netkomponenter og øvrige dele, som indgår i anlægsinfrastrukturen. Data skal have et omfang og et detaljeringsniveau, som muliggør opbygning af en komplet, fuldt funktionsdygtig simuleringsmodel, som krævet i afsnit 2.
- Verifikationsrapporter for PDT-modellen, som specificeret i afsnit 4.

3.1.2.4 Nøjagtighedskrav

PDT-simuleringsmodellen skal repræsentere det synkrone produktionsanlægs stationære og dynamiske egenskaber i tilslutningspunktet tilstrækkeligt nøjagtigt. Anlægsejeren skal, underlagt kravene i dette afsnit, gennem sammenligning af tests af produktionsanlægget og PDT-simuleringsmodellen dokumentere dette.

Simuleringsmodellen skal således reagere tilstrækkeligt nøjagtigt i forhold til det fysiske anlægs stationære svar for et gyldigt stationært arbejds punkt og tilsvarende for det dynamiske svar i forbindelse med en setpunktsændring eller en ekstern hændelse i det kollektive elforsyningssystem.

Anlægsejeren skal sikre, at simuleringsmodellerne er verificeret med resultaterne af de definerede overensstemmelsesprøvninger [1] samt relevante test- og verifikationsstandarder, og skal fremsende den nødvendige dokumentation herfor.

Som minimum skal følgende af simuleringsmodellens reguleringsfunktioner inkluderes i modelverifikationen:

- Reaktiv effektregulering:
 - Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering).
 - Q-regulering (Mvar-regulering).
- Spændingsregulering (spændingsreferencepunkt i tilslutningspunktet).
- Frekvensregulering (påkrævede reguleringsfunktioner).
- Systemværnsindgreb (slutværdi og gradient for nedregulering af aktiv effekt), hvis pålagt.

Simuleringsmodellens nøjagtighed i forhold til de påkrævede reguleringsfunktioner skal verificeres på baggrund af beregning af afvigelsen mellem modellens simulerede svar i forhold til den tilsvarende målte værdi.

Bilag 1 viser, hvilke af produktionsanlæggets elektriske signaler er omfattet af nedenstående nøjagtighedskrav.

For at sikre en objektiv vurdering af simuleringsmodellens nøjagtighed skal følgende kvantitative krav være opfyldte for hver af de gennemførte standardtest. Det skal bemærkes, at samtlige kriterier gælder, og at intet kriterium kan tilsidesætte et andet.

For magnetiseringssystemet og dæmpetilsats (PSS) skal nøjagtigheden for frekvensresponset (V_t/V_{ref}) inden for frekvensområdet 0,1 Hz til 5 Hz være inden for følgende tolerance:

- (a) Afvigelsen mellem den simulerede amplitude og den tilsvarende målte amplitude skal være mindre end 10 % for en vilkårlig frekvens inden for det definerede frekvensområde.
- (b) Afvigelsen mellem den simulerede fasevinkel og den tilsvarende målte fasevinkel skal være mindre end 5 grader for en vilkårlig frekvens inden for det definerede frekvensområde.
- (c) Simulerede quasi-stationære oscillationer inden for frekvensområdet 0,1 Hz til 5 Hz i produktionsanlæggets aktive og reaktive effektproduktion samt spænding skal være dæmpede, og frekvensafvigelsen skal være mindre end 10 % af den tilsvarende målte værdi.

Gældende for produktionsanlæggets dynamiske egenskaber (tidsdomæne-fænomener) foranlediget af fx setpunktsændringer for anlæggets produktion af reaktiv effekt, herunder ændring af reguleringsform

for dette, samt eksterne hændelser i det kollektive elforsyningsystem skal simuleringsmodellens tilsvarende svar opfylde nedenstående nøjagtighedskrav:

Regulering af produktionsanlæggets arbejds punkt er inddelt i to perioder. Den transiente periode og den quasi-stationære periode, se Figur 3 (Bilag 2). I den transiente periode foregår hovedparten af produktionsanlæggets regulering til det nye stationære operationspunkt.

Den transiente periode begynder første gang, at differencen mellem produktionsanlæggets regulering og den forrige stationære værdi overstiger $\pm 2\%$ af ændringen i det stationære operationspunkt. Den transiente periode slutter, når produktionsanlægget forbliver reguleret inden for $\pm 2\%$ af ændringen i stationært operationspunkt fra den endelige stationære værdi.

Den del af responset, der ikke er i en transient-periode, er i en quasi-stationær periode.

- 1) I den transiente periode skal den absolutte difference mellem produktionsanlæggets respons og PDT-simuleringsmodellens korresponderende respons til enhver tid være inden for den **mindst** restriktive af følgende tolerancer:
 - a) 10% af produktionsanlæggets ændring i stationærværdien.
 - b) 2% af produktionsanlæggets nominelle effekt.
- 2) I den quasi-stationære periode skal den absolutte difference mellem produktionsanlæggets respons og PDT-simuleringsmodellens korresponderende respons være inden for en tolerance på 2% af produktionsanlæggets nominelle effekt.

Ovenstående nøjagtighedskrav er illustreret på Figur 4 (Bilag 2).

Simuleringsmodellen må generelt ikke vise egenskaber, der ikke kan påvises for det fysiske produktionsanlæg.

3.1.3 Krav til transient simuleringsmodel (EMT-model)

Den transiente simuleringsmodel leveret af anlægsejeren skal være en nøjagtig repræsentation af det samlede anlæg såvel som specifikke komponenter. Modellen skal indeholde anlægsspecifikke indstillinger og repræsentere anlæggets stationære og dynamiske egenskaber i tilslutningspunktet, gældende for det definerede normaldriftsområde [1] og under alle relevante netforhold, hvor produktionsanlægget skal kunne drives. Modellen skal være tilstrækkeligt nøjagtig til at studere transienter på systemniveau, hvor frekvensområdet kan være op til 2 kHz.

Anlægsejer har til ansvar at levere en transient simuleringsmodel af produktionsanlægget til Energinet i henhold til specifikationerne i afsnit 3.1.3.1, 3.1.3.2, 3.1.3.3 og 3.1.3.4.

Simuleringsmodellen skal kunne integreres i Energinets samlede net- og systemmodel uden at have en problematisk indvirkning på anvendelsen af denne. Modelkravene specificeret i følgende underafsnit har bl.a. til formål at forebygge dette, men såfremt simuleringsmodellen alligevel giver udfordringer ved integration i Energinets samlede net- og systemmodel, er det anlægsejerens ansvar at finde en løsning på dette i samarbejde med Energinet. I praksis vil det foregå således, at modeller testes og godkendes inden tildeling af ION på baggrund af kravene i de følgende underafsnit. Efter udstedelse af ION vil Energinet teste simuleringsmodellens performance ved integration i en større systemmodel, og evt. udfordringer skal håndteres, inden endelig modelgodkendelse kan gives, jf. krav til FON.

Simuleringsmodellen skal verificeres, som specificeret i afsnit 4.

3.1.3.1 Funktionelle modelkrav

Den transiente simuleringsmodel skal kunne repræsentere produktionsanlæggets stationære og dynamiske egenskaber i forbindelse med setpunktsændringer for anlæggets produktion af aktiv og reaktiv effekt, herunder ændring af reguleringsform for dette, samt nedenstående eksterne hændelser, eller kombinationer af disse eksterne hændelser i det kollektive elforsyningssystem:

- Fejl set fra tilslutningspunktet i henhold til den påkrævede FRT-karakteristik [2], hvor en kortslutning her kan antage form som:
 - En fase-jord kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
 - En tofaset kortslutning uden eller med jordberøring med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
 - En trefaset kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
- Udkobling af, og mulig efterfølgende automatisk genindkobling af, en vilkårlig fejlramt netkomponent i det kollektive elforsyningssystem, jf. ovenstående fejlforløb, og det afledte vektorspring i tilslutningspunktet.
- Manuel ind- eller udkobling (uden forudgående fejl) af en vilkårlig netkomponent i det kollektive elforsyningssystem og det afledte vektorspring i tilslutningspunktet.
- Spændingsforstyrrelser og tenderende spændingskollaps med en varighed inden for den påkrævede minimumssimuleringsperiode, jf. nedenstående, og som minimum inden for indsvingningsforløbet for produktionsanlæggets overgang til en ny stationær tilstand.
- Frekvensforstyrrelser med en varighed inden for den påkrævede minimumssimuleringsperiode, jf. nedenstående, og som minimum inden for indsvingningsforløbet for produktionsanlæggets overgang til en ny stationær tilstand.
- Aktivering af et pålagt systemværn (via et eksternt signal) til hurtig regulering af produktionsanlæggets aktive effektproduktion i henhold til en foruddefineret slutværdi og gradient.

Den leverede transiente simuleringsmodel skal overholde følgende:

1. Indeholde alle relevante regulerings-, kontrol- og beskyttelsesfunktioner. Dette omfatter fx:
 - a. Samtlige påkrævede reguleringsfunktioner [1].
 - b. Modellen skal omfatte alle kontrol- og beskyttelsesfunktioner på anlægsniveau og generatorniveau som implementeret i det faktiske udstyr, heriblandt
 - i. Indstillinger for spændings- og frekvensbeskyttelse.
2. Indeholde relevant kontrol af produktionsanlæggets passive komponenter, herunder styring af:
 - a. Transformer tap-indstillinger.
 - b. Shunt-komponenter.
3. Indeholde magnetiseringssystemet, spændingsregulator, dæmpetilsats (PSS) og eventuel magnetiseringsmaskine implementeret i form af standardiserede modeller [3].
4. Indeholde magnetiseringssystemets begrænsningsfunktioner (statorstrømsbegrænsere, volt/hertz-begrænsere samt over- og undermagnetiseringsbegrænsere) implementeret i form af blokdiagrammer med angivelse af overføringsfunktioner og sekvensdiagrammer for de enkelte elementer.
5. Indeholde effekt- og hastighedsregulator, drivmaskine eller turbineanlæg implementeret i form af standardiserede modeller [4]. Såfremt det kan dokumenteres, at den påkrævede modelnøjagtighed ikke kan opnås med en standardiseret model, kan der efter aftale med Energinet anvendes anlægsspecifikke modeller for disse anlægskomponenter.
6. Indeholde en samlet mekanisk svingningsmassemodel for relevante anlægskomponenter (generatoranlæg, drivmaskine, turbineanlæg, gear, koblinger og magnetiseringsmaskine) inklusive dokumentation af inertikonstanter, egenfrekvenser samt fjeder- og dæmpningskonstanter for hvert af drivtogets masselementer.

7. Kunne initialiseres på maksimalt 3 sekunders simuleringstid.
8. Simuleringstidspunkt for påbegyndelse af EMT-modellens injektion af tilsyneladende effekt skal kunne indstilles af brugeren.
9. Simuleringstidspunkt for aktivering af produktionsanlæggets beskyttelsessystemer i EMT-modellen skal kunne indstilles af brugeren.
10. Kunne beskrive produktionsanlæggets dynamiske egenskaber i mindst 60 sekunder efter enhver af ovenstående setpunktsændringer og eksterne hændelser i det kollektive elforsynings-system.
11. Være numerisk stabil ved gennemførelse af en simulering på minimum 60 sekunder uden påtrykning af et hændelsesforløb eller ændring af randbetingelser, hvor de simulerede værdier for aktiv effekt, reaktiv effekt, spænding og frekvens skal forblive konstante under hele simuleringforløbet.
12. EMT-modellen skal repræsentere alle komponenter, reguleringssystemer og beskyttelsessystemer relevante for EMT-analyser.
13. Netkomponenter og øvrige dele, som indgår i anlægsinfrastrukturen, skal implementeres i EMT-modellen i et omfang og med et detaljeringsniveau, der er gyldigt for EMT-studier. Dette inkluderer opsamlingskabler, transformere, filtre m.m. Omfanget af leverancen godkendes af Energinet. Hvis kabler er modelleret med PI-sektioner, skal deres frekvensafhængige karakteristiker valideres mod geometriske modeller.
14. EMT-modellen skal repræsentere produktionsanlæggets FRT-egenskaber [2].
15. Modellen skal være gyldig for stationære driftsforhold.
16. EMT-modellen skal være anvendelig for EMT-simuleringer af balancerede samt ubalancerede fejl og afbrydelse af produktionsanlæggets forbindelse til det kollektive elforsynings-system.
17. Såfremt produktionsanlægget indeholder eksterne komponenter, fx af hensyn til overholdelse af nettilslutningskravene eller til levering af kommercielle systemydelser, skal simuleringssmodellen indeholde den nødvendige repræsentation af disse komponenter som krævet i afsnit 2.

3.1.3.2 Modelformat

1. EMT-modellen skal udvikles og leveres i PSCAD/EMTDC og være kompatibel med PSCAD-version, som aftales med Energinet.
2. For at sikre en entydig modelimplementering skal simuleringssmodellens baseværdier for generatorfeltstrøm og generatorfeltspænding angives i henhold til *non-reciprocal per unit*-systemet [5], hvilket skal anvendes som baseværdi for den anvendte model for produktionsanlæggets spændingsregulator. Anvendelse af skaleringsfaktorer skal angives eksplicit for signaler mellem magnetiseringssystemets øvrige funktioner, hvis der anvendes forskellige baseværdier for de pågældende delmodeller.
3. Såfremt produktionsanlægget indeholder flere parallelle generatoranlæg, skal simuleringssmodellen kunne repræsentere produktionsanlæggets egenskaber i tilslutningspunktet, jf. afsnit 3.1.2.1. Simuleringssmodellens parametring skal indeholde komplette datasæt for hvert enkeltanlæg.
4. Interval for simuleringstidsskridt, hvor EMT-modellen kan anvendes, skal aftales med Energinet.
5. EMT- Modellen skal give tilnærmelsesvis samme resultater ved transiente simuleringer med ethvert simuleringstidsskridt i det gyldige interval. Modellen skal, via få tests, valideres for simuleringer ved forskellige simuleringstidsskridt.
6. EMT-modellen skal kunne optræde funktionelt flere gange i samme PSCAD simuleringssfil, uden at dette leder til, at væsentlige ændringer skal foretages. Derfor skal EMT-modellen kunne indgå som adskillige 'definitions' eller adskillige 'instances'. Hvis modellen indeholder et alter-

- nativ til brug af adskillige 'definitions' eller 'instances', skal dette beskrives i brugervejledningen.
7. EMT-modellen skal understøtte brug af PSCAD/EMTDC's 'snapshot'-funktion. Det påkræves, at modellen viser samme svar med og uden brug af snapshot-funktionen.
 8. EMT-modellen skal understøtte brug af PSCAD/EMTDC's 'multiple run'-funktion.
 9. Alle relevante setpunkter og indstillinger på det virkelig anlæg, der kan ændres enten lokalt eller ved fjernkontrol, skal være tilgængelige i den transiente simuleringsmodel. Hvert enkelt input må ikke kræve justering mere end ét sted og skal kunne justeres både før og under dynamisk simulering, herunder:
 - a. Aktiv effektregulering.
 - b. Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering).
 - c. Q-regulering (Mvar-regulering).
 - d. Spændingsregulering (inklusive parametre for anvendt droop/komponering).
 - e. Frekvensregulering (statik og dødbånd).
 10. Yderligere skal alle setpunkter og indstillinger angives med fortegn i henhold til generatorkonvention [5].
 11. Setpunkter for aktiv effekt, reaktiv effekt og spænding skal angives i per unit i henhold til produktionsanlæggets nominelle aktive effekt og spænding i tilslutningspunktet.
 12. Setpunkt for effektfaktor-regulering skal angives ved $\cos \phi$ og separat input, som indikerer induktiv eller kapacitiv reaktiv effektudveksling.
 13. Det skal være muligt at skifte mellem samtlige påkrævede reguleringsfunktioner for aktiv og reaktiv effekt både før og under dynamisk simulering, så frem dette kan gøres under drift på det virkelig anlæg.
 14. Alle elektriske, mekaniske, regulerings- og beskyttelsessignaler relevante for EMT-analyser af det kollektive elforsyningssystem skal være tilgængelige i EMT-modellen. Omfanget af leverancen godkendes af Energinet. Særligt fremhæves herunder:
 - a. Signaler for aktivering af særlige reguleringsfunktioner i forbindelse med hændelser i det kollektive elforsyningssystem (f.eks. FRT-aktivering).
 - b. Signal for aktivering af systemværn, hvis pålagt.
 15. EMT-modellen må indeholde prækompilerede og krypterede dele. EMT-modellens kompilerede dele skal være DLL-baseret. EMT-modellen skal være kompatibel med Energinets simuleringsmiljø, hvor kompiler-indstillinger (version og kompatibelt versionsinterval af Intel Fortran og MS Visual Studio) aftales mellem anlægsejer og Energinet.
 16. EMT-modellen må ikke bruge eller være afhængig af global variable i PSCAD.
 17. EMT-modellen må ikke gøre brug af flere lag i PSCAD-værktøjet inklusiv 'disabled' lag.

3.1.3.3 Modelleverancer

- EMT-modellen skal ved levering bestå af følgende: PSCAD-/EMTDC-simuleringsmodel – version efter aftale med Energinet.
 - En funktionel PSCAD-simuleringsmodel, der overholder krav i afsnit 3.1.3, skal leveres for produktionsanlægget forbundet til en simpel modelrepræsentation af det kollektive elforsyningssystem, fx en Théveninækvivalent model.
 - Identificer tydeligt producentens EMT-modeludgivelsesversion og den relevante tilhørende hardware-firmwareversion.
- Brugervejledning med beskrivelse af:
 - modellernes strukturelle opbygning samt beskrivelser af simuleringsmodellernes parametring og gyldige randbetingelser i form af arbejds punkter og eventuelle restriktioner i relation til netforhold (kortslutningsforhold og R/X-forhold) i tilslutningspunktet.

- tet og i fejlstedet i forbindelse med simulering af eksterne hændelser i det kollektive elforsyningssystem.
- modelantagelser og anvendelse af EMT-modellen.
 - modelbegrænsninger og alle de af produktionsanlæggets funktioner, der ikke er inkluderet i EMT-modellen, som ville kunne antages at have betydning for produktionsanlæggets transiente elektriske egenskaber og performance.
 - hvorledes simuleringsmodellen kan integreres i en større net- og systemmodel, som anvendt af Energinet.
 - højest mulige tidsskridt.
 - hvor mange 'definitions' og 'instances', der kan oprettes af modellen.
 - opsætning og initialisering af simuleringsmodellen.
 - Parametre for de enkelte modelkomponenter, herunder mætning, ulinearitet, dødbånd, tidsforsinkelser samt begrænsningsfunktioner (non-wind-up/anti wind-up) samt look-up tabeldata og anvendte principper for interpolation m.m.
 - Såfremt produktionsanlægget indeholder hovedkomponenter, fx effekt- og hastighedsregulator, drivmaskine eller turbineanlæg, hvor modeldannelsen af disse kræver parametertilpasninger som funktion af produktionsanlæggets aktuelle arbejds punkt af hensyn til den påkrævede modelnøjagtighed, skal modeldokumentationen, jf. ovenstående, indeholde nødvendige modelparametersæt for hvert af nedenstående arbejds punkter:
 - 25 % af nominel aktiv effektproduktion.
 - 50 % af nominel aktiv effektproduktion.
 - 75 % af nominel aktiv effektproduktion.
 - 100 % af nominel aktiv effektproduktion.
 - simuleringsmodellens indgangs- og udgangssignaler, hvor dette som minimum skal omfatte følgende:
 - Aktiv effekt.
 - Reaktiv effekt.
 - Setpunkter for:
 - Aktiv effektregulering.
 - Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering).
 - Q-regulering (Mvar-regulering).
 - Spændingsregulering inklusive parametre for anvendt droop/komponering
 - Frekvensregulering (statik og dødbånd).
 - Systemværn (slutværdi og gradient for regulering af aktiv effekt), hvis pålagt.
 - Signaler for aktivering af særlige reguleringsfunktioner i forbindelse med hændelser i det kollektive elforsyningssystem (f.eks. FRT-aktivering).
 - Signal for aktivering af systemværn, hvis pålagt.
 - Styresignaler for eventuelle eksterne netkomponenter, fx energilagringseenheder m.m.
 - Data for netkomponenter og øvrige dele, som indgår i anlægsinfrastrukturen. Data skal have et omfang og et detaljeringniveau, som muliggør opbygning af en komplet, fuldt funktionsdygtig simuleringssystem, som krævet i afsnit 2.
 - Verifikationsrapporter for EMT-modellen, som specificeret i afsnit 4.

3.1.3.4 Nøjagtighedskrav

Nøjagtigheden af den påkrævede transiente simuleringsmodel fastlægges på samme måde som for den dynamiske simuleringsmodel (PDT-model), jf. afsnit 3.1.2.4, ved anvendelse af passende filtrering til beregning af grundtonekomponenten af målte og simulerede værdier. Metoden anvendt til filtrering aftales mellem anlægsejer og Energinet. Nøjagtighedskravet til den transiente simuleringsmodel og den anvendte evalueringsmetode er dermed identisk med den påkrævede PDT-simuleringsmodel.

3.1.4 Krav til harmonisk simuleringsmodel

Ikke påkrævet.

3.2 Asynkrone produktionsanlæg

3.2.1 Krav til stationær simuleringsmodel (stationære forhold og kortslutningsforhold)

Simuleringsmodellen for det samlede produktionsanlæg skal repræsentere anlæggets stationære og quasi-stationære egenskaber i tilslutningspunktet, gældende for det definerede normaldriftsområde [1] og under alle relevante stationære netforhold, hvor produktionsanlægget skal kunne drives.

Quasi-stationære egenskaber omfatter i denne sammenhæng produktionsanlæggets egenskaber i forbindelse med en kortslutning i tilslutningspunktet eller et vilkårligt sted i det kollektive elforsyningssystem. En kortslutning kan her antage form som:

- En fase-jord kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
- En tofaset kortslutning uden eller med jordberøring med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
- En trefaset kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.

Anlægsejer har til ansvar at levere en stationær simuleringsmodel af produktionsanlægget til Energinet i henhold til specifikationerne i afsnit 3.2.1.1, 3.2.1.2, 3.2.1.3 og 3.2.1.4.

Simuleringsmodellen skal kunne integreres i Energinets samlede net- og systemmodel uden at have en problematisk indvirkning på anvendelsen af denne. Modelkravene specificeret i følgende underafsnit har bl.a. til formål at forebygge dette, men såfremt simuleringsmodellen alligevel giver udfordringer ved integration i Energinet samlede net- og systemmodel, er det anlægsejerens ansvar at finde en løsning på dette i samarbejde med Energinet. I praksis vil det foregå således, at modeller testes og godkendes inden tildeling af ION på baggrund af kravene i de følgende underafsnit. Efter udstedelse af ION vil Energinet teste simuleringsmodellens performance ved integration i en større systemmodel, og eventuelle udfordringer skal håndteres, inden endelig modelgodkendelse kan gives, jf. krav til FON.

Simuleringsmodellen skal verificeres, som specificeret i afsnit 4.

Såfremt den stationære simuleringsmodel er identisk med den i afsnit 3.2.2 beskrevne dynamiske simuleringsmodel, bortfalder kravet om en separat stationær simuleringsmodel.

3.2.1.1 Funktionelle modelkrav

Den stationære simuleringsmodel skal:

2. Indeholde karakteristikkere for produktionsanlæggets stationære driftsområder for aktiv og reaktiv effekt, så simuleringsmodellen ikke fejlagtigt drives i et ugyldigt arbejds punkt.
3. Muliggøre anvendelse af samtlige påkrævede reguleringsfunktioner for reaktiv effekt:
 - A. Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering) med angivelse af referencepunktet.
 - B. Q-regulering (Mvar-regulering) med angivelse af referencepunktet.
 - C. Spændingsregulering inklusive parametre for anvendt droop/kompondering med angivelse af referencepunktet.
4. Kunne benyttes til simulering af effektivværdier i de enkelte faser under symmetriske og asymmetriske hændelser og fejl i det kollektive elforsyningssystem. Den anvendte metode til statiske kortslutningsberegninger skal aftales med Energinet.
5. Som minimum kunne benyttes i frekvensområdet fra 47,5 Hz til 51,5 Hz og i spændingsområdet fra 0,0 pu til 1,4 pu.
6. Indeholde relevant kontrol af produktionsanlæggets passive komponenter, herunder styring af:
 - A. Transformer tap-indstillinger.
 - B. Shunt-komponenter.

3.2.1.2 Modelformat

1. Simuleringsmodellen skal leveres implementeret i simuleringsværktøjet DlgSILENT PowerFactory ved anvendelse af de indbyggede netkomponentmodeller og standardprogrammeringsfunktioner.
2. Seneste udgave af DlgSILENT PowerFactory skal anvendes, medmindre andet aftales med Energinet.
3. Den anvendte modelimplementering må ikke forudsætte anvendelse af særlige indstillinger for, eller afvigelser fra, standardindstillingerne for simuleringsværktøjets numeriske ligningsløser eller på anden måde forhindre integration mellem den af anlægsejeren leverede simuleringsmodel og en større net- og systemmodel, som anvendt af Energinet.
4. Simuleringsmodellen aggregeres som beskrevet i afsnit 3.2.5, hvis produktionsanlægget består af flere identiske produktionsenheder.
5. For hybride anlæg bestående af flere forskellige typer af produktionsenheder, skal den stationære model korrekt repræsentere hver af disse typer.
6. Simuleringsmodellen skal være gyldig for både balanceret og ubalanceret loadflow.

For at sikre integration med Energinets samlede net- og systemmodel stilles der desuden krav til strukturen af den statiske model. Produktionsanlæggets statiske model skal:

1. Kun indeholde relevante dele. Dele, der er out of service, må ikke indgå i modellen.
2. Indeholde en "base case" study case uden aktive operational scenarios eller variations, som afspejler produktionsanlæggets påtænkte normaldriftsindstillinger.
3. Modeldannes i et enkelt net, der indeholder samtlige statiske komponenter.
4. Have samtlige anvendte komponenttyper liggende i en separat mappe.

3.2.1.3 Modelleverancer

Den stationære simuleringsmodel skal ved levering bestå af følgende:

- DlgSILENT PowerFactory simuleringsmodel i seneste udgave
 - En funktionel, stationær simuleringsmodel, som overholder krav i afsnit 3.2.1, skal leveres for produktionsanlægget forbundet til en simpel modelrepræsentation af det kollektive elforsyningssystem, fx en Théveninækvivalent model.
- Brugervejledning med beskrivelse af:
 - Funktionsbeskrivelser af de overordnede moduler i modellen.
 - De enkelte modelkomponenter og tilhørende parametre.
 - den anvendte modelaggregering, jf. kravene i afsnit 3.2.5.
 - Opsætning af simuleringsmodellen, modelantagelser samt eventuelle begrænsninger for anvendelsen af denne.
 - hvorledes simuleringsmodellen kan integreres i en større net- og systemmodel, som anvendt af Energinet.
 - Relevante parametre for kortslutningskarakteristik. Omfang skal aftales med Energinet.
- Data for netkomponenter og øvrige dele, som indgår i anlægsinfrastrukturen. Data skal have et omfang og et detaljeringniveau, som muliggør opbygning af en komplet, fuldt funktionsdygtig simuleringsmodel, som krævet i afsnit 2.
- Verifikationsrapporter for den stationære model, som specificeret i afsnit 4.

3.2.1.4 Nøjagtighedskrav

Simuleringsmodellen må generelt ikke vise egenskaber, der ikke kan påvises for det fysiske produktionsanlæg.

3.2.2 Krav til dynamisk simuleringsmodel (PDT-model)

Den dynamiske simuleringsmodel for det samlede produktionsanlæg skal repræsentere anlæggets stationære og dynamiske egenskaber i tilslutningspunktet, gældende for det definerede normaldriftsområde [1] og under alle relevante netforhold, hvor produktionsanlægget skal kunne drives.

Anlægsejer har til ansvar at levere en dynamisk simuleringsmodel af produktionsanlægget til Energinet i henhold til specifikationerne i afsnit 3.2.2.1, 3.2.2.2, 3.2.2.3 og 3.2.2.4.

Simuleringsmodellen skal kunne integreres i Energinets samlede net- og systemmodel uden at have en problematisk indvirkning på anvendelsen af denne. Modelkravene specificeret i følgende underafsnit har bl.a. til formål at forebygge dette, men såfremt simuleringsmodellen alligevel giver udfordringer ved integration med Energinets samlede net- og systemmodel, er det anlægsejerens ansvar at finde en løsning på dette i samarbejde med Energinet. I praksis vil det foregå således, at modeller testes og godkendes inden tildeling af ION på baggrund af kravene i de følgende underafsnit. Efter udstedelse af ION vil Energinet teste simuleringsmodellens performance ved integration med en større systemmodel, og eventuelle udfordringer skal håndteres, inden endelig modelgodkendelse kan gives, jf. krav til FON.

Simuleringsmodellen skal verificeres, som specificeret i afsnit 4.

3.2.2.1 Funktionelle modelkrav

Den dynamiske simuleringsmodel skal kunne repræsentere produktionsanlæggets stationære og dynamiske egenskaber i forbindelse med setpunktsændringer for anlæggets produktion af aktiv og reaktiv effekt, herunder ændring af reguleringsform for dette, samt nedenstående eksterne hændelser, eller kombinationer af disse eksterne hændelser i det kollektive elforsyningssystem:

- Fejl set fra tilslutningspunktet i henhold til den påkrævede FRT-karakteristik [2], hvor en kortslutning her kan antage form som:
 - En fase-jord kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
 - En tofaset kortslutning uden eller med jordberøring med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
 - En trefaset kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
- Udkobling af, og mulig efterfølgende automatisk genindkobling af, en vilkårlig fejlramt netkomponent i det kollektive elforsyningssystem, jf. ovenstående fejlforløb, og det afledte vektorspring i tilslutningspunktet.
- Manuel ind- eller udkobling (uden forudgående fejl) af en vilkårlig netkomponent i det kollektive elforsyningssystem og det afledte vektorspring i tilslutningspunktet.
- Spændingsforstyrrelser og tenderende spændingskollaps med en varighed inden for den påkrævede minimumssimuleringstid, jf. nedenstående, og som minimum inden for indsvingningsforløbet for produktionsanlæggets overgang til en ny stationær tilstand.
- Frekvensforstyrrelser med en varighed inden for den påkrævede minimumssimuleringstid, jf. nedenstående, og som minimum inden for indsvingningsforløbet for produktionsanlæggets overgang til en ny stationær tilstand.
- Aktivering af et pålagt systemværn (via et eksternt signal) til hurtig regulering af produktionsanlæggets aktive effektproduktion i henhold til en foruddefineret slutværdi og gradient.

Den dynamiske simuleringsmodel skal overholde følgende:

1. Indeholde samtlige påkrævede reguleringsfunktioner [1].
2. Indeholde en fuld repræsentation af plant-level regulering, herunder parkregulatoren (PPC), som inkluderer tidsforsinkelser, transition til og fra fault ride-through modes mm.
3. Indeholde relevant kontrol af produktionsanlæggets passive komponenter, herunder styring af:
 - a. Transformer tap-indstillinger.
 - b. Shunt-komponenter.
4. Indeholde relevante beskyttelsesfunktioner, som kan aktiveres ved eksterne hændelser og fejl i det kollektive elforsyningssystem, implementeret enten i form af blokdiagrammer, med angivelse af overføringsfunktioner, programmeret i DSL (DIGSILENT Simulation Language) eller via DIGSILENTS PowerFactorys indbyggede relækomponentmodeller.
5. Indeholde samtlige kontrolfunktioner⁴, som kan aktiveres ved alle relevante hændelser og fejl i det kollektive elforsyningssystem.
6. Indeholde produktionsanlæggets effekt- og hastighedsregulator, hvis aktuelt.
7. Indeholde en samlet mekanisk svingningsmassemodel for produktionsanlæggets drivtø, inklusive dokumentation af inertikonstanter, egenfrekvenser samt fjeder- og dæmpningskonstanter for hvert af drivtøgets masselementer, såfremt dette er relevant for repræsentationen af produktionsanlæggets stationære og dynamiske egenskaber.
8. Kunne benyttes til simulering af effektivværdier i de enkelte faser under symmetriske og asymmetriske hændelser og fejl i det kollektive elforsyningssystem.
9. For produktionsanlæg med varierende primær energikilde skal det være muligt at justere på den tilgængelige effekt, også under simulering.
10. Som minimum kunne benyttes i frekvensområdet fra 47,5 Hz til 51,5 Hz og i spændingsområdet fra 0,0 pu til 1,4 pu.
11. Kunne beskrive produktionsanlæggets dynamiske egenskaber i mindst 60 sekunder efter enhver af ovenstående setpunktsændringer og eksterne hændelser i det kollektive elforsyningssystem.
12. Være numerisk stabil ved gennemførelse af en simulering på minimum 60 sekunder uden påtrykning af et hændelsesforløb eller ændring af randbetingelser, hvor de simulerede værdier for aktiv effekt, reaktiv effekt, spænding og frekvens skal forblive konstante under hele simulationsforløbet.
13. Være numerisk stabil ved et momentant vektorspring på op til 20 grader i tilslutningspunktet.
14. Såfremt produktionsanlægget indeholder eksterne komponenter, fx af hensyn til overholdelse af nettilslutningskravene eller til levering af kommercielle systemydelse, skal simuleringsmodellen indeholde den nødvendige repræsentation af disse komponenter, som krævet i afsnit 2.
15. Det accepteres, at simuleringsmodellen i løbet af et gennemført simulationsforløb giver enkelte fejlmeddelelser om manglende konvergens i forbindelse med påtrykte eksterne hændelser. Dette vil dog i udgangspunktet blive opfattet som modelimplementeringsmæssig imperfektion, hvor årsagen og forslag til afhjælpning af denne skal fremgå af den tilhørende modeldokumentation.

⁴ Kontrolfunktioner i relation til produktionsanlæggets pålagte *fault-ride through*-egenskaber, herunder dynamisk spændingsstøtte i forbindelse med et spændingsdyk.

3.2.2.2 Modelformat

1. Simuleringsmodellen skal leveres implementeret i simuleringsværktøjet DigSILENT PowerFactory ved anvendelse af de indbyggede netkomponentmodeller og standardprogrammeringsfunktioner. Simuleringsmodellens dynamiske lag skal implementeres ved hjælp af DigSILENT Simulation Language (DSL), medmindre andet aftales med Energinet.
2. Seneste udgave af DigSILENT PowerFactory skal anvendes, medmindre andet aftales med Energinet.
3. Den anvendte modelimplementering må ikke forudsætte anvendelse af særlige funktioner i DigSILENT PowerFactory, ud over hvad der er indeholdt i 'Base Package'-, 'Distance Protection'- og 'Stability Analysis Functions (RMS)'-licenserne.
4. Den anvendte modelimplementering må ikke forudsætte anvendelse af særlige indstillinger for, eller afvigelser fra, standardindstillingerne for simuleringsværktøjets numeriske ligningsløser eller på anden måde forhindre integration mellem den af anlægsejeren leverede simuleringsmodel og en større net- og systemmodel, som anvendt af Energinet.
5. Modellen skal så vidt muligt anvende makroer fra DigSILENT PowerFactorys 'Global Library' samt anvende DSL performance optimerede funktioner.
6. Aggregeres som beskrevet i afsnit 3.2.5, hvis produktionsanlægget består af flere identiske produktionsenheder.
7. For hybride anlæg bestående af flere forskellige typer af produktionsenheder skal PDT-modellen korrekt repræsentere hver af disse typer.
8. Simuleringsmodellen skal kunne initialiseres i et stabilt arbejds punkt på baggrund af én enkelt, vilkårlig og gyldig, loadflow-simulering uden efterfølgende iterationer, for både et balanceret og ubalanceret load flow, samt initialisere for både balanceret og ubalanceret netværksrepræsentation i dynamisk simulering. Ved initialisering skal den afledte værdi (dx/dt) for enhver af simuleringsmodellens tilstandsvariable være mindre end 0,0001.
9. Kunne initialiseres i et stabilt arbejds punkt, som beskrevet i ovenstående, uden yderligere manuelle betjening af både statisk og dynamisk model. Hvorved modellen skal kunne initialiseres direkte ved brug af load-flow resultat uden anvendelse af programmeringer, herunder scripts.
10. Simuleringsmodellen skal indeholde signaler for aktivering af særlige reguleringsfunktioner (f.eks. FRT-aktivering) og systemværn.
11. Alle relevante setpunkter og indstillinger på det virkelige anlæg skal være tilgængelige i den dynamiske simuleringsmodel. Hvert enkelt input må ikke kræve justering mere end ét sted og skal kunne justeres både før og under dynamisk simulering, herunder:
 - a. Aktiv effektregulering.
 - b. Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering).
 - c. Q-regulering (Mvar-regulering).
 - d. Spændingsregulering (inklusive parametre for droop/kompondering).
 - e. Frekvensregulering (statik og dødbånd).
12. Yderligere skal alle setpunkter og indstillinger angives med fortegn i henhold til generatorkonvention [5].
13. Setpunkter for aktiv effekt, reaktiv effekt og spænding skal angives i per unit, i henhold til produktionsanlæggets nominelle aktive effekt og spænding i tilslutningspunktet.
14. Setpunkt for effektfaktor-regulering skal angives ved $\cos \phi$ og separat input, som indikerer induktiv eller kapacitiv reaktiv effekt udveksling.
15. Det skal være muligt at skifte mellem samtlige påkrævede reguleringsfunktioner for aktiv og reaktiv effekt både før og under dynamisk simulering, såfremt dette kan gøres under drift på det virkelige anlæg.

16. Simuleringsmodellen må ikke kræve, at komponenter, kontrolblokke eller målinger skal sættes out of service ved forskellige driftsmønstre og reguleringsformer.
17. Kunne simuleres korrekt med numeriske ligningslødere med variabelt tidsskridt i intervallet 1 til 10 ms.
18. Kunne simuleres korrekt med numeriske ligningslødere med et fikseret tidsskridt på 1 ms.
19. Ikke indeholde krypterede eller kompilerede dele (accepteres ikke), medmindre andet aftales med Energinet, da Energinet skal kunne kvalitetssikre resultaterne fra simuleringsmodellen og vedligeholde denne uden begrænsninger ved softwareopdatering m.m.

For at sikre integration med Energinets samlede net- og systemmodel, stilles der desuden krav til strukturen af den dynamiske model. Produktionsanlæggets dynamiske model skal:

1. Kun indeholde relevante dele. Dele, der er out of service, må ikke indgå i modellen.
2. Indeholde en 'base case' study case uden aktive operational scenarios eller variations, som afspejler produktionsanlæggets påtænkte normaldriftsindstillinger.
3. Modeldannes i et enkelt grid, der indeholder samtlige statiske komponenter, samt composite models.
4. Modeldannes så den enkelte composite model (.ElmComp) indeholder samtlige relevante:
 - a. Common models (.ElmDsl).
 - b. Anvendte målinger (.ElmPhi_pll, .StaPqmea, .StaVmea, .Stalmea etc.).
5. Have samtlige anvendte block definitions (.BlkDef) liggende i en separat mappe, som inddeles i tre forskellige undermapper:
 - a. Frames (indeholder signalforbindelser).
 - b. Macros (indeholder matematiske udtryk, uden grafisk repræsentation).
 - c. Model definitions (indeholder både matematiske udtryk og signalforbindelser).
6. Have samtlige anvendte komponenttyper liggende i en separat mappe.

3.2.2.3 Modelleverancer

PDT-modellen skal ved levering bestå af følgende:

- DlgSILENT PowerFactory simuleringsmodel i seneste udgave
 - En funktionel PDT-simuleringsmodel⁵, som overholder krav i afsnit 3.2.2, skal leveres for produktionsanlægget forbundet til en simpel modelrepræsentation af det kollektive elforsyningssystem, fx en Théveninækvivalent model.
- Brugervejledning med beskrivelse af:
 - Modellernes strukturelle opbygning samt beskrivelser af simuleringsmodellernes parametring og gyldige randbetingelser i form af arbejds punkter og eventuelle restriktioner i relation til netforhold (kortslytningsforhold og R/X-forhold) i tilslutningspunktet og i fejlstedet i forbindelse med simulering af eksterne hændelser i det kollektive elforsyningssystem.
 - De i simuleringsmodellen implementerede kontrol-, beskyttelses- og reguleringsfunktioner til brug ved evaluering af anlæggets egenskaber i tilslutningspunktet.
 - Modelantagelser og anvendelse af PDT-modellen.
 - Modelbegrænsninger og alle de af produktionsanlæggets funktioner, der ikke er inkluderet i PDT-modellen, som ville kunne antages at have betydning for produktionsanlæggets dynamiske egenskaber og performance.
 - Den anvendte modelaggregeringsmetode jf. kravene i afsnit 3.2.5.
 - Hvorledes simuleringsmodellen kan integreres i en større net- og systemmodel, som anvendt af Energinet.
 - Opsætning og initialisering af simuleringsmodellen.

⁵ I DlgSILENT PowerFactory kaldet RMS simulering.

- Parametre for de enkelte modelkomponenter, herunder mætning, ulinearitet, dødbånd, tidsforsinkelser samt begrænsningsfunktioner (non-wind-up/anti wind-up) samt look-up tabeldata og anvendte principper for interpolation m.m.
- Simuleringsmodellens indgangs- og udgangssignaler, hvor dette som minimum skal omfatte følgende:
 - Aktiv effekt.
 - Reaktiv effekt.
 - Setpunkter for:
 - Aktiv effektregulering.
 - Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering).
 - Q-regulering (Mvar-regulering).
 - Spændingsregulering inklusive parametre for anvendt droop/kompounding.
 - Frekvensregulering (statik og dødbånd).
 - Systemværn (slutværdi og gradient for regulering af aktiv effekt).
 - Signaler for aktivering af særlige reguleringsfunktioner i forbindelse med hændelser i det kollektive elforsyningsystem (f.eks. FRT aktivering).
 - Signal for aktivering af systemværn.
 - Styresignaler for eventuelle eksterne netkomponenter, fx STATCOMs eller energilagringenheder m.m.
- Data for netkomponenter og øvrige dele, som indgår i anlægsinfrastrukturen. Data skal have et omfang og et detaljeringsniveau, som muliggør opbygning af en komplet, fuldt funktionsdygtig simuleringsmodel, som krævet i afsnit 2.
- Verifikationsrapporter for PDT-modellen, som specificeret i afsnit 4.

3.2.2.4 Nøjagtighedskrav til PDT-simuleringsmodeller af asynkrone produktionsanlæg

PDT-simuleringsmodellen skal repræsentere det asynkrone produktionsanlægs stationære og dynamiske egenskaber i tilslutningspunktet tilstrækkeligt nøjagtigt. Anlægsejeren skal, underlagt kravene i dette afsnit, gennem sammenligning af tests af produktionsanlægget og PDT-simuleringsmodellen dokumentere dette.

Produktionsanlæggets dynamiske respons er inddelt i to kategorier, hvortil der er separate nøjagtighedskrav og krav til de udførte tests:

- 1) Produktionsanlæggets dynamiske respons på momentane spændingsændringer i tilslutningspunktet uden for normaldriftsområdet.
- 2) Produktionsanlæggets dynamiske respons ved ændring af dets stationære arbejds punkt.

Simuleringsmodellen må generelt ikke vise egenskaber, der ikke kan påvises for det fysiske produktionsanlæg.

3.2.2.4.1 Nøjagtighedskrav ved momentane spændingsændringer i tilslutningspunktet

Momentane spændingsændringer i produktionsanlæggets tilslutningspunkt forekommer fx i forbindelse med kortslutning af en netkomponent eller i forbindelse med manuel kobling med en netkomponent i det kollektive elforsyningssystem.

Verificering af nøjagtigheden, på den dynamiske simuleringsmodels repræsentation af produktionsanlæggets samlede dynamiske respons, på denne type hændelser, må oftest foretages som en afledt nøjagtighedsverifikation med hver enkelt type delanlæg. Det vil sige, at nøjagtighedskravet til produktionsanlæggets samlede dynamiske simuleringsmodel betragtes som værende opfyldt, såfremt de dynamiske simuleringsmodeller af hvert type delanlæg overholder samme nøjagtighedskrav.

Nøjagtigheden fastlægges på baggrund af beregning af afvigelsen mellem modellens simulerede respons og den tilsvarende målte værdi. Afvigelsen defineres som: $X_E(t) = X_{sim}(t) - X_{målt}(t)$. Den beregnede afvigelse evalueres ved anvendelse af nedenstående størrelser defineret i [6] afsnit 6.4.3.

- MXE - Den maksimale afvigelse (the maximum error).
- ME – Den gennemsnitlige afvigelse (the mean error).
- MAE – Den gennemsnitlige absolutte afvigelse (the mean absolute error).

Bilag 1 viser, hvilke af produktionsanlæggets elektriske signaler er omfattet af ovenstående nøjagtighedskrav.

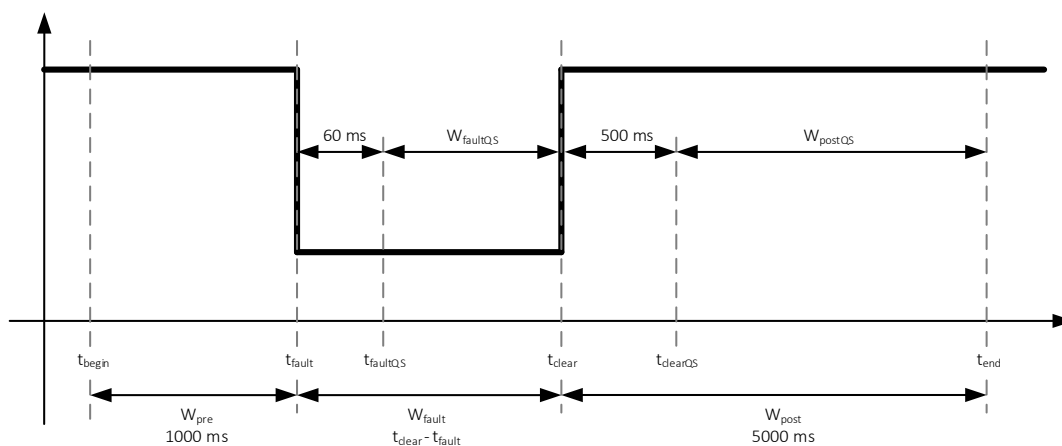
Nøjagtighedskrav til hver af disse størrelser, fastsættes i henhold til tidsvinduerne defineret i [6] afsnit 6.4.4, se Figur 1 (figuren viser spændingsfald, men gælder også spændingsstigning). Tidsvinduerne er:

- W_{pre} er tidsvinduet før spændingsændring (fra t_{begin} og indtil t_{fault}).
- W_{fault} er tidsvinduet under spændingsændringen (fra t_{fault} og indtil t_{clear}).
- W_{post} er tidsvinduet efter spændingsændringen (fra t_{clear} og indtil t_{end}).

Det samlede tidsvindue for spændingsændringen er afgrænset af t_{begin} og t_{end} , hvor disse er defineret som:

- t_{begin} er 1000 ms før t_{fault} .
- t_{end} er 5000 ms efter t_{clear} .

Hermed er nøjagtighedskrav i forbindelse med momentane spændingsændringer afgrænset til t_{end} , for verificering af nøjagtighed. Efter t_{end} er det kravene specificeret i afsnit 3.2.2.4.2, som er gældende.



Figur 1 – Tidsvindue for momentan spændingsændring jf. [6]. Bemærk tiden fra t_{fault} til $t_{faultQS}$ er justeret.

Som vist på Figur 1 er der defineret yderligere to tidsvinduer, som dækker de quasi-stationære perioder efter t_{faultQS} og t_{clearQS} . Disse tidsvinduer er:

- W_{faultQS}^6 er perioden fra 60 ms efter t_{fault} (t_{faultQS}) og indtil t_{clear} .
- W_{postQS} er perioden fra 500 ms efter t_{clear} (t_{clearQS}) og indtil t_{end} .

Disse tidsvinduer anvendes for at kunne differentiere mellem krav til de transiente perioder efter t_{fault} og t_{clear} og de efterfølgende quasi-stationære forløb. Dermed fastsættes tidsvinduerne, hvor hver af størrelserne (MXE, ME og MAE) beregnes for den dynamiske simuleringsmodel, som angivet i Tabel 2. Bemærk, at Tabel 2 afviger fra specifikationen i [6], og at det er Tabel 2, som er gældende.

Periode	X_{MXE}	X_{ME}	X_{MAE}
Pre-fault	W_{pre}	W_{pre}	W_{pre}
Fault	W_{faultQS}	W_{fault}	W_{fault}
Post-fault	W_{postQS}	W_{post}	W_{post}

Tabel 2 – Tidsvinduer for beregning af afvigelse for PDT-modeller.

Tabel 3 angiver de tilladelige tolerancer for hvert relevant signal og hvert kriterie i de definerede tidsperioder [6]. Tolerancerne er opgivet i per unit. For aktiv effekt og reaktiv effekt er basen produktionsanlæggets nominelle aktive effekt. For strømmens aktive og reaktive komponent er basen anlæggets nominelle strøm, jf. definitionen i [6].

		Synkron- og inverskomponenter											
		Aktiv effekt			Reaktiv effekt			Strøm (aktiv komponent)			Strøm (reaktiv komponent)		
		MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE
Tilladelig afvigelse	Pre-fault	0,020	±0,020	0,020	0,020	±0,020	0,020	0,100	±0,050	0,050	0,100	±0,050	0,050
	Fault	0,150	±0,100	0,150	0,150	±0,100	0,150	0,200	±0,150	0,200	0,150	±0,100	0,150
	Post-fault	0,100	±0,050	0,050	0,100	±0,050	0,050	0,100	±0,050	0,050	0,100	±0,050	0,050

Tabel 3 Nøjagtighedskrav - tilladelige afvigelser.

Nøjagtighedskravene specificeret i Tabel 3 gælder for både positive- og negativsekvens værdier i tilfælde af asymmetriske hændelser.

3.2.2.4.2 Nøjagtighedskrav i forbindelse med ændringer af produktionsanlæggets arbejds punkt

Begrebet *ændringer af produktionsanlæggets arbejds punkt* omfatter i denne sammenhæng ændringer af produktionsanlæggets stationære arbejds punkt, fx:

- Manuelle setpunktsændringer af aktiv eller reaktiv effektudveksling i tilslutningspunktet.
- Returnering til stabilt arbejds punkt efter forstyrrelse af aktiv eller reaktiv effektudveksling i tilslutningspunktet. Fx ved udkobling af delanlæg.
- Automatisk ændring af anlæggets reaktive effekt setpunkt som følge af en ændring i spændingen i tilslutningspunktet.
- Automatisk ændring af anlæggets aktive effekt setpunkt som følge af aktivering af FSM, LFSM-O eller LFSM-U.
- Returnering til stabilt arbejds punkt efter fejl og resulterende FRT-forløb.
- Ændring af anlæggets arbejds punkt som følge af en ændring i den tilrådelige effekt.

⁶ Bemærk, definitionen af W_{faultQS} , er ændret i forhold til [5].

Den dynamiske simuleringsmodells repræsentation af produktionsanlæggets dynamik ifm. regulering af dets arbejds punkt er underlagt følgende nøjagtighedskrav:

Regulering af produktionsanlæggets arbejds punkt er inddelt i to perioder. Den transiente periode og den quasi-stationære periode, se Figur 3 (Bilag 2). I den transiente periode foregår hovedparten af produktionsanlæggets regulering til det nye stationære operationspunkt.

Den transiente periode begynder første gang, at differencen mellem produktionsanlæggets regulering og den forrige stationære værdi overstiger $\pm 2\%$ af ændringen i det stationære operationspunkt. Den transiente periode slutter, når produktionsanlægget forbliver reguleret inden for $\pm 2\%$ af ændringen i stationært operationspunkt fra den endelige stationære værdi.

Den del af responset, der ikke er i en transient-periode, er i en quasi-stationær periode.

For signalerne aktiv og reaktiv effektudveksling i tilslutningspunktet gælder:

- 1) I den transiente periode skal den absolutte difference mellem produktionsanlæggets respons og PDT-simuleringsmodellens korresponderende respons til enhver tid være inden for den **mindst** restriktive af følgende tolerancer:
 - a) 10% af produktionsanlæggets ændring i stationærværdien.
 - b) 2% af produktionsanlæggets nominelle effekt.
- 2) I den quasi-stationære periode skal den absolutte difference mellem produktionsanlæggets respons og PDT-simuleringsmodellens korresponderende respons være inden for en tolerance på 2% af produktionsanlæggets nominelle effekt.

Ovenstående nøjagtighedskrav er illustreret på Figur 4 (Bilag 2).

Anlægssejeren skal planlægge, udføre og dokumentere en modelverificering på det specifikke anlæg for at dokumentere, at overstående nøjagtighedskrav er opfyldt.

3.2.3 Krav til transient simuleringsmodel (EMT-model)

Den transiente simuleringsmodel leveret af anlægssejeren skal være en nøjagtig repræsentation af det samlede anlæg såvel som specifikke komponenter. Modellen skal indeholde anlægsspecifikke indstillinger og repræsentere anlæggets stationære og dynamiske egenskaber i tilslutningspunktet, gældende for det definerede normaldriftsområde [1] og under alle relevante netforhold, hvor produktionsanlægget skal kunne drives. Modellen skal være nøjagtig til at studere transienter på systemniveau, hvor frekvensområdet kan være op til 2 kHz.

Anlægssejer har til ansvar at levere en transient simuleringsmodel af produktionsanlægget til Energinet i henhold til specifikationerne i afsnit 3.2.3.1, 3.2.3.2, 3.2.3.3 og 3.2.3.4.

Simuleringsmodellen skal kunne integreres i Energinets samlede net- og systemmodel uden at have en problematisk indvirkning på anvendelsen af denne. Modelkravene specificeret i følgende underafsnit har bl.a. til formål at forebygge dette, men såfremt simuleringsmodellen alligevel giver udfordringer ved integration i Energinets samlede net- og systemmodel, er det anlægssejerens ansvar at finde en løsning på dette i samarbejde med Energinet. I praksis vil det foregå således, at modeller testes og godkendes inden tildeling af ION på baggrund af kravene i de følgende underafsnit. Efter udstedelse af ION vil Energinet teste simuleringsmodellens performance ved integration i en større systemmodel, og eventuelle udfordringer skal håndteres, inden endelig modelgodkendelse kan gives, jf. krav til FON.

Simuleringsmodellen skal verificeres, som specificeret i afsnit 4.

3.2.3.1 Funktionelle modelkrav

Den transiente simuleringsmodel skal kunne repræsentere produktionsanlæggets stationære og dynamiske egenskaber i forbindelse med setpunktsændringer for anlæggets produktion af aktiv og reaktiv effekt, herunder ændring af reguleringsform for dette, samt nedenstående eksterne hændelser, eller kombinationer af disse eksterne hændelser i det kollektive elforsyningssystem:

- Fejl set fra tilslutningspunktet i henhold til den påkrævede FRT-karakteristik [2], hvor en kortslutning her kan antage form som:
 - En fase-jord kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
 - En tofaset kortslutning uden eller med jordberøring med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
 - En trefaset kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
- Udkobling af, og mulig efterfølgende automatisk genindkobling af, en vilkårlig fejlramt netkomponent i det kollektive elforsyningssystem, jf. ovenstående fejlforløb, og det afledte vektorspring i tilslutningspunktet.
- Manuel ind- eller udkobling (uden forudgående fejl) af en vilkårlig netkomponent i det kollektive elforsyningssystem og det afledte vektorspring i tilslutningspunktet.
- Spændingsforstyrrelser og tenderende spændingskollaps med en varighed inden for den påkrævede minimumssimuleringstid, jf. nedenstående, og som minimum inden for indsvingningsforløbet for produktionsanlæggets overgang til en ny stationær tilstand.
- Frekvensforstyrrelser med en varighed inden for den påkrævede minimumssimuleringstid, jf. nedenstående, og som minimum inden for indsvingningsforløbet for produktionsanlæggets overgang til en ny stationær tilstand.
- Aktivering af et pålagt systemværn (via et eksternt signal) til hurtig regulering af produktionsanlæggets aktive effektproduktion i henhold til en foruddefineret slutværdi og gradient.

Den leverede transiente simuleringsmodel skal overholde følgende:

1. Indeholde alle relevante regulerings-, kontrol og beskyttelsesfunktioner. Dette inkluderer fx:
 - a. En fuld repræsentation af de indre og ydre reguleringsløjfer for effektelektronikbaserede anlæg, herunder bl.a. spændingskontrol, phase-locked loop, fault ride-through-logik, dæmpningskontrol, begrænsningsfunktioner. Dette gælder også alle relevante fysiske, elektriske og mekaniske komponenter som fx filtre, transformere, shunt-komponenter, gearbox, pitch controller, generatorer, DC-link chopper mm.
 - b. En fuld repræsentation af plant-level regulering, herunder parkregulatoren (PPC). som inkluderer tidsforsinkelser, transition til og fra fault ride-through modes mm.
 - c. Samtlige påkrævede reguleringsfunktioner [1].
 - d. Modellen skal omfatte alle kontrol- og beskyttelsesfunktioner på anlægsniveau og enkeltanlægsniveau, som implementeret i det faktiske udstyr, heriblandt
 - i. Indstillinger for spændings- og frekvensbeskyttelse,
 - ii. Fault ride-through-aktiverings og deaktiveringsindstillinger,
 - iii. Indstillinger for injektion af aktive og reaktive strømme under en fejl.
2. For produktionsenheder med en nettilsluttet konverter skal anlægsejer i deres EMT-model repræsentere konverterens skiftedynamikker enten på transistorniveau eller som en styret spændingskilde-/strømkildeapproximation ('average' model). Såfremt modellen er baseret på en 'average' modelrepræsentation, skal anlægsejer verificere, at kontrol- og beskyttelsesfunktionaliteterne ikke er forenkede, og modellen er velegnet til dynamisk responsanalyse i området fra Hz-kHz. Ved brug af average model skal denne lave et gennemsnit med skiftefrekvensen for anlæggets dynamikker, så hurtige reguleringsløjfer bevares, og det udelukkende er skiftedynamikken og eventuel pulsbreddemodulation, der udelades. Denne average modelre-

præsentation skal stadig kunne korrekt repræsentere de dynamikker, der er imellem DC-siden og AC-siden af anlægget (fx DC-link-dynamik, vindmøllers mekaniske dynamik eller solcellers dynamik), hvilket skal dokumenteres af anlægsejer.

3. Kunne initialiseres på maksimalt 3 sekunders simuleringstid.
4. Simuleringstidspunkt for påbegyndelse af EMT-modellens injektion af tilsyneladende effekt skal kunne indstilles af brugeren.
5. Simuleringstidspunkt for aktivering af produktionsanlæggets beskyttelsessystemer i EMT-modellen skal kunne indstilles af brugeren.
6. Kunne beskrive produktionsanlæggets dynamiske egenskaber i mindst 60 sekunder efter enhver af ovenstående setpunktsændringer og eksterne hændelser i det kollektive elforsynings-system.
7. Være numerisk stabil ved gennemførelse af en simulering på minimum 60 sekunder uden påtrykning af et hændelsesforløb eller ændring af randbetingelser, hvor de simulerede værdier for aktiv effekt, reaktiv effekt, spænding og frekvens skal forblive konstante under hele simuleringforløbet.
8. EMT-modellen skal repræsentere alle komponenter, reguleringssystemer og beskyttelsessystemer relevante for EMT-analyser, herunder også det samlede anlægs parkregulator.
9. Netkomponenter og øvrige dele, som indgår i anlægsinfrastrukturen, skal implementeres i EMT-modellen i et omfang og et detaljeringsniveau, der er gyldig for EMT-studier. Dette inkluderer opsamlingskabler, transformere, filtre m.m. Omfanget af leverancen godkendes af Energinet. Hvis kabler er modelleret med PI-sektioner, skal deres frekvensafhængige karakteristiker valideres mod geometriske modeller.
10. For produktionsenheder med mekanisk drivtøj skal EMT-modellen indeholde en mekanisk svingningsmassemodel for produktionsanlæggets drivtøj inklusive dokumentation af inertikonstanter, egenfrekvenser samt fjeder- og dæmpningskonstanter, såfremt dette er relevant for repræsentationen af produktionsanlæggets stationære og dynamiske egenskaber.
11. EMT-modellen skal repræsentere produktionsanlæggets FRT-egenskaber [2].
12. Hvis produktionsanlægget har særlige funktioner, som eksempel et reguleringsregime for særligt svagt net, skal disse funktioner inkluderes i EMT-modellen. En relevant modelteknisk beskrivelse af de særlige funktioner og disses begrænsninger skal inkluderes i EMT-modellens brugervejledning.
13. Modellen skal være gyldig for stationære driftsforhold.
14. EMT-modellen skal være anvendelig for EMT-simuleringer af balancerede samt ubalancerede fejl og afbrydelse af produktionsanlæggets forbindelse til det kollektive elforsynings-system.
15. For produktionsanlæg med varierende primær energikilde skal det være muligt at justere på den tilgængelige effekt, også under simulering.
16. Såfremt produktionsanlægget indeholder eksterne komponenter, fx af hensyn til overholdelse af nettilslutningskravene eller til levering af kommercielle systemydelser, skal simuleringssmodellen indeholde den nødvendige repræsentation af disse komponenter, som krævet i afsnit 2.

3.2.3.2 Modelformat

1. EMT-modellen skal udvikles og leveres i PSCAD/EMTDC, og være kompatibel med PSCAD-version som aftales med Energinet.
2. Hvis produktionsanlægget består af flere identiske produktionsenheder, skal EMT-modellen aggregeres som beskrevet i afsnit 3.2.5. Den aggregerede model skal være skalerbar ved hjælp af en indbygget funktion eller ved hjælp af en ekstern PSCAD 'skalerings'-komponent.
3. For hybride anlæg bestående af flere forskellige typer af produktionsenheder skal EMT-modellen korrekt repræsentere hver af disse typer.

4. Interval for simuleringstidsskridt, hvor EMT-modellen kan anvendes, skal aftales med Energinet. For anlæg med meget høj skiftfrekvens foretrækker Energinet anvendelse af 'average' model, som beskrevet i 3.2.3.1 punkt 2.
5. EMT- Modellen skal give tilnærmelsesvis samme resultater ved transiente simuleringer med ethvert simuleringstidsskridt i det gyldige interval. Modellen skal, via få tests, valideres for simuleringer ved forskellige simuleringstidsskridt.
6. EMT-modellen skal kunne optræde funktionelt flere gange i samme PSCAD-simuleringsfil, uden at dette leder til, at væsentlige ændringer skal foretages. Derfor skal EMT-modellen kunne indgå som adskillige 'definitions' eller adskillige 'instances'. Hvis modellen indeholder et alternativ til brug af adskillige 'definition' eller 'instance', skal dette beskrives i brugervejledningen.
7. EMT-modellen skal understøtte brug af PSCAD/EMTDCs 'snapshot'-funktion. Det påkræves, at modellen viser samme svar med og uden brug af snapshot-funktionen.
8. EMT-modellen skal understøtte brug af PSCAD/EMTDCs 'multiple run'-funktion.
9. Alle relevante setpunkter og indstillinger på det virkelige anlæg, der kan ændres enten lokalt eller ved fjernkontrol, skal være tilgængelige i den transiente simuleringsmodel. Hvert enkelt input må ikke kræve justering mere end ét sted og skal kunne justeres både før og under dynamisk simulering, herunder:
 - a. Aktiv effektregulering.
 - b. Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering).
 - c. Q-regulering (Mvar-regulering).
 - d. Spændingsregulering (inklusive parametre for droop/kompondering).
 - e. Frekvensregulering (statik og dødbånd).
10. Yderligere skal alle setpunkter og indstillinger angives med fortegn i henhold til generatorkonvention [5].
11. Setpunkter for aktiv effekt, reaktiv effekt og spænding skal angives i per unit i henhold til produktionsanlæggets nominelle aktive effekt og spænding i tilslutningspunktet.
12. Setpunkt for effektfaktor-regulering skal angives ved $\cos \phi$ og separat input, som indikerer induktiv eller kapacitiv reaktiv effekt udveksling.
13. Det skal være muligt at skifte mellem samtlige påkrævede reguleringsfunktioner for aktiv og reaktiv effekt både før og under dynamisk simulering, såfremt dette kan gøres under drift på det virkelige anlæg.
14. Alle elektriske, mekaniske, regulerings og beskyttelsessignaler relevante for EMT-analyser af det kollektive elforsyningssystem skal være tilgængelige i EMT-modellen. Omfanget af leverancen godkendes af Energinet. Særligt fremhæves herunder:
 - a. Signaler for aktivering af særlige reguleringsfunktioner i forbindelse med hændelser i det kollektive elforsyningssystem (f.eks. FRT-aktivering).
 - b. Signal for aktivering af systemværn.
 - c. Den interne controls reference for måling af spændinger og strømme i dq-domænet (V_d/V_q og I_d/I_q) for effektelektronik-baserede anlæg.
 - d. PLL udgangssignal, for anlæg som anvender phase-locked-loop (PLL) til synkronisering.
15. EMT-modellen må indeholde prækompilerede og krypterede dele. EMT-modellens kompilerede dele skal være DLL-baseret. EMT-modellen skal være kompatibel med Energinets simuleringstilbud, hvor kompiler-indstillinger (version og kompatibelt versionsinterval af Intel Fortran og MS Visual Studio) aftales mellem anlægsejer og Energinet.
16. EMT-modellen må ikke bruge eller være afhængig af global variable i PSCAD.
17. EMT-modellen må ikke gøre brug af flere lag i PSCAD-værktøjet, inklusiv 'disabled' lag.

3.2.3.3 Modelleverancer

EMT-modellen skal ved levering bestå af følgende:

- PSCAD/EMTDC-simuleringsmodel, version efter aftale med Energinet.
 - En funktionel PSCAD-simuleringsmodel, der overholder krav i afsnit 3.2.3, skal leveres for produktionsanlægget forbundet til en simpel modelrepræsentation af det kollektive elforsyningssystem, fx en Théveninækvivalent model.
 - Identificer tydeligt producentens EMT-modeludgivelsesversion og den relevante tilhørende hardware-firmwareversion.
- Brugervejledning med beskrivelse af:
 - modellernes strukturelle opbygning samt beskrivelser af simuleringsmodellernes parametring og gyldige randbetingelser i form af arbejds punkter og eventuelle restriktioner i relation til netforhold (kortslutningsforhold og R/X-forhold) i tilslutningspunktet og i fejlstedet i forbindelse med simulering af eksterne hændelser i det kollektive elforsyningssystem.
 - modelantagelser og anvendelse af EMT-modellen.
 - modelbegrænsninger og alle de af produktionsanlæggets funktioner, der ikke er inkluderet i EMT-modellen, som ville kunne antages at have betydning for produktionsanlæggets transiente elektriske egenskaber og performance.
 - den anvendte modelaggregering, jf. kravene i afsnit 3.2.5.
 - hvorledes simuleringsmodellen kan integreres i en større net- og systemmodel, som anvendt af Energinet.
 - højeste mulige tidskridt.
 - hvor mange 'definitions' og 'instances', der kan oprettes af modellen.
 - opsætning og initialisering af simuleringsmodellen.
 - Parametre for de enkelte modelkomponenter, herunder mætning, ulinearitet, dødbånd, tidsforsinkelser samt begrænsningsfunktioner (non-wind-up/anti wind-up) samt look-up tabeldata og anvendte principper for interpolation m.m.
 - simuleringsmodellens indgangs- og udgangssignaler, hvor dette som minimum skal omfatte følgende:
 - Aktiv effekt.
 - Reaktiv effekt.
 - Setpunkter for:
 - Aktiv effektregulering.
 - Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering).
 - Q-regulering (Mvar-regulering).
 - Spændingsregulering inklusive parametre for anvendt droop/kompounding.
 - Frekvensregulering (statik og dødbånd).
 - Systemværn (slutværdi og gradient for regulering af aktiv effekt).
 - Signaler for aktivering af særlige reguleringsfunktioner i forbindelse med hændelser i det kollektive elforsyningssystem (f.eks. FRT-aktivering).
 - Signal for aktivering af systemværn.
 - Styresignaler for eventuelle eksterne netkomponenter, fx STATCOMs eller energilagringseenheder m.m.
- Data for netkomponenter og øvrige dele, som indgår i anlægsinfrastrukturen. Data skal have et omfang og et detaljeringniveau, som muliggør opbygning af en komplet, fuldt funktionsdygtig simuleringsmodel, som krævet i afsnit 2.
- Verifikationsrapporter for EMT-modellen, som specificeret i afsnit 4.

3.2.3.4 Nøjagtighedskrav

Nøjagtigheden af den påkrævede transiente simuleringsmodel fastlægges på samme måde som for den dynamiske simuleringsmodel (PDT-model), jf. afsnit 3.2.2.4, ved anvendelse af passende filtrering til beregning af grundtonekomponenten af målte og simulerede værdier. Metoden anvendt til filtrering aftales mellem anlægsejer og Energinet. Nøjagtighedskravet til den transiente simuleringsmodel og den anvendte evalueringsmetode er identisk med krav for den påkrævede dynamiske simuleringsmodel, dog med undtagelse af nedenstående punkter.

Tidsvinduerne for hvilke størrelserne (MXE, ME og MAE) beregnes, jf. krav til momentane spændingsændringer er forskellige i forhold til afsnit 3.2.2.4.1. For den transiente simuleringsmodel skal størrelserne beregnes som angivet i Tabel 4.

Periode	X_{MXE}	X_{ME}	X_{MAE}
Pre-fault	W_{pre}	W_{pre}	W_{pre}
Fault	W_{fault}	W_{fault}	W_{fault}
Post-fault	W_{post}	W_{post}	W_{post}

Tabel 4 – Tidsvinduer for beregning af afvigelse for EMT-modeller.

I forbindelse med verificering af enkeltanlæg jf. afsnit 4.3.3 gælder yderligere:

- For asynkrone anlæg, som er nettilsluttet via en konverter, gælder nøjagtighedskravene til aktiv og reaktiv strømkomponent også for den interne kontrols omregning af måleværdier til dq-domænet (I_d og I_q), når relevant for både positiv- og negativsekvens.
- Sammenligning af øjebliksværdier for strøm og spænding anvendes til verificering af simuleringsmodellens nøjagtighed i forbindelse med de transiente forløb ved spændingsændringer. Sammenligning af øjebliksværdier er ikke underlagt kvantitative nøjagtighedskrav, men verificering er baseret på en visuel inspektion og ingeniørfaglig vurdering. Ved vurdering af øjebliksværdierne er fokus på amplitude og oscillationsfrekvens før, under og efter spændingsforstyrrelsen, antallet af perioder for at opnå ny steady state, fase-asymmetri samt størrelsen af et eventuelt fasehop. Resultat omfang er beskrevet i afsnit 4.3.3.

Der kan afviges fra sammenligning af I_d og I_q , så frem der kan redegøres for anden metode som sikre tilsvarende kontrol af nøjagtighed.

3.2.4 Krav til harmonisk simuleringsmodel

3.2.4.1 Funktionelle modelkrav

Simuleringsmodellen for det samlede produktionsanlæg skal repræsentere anlæggets emission af harmoniske overtoner og passive harmoniske respons (harmoniske impedans) i tilslutningspunktet, gældende for det definerede normaldriftsområde [1] og under alle relevante stationære netforhold, hvor produktionsanlægget skal kunne drives.

Enkeltanlægsmodel skal leveres som en Théveninækvivalent repræsentativ for produktionsanlæggets emission af heltals-harmoniske, angivet som RMS-spændinger, samt anlæggets passive respons i frekvensområdet 50 Hz til 2500 Hz. Modellen skal indeholde de relevante synkron-, iners- og nul-sekvensimpedanser i det specificerede frekvensområde med frekvensopløsningen på 1 Hz.

Hvis anlægget består af flere produktionsanlæg, skal der foruden enkeltanlægsmodellen leveres en aggregeret simuleringsmodel repræsentativ for den samlede emission samt det samlede passive harmoniske respons i tilslutningspunktet. Krav til frekvensområde og opløsning er identisk med enkeltanlægsmodellen.

Hvis produktionsanlæggets emission eller impedanser er afhængige af anlæggets arbejds punkt, skal modellen leveres ved tre effektområder ved nominel spænding og nul reaktiv effekt; $P = 0,0$ pu, $P = 0,5$ pu og $P = 1,0$ pu. Derudover skal det beskrives, hvordan reaktiv effekt påvirker den harmoniske emission og impedans. Desuden skal anlægsejeren levere en model opsat med højeste emission per harmoniske; hvor dette er gældende både for den aggregerede samt enkeltanlægsmodellen. Det er anlægsejerens ansvar at dokumentere afhængighed af arbejds punktet samt at sikre korrekt implementering i modellerne.

Det er anlægsejerens ansvar at specificere en metode for summering af emission fra flere produktionsanlæg. Dette kan enten gøres ved at specificere krav til fastsættelse af vinklen på Théveninspændingen for hver harmonisk frekvens givet specifikt for hvert produktionsanlæg. Alternativt benyttes en summeringslov, som eksempelvis angivet i [7]. Benyttes en summeringslov, skal α -koefficienterne fastsættes af anlægsejeren. Der skal redegøres for valg af α -koefficienterne for alle harmoniske. Det er for begge metoder anlægsejerens ansvar at redegøre for, at den anvendte metode giver et korrekt respons for produktionsanlæggets samlede emission.

Data for netkomponenter og øvrige dele, som indgår i anlægsinfrastrukturen, skal have et omfang og et detaljeringsniveau, som muliggør opbygning af en komplet frekvensafhængig simuleringsmodel i frekvensområdet 50 Hz til 2500 Hz. Dette inkluderer opsamlingskabler, transformere, filtre mm. Omfanget af leverancen godkendes af Energinet.

3.2.4.2 Modelformat

Den harmoniske enkeltanlægsmodel og aggregeret simuleringsmodel opsat til højeste emission per harmoniske orden skal leveres enten som tabeldata i EXCEL eller som DiGSILENT PowerFactory model, i PowerFactory version, som aftales med Energinet. En fulddetaljeret harmonisk model kan udgøre leverance af data for netkomponenter og øvrige dele. En fulddetaljeret harmonisk model skal i så fald leveres i DiGSILENT PowerFactory.

Harmoniske emissioner og/eller impedanser, der angiver anlæggets afhængighed af arbejds punkt skal leveres som tabeldata i EXCEL. Hertil skal relevante data, der muliggør opbygning af en komplet fre-

kvensafhængig simuleringsmodel, leveres i EXCEL. Dette omfatter bl.a. elektriske data for anlægskomponenter og kabellængder internt i anlægget.

3.2.4.3 Modelleverancer

Leverance af den harmoniske simuleringsmodel skal indeholde:

- Harmonisk enkeltanlægsmodel opsat med højeste emission per harmoniske orden.
- Harmonisk aggregeret simuleringsmodel opsat med højeste emission per harmoniske orden.

- Teknisk dokumentation og data for
 - Relevante synkron-, invers- og nul-sekvensimpedanser i frekvensområdet 50 Hz til 2500 Hz med frekvensopløsningen på 1 Hz.
 - Dokumentation for produktionsanlæggets emission og/eller impedansers afhængighed af anlæggets arbejds punkt.
 - Netkomponenter og øvrige dele af anlægsinfrastrukturen i omfang og detaljeringsniveau, som muliggør opbygning af en komplet frekvensafhængig simuleringsmodel.

- Modelvejledning med beskrivelse af
 - Modelantagelser og opbygning.
 - Metode for summering af emission fra flere produktionsanlæg.
 - Den anvendte modelaggregering og overensstemmelse af denne med komplet harmonisk simuleringsmodel.

3.2.4.4 Nøjagtighedskrav

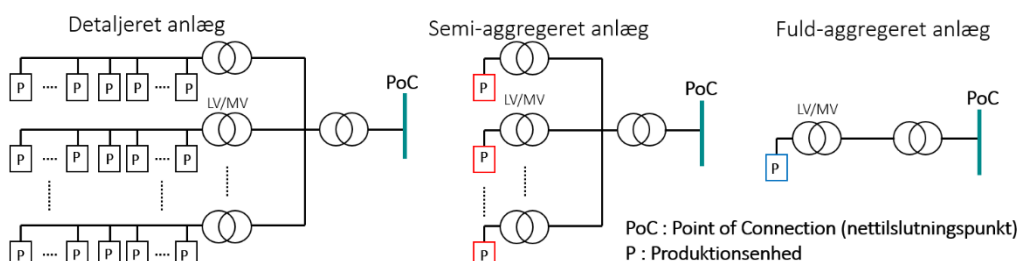
Metoden anvendt til opstilling af modellen for den enkelte produktionsenhed skal specificeres og godkendes af Energinet. Bestemmes modelparametre ved måling, skal en målerapport vedlægges som dokumentation. Desuden skal der redegøres for, hvordan modelparametre fastsættes ud fra målerapportens resultater. Fastsættes modelparametre ved beregning eller simulering, skal metoden anvendt specificeres, samt eksempler på resultatbehandling for udledning af modelparametre gives.

3.2.5 Aggregering af modeller for produktionsanlæg

Produktionsanlægget kan bestå af adskillige mindre enheder, som tilsammen udgør mærkeeffekten af produktionen i tilslutningspunktet. For analyser i det kollektive elforsyningssystem implementerer systemoperatøren en fuld-aggregeret eller semi-aggregeret model af anlægget afhængig af anlæggets interne komponenter, symmetri set fra tilslutningspunktet, den elektriske afstand imellem tilslutningspunktet og interne komponenter og enheder mm.

Anlægsejer har til ansvar at levere aggregerede simuleringmodeller af produktionsanlægget til Energinet i henhold til nedenstående specifikation:

- Krav om model aggregering gælder for de krævede stationære, dynamiske og transiente modeller.
- Det er anlægsejers ansvar at sikre, at den aggregerede dynamiske model er en retvisende repræsentation for det samlede produktionsanlæg i tilslutningspunktet, både under statiske og dynamiske forhold, jf. de krav der er nedsat for stationære, dynamiske og transiente modeller i afsnit 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3.
- Anlægsejer skal i brugervejledningen for modellen inkludere
 - beskrivelser af de anvendte principper for aggregering samt eventuelle begrænsninger for anvendelsen af dette. Simuleringsmodellens parametring skal indeholde komplette datasæt for enkeltanlæg og det aggregerede anlæg.
 - et verifikationsafsnit, der dokumenterer, at den fuld-aggregerede model er repræsentativ for en detaljeret repræsentation af anlægget. Hvorvidt dette gøres gennem en sammenligning af den fuld-aggregerede model med en detaljeret repræsentation af anlægget eller gennem analytiske tiltag, aftales imellem anlægsejer og systemoperatøren.
 - en beskrivelse af det fulde parklayout.
- For de statiske og dynamiske PDT-simuleringsmodeller accepteres kun en fuld-aggregeret model af anlægget.
- For den transiente EMT-simuleringsmodel, accepteres en semi-aggregeret model af anlægget, såfremt anlægsejer kan påvise at en fuld-aggregeret model ikke er tilstrækkelig for retvisende at bevare anlæggets dynamiske og transiente egenskaber.
- Ved hybride anlæg med flere forskellige typer af produktionsenheder skal der foretages en fuld-aggregering af hver enhedstype for sig. Dette gælder både for PDT- og EMT-modeller.



Figur 2 - Eksemplificeret enstregdiagram, der visualiserer forskellige aggregeringsniveauer omtalt i nærværende dokument.

4. Verifikation af simuleringsmodel

Anlægsejeren skal sikre, at simuleringsmodellerne er verificeret [1]. Anlægsejeren er ansvarlig for al udførelse af test til modelverifikation, herunder fremskaffelse af nødvendigt måleudstyr, dataloggere og personel. Anlægsejeren er desuden ansvarlig for gennemførelse og dokumentation af den påkrævede modelverifikation, herunder dokumentation af overholdelse af de definerede nøjagtighedskrav til simuleringsmodellen.

Omfanget af modelverifikationen fastlægges i samarbejde med Energinet efter oplæg fra anlægsejeren.

4.1 Dokumentationskrav

Anlægsejeren skal dokumentere verifikationen af simuleringsmodeller for produktionsanlægget i form af rapporter i henhold til testprocedure fastsat i afsnit 4.2 og/eller 4.3. Måleresultater sammenholdes med de tilsvarende simulerede resultater, og simuleringsmodellens nøjagtighed dokumenteres. Modelverifikationsproceduren betragtes først som afsluttet, når Energinet har godkendt de af anlægsejeren fremsendte modelverifikationsrapporter.

Rapporter for modelverifikation skal indeholde:

1. Beskrivelser af de udførte tests, herunder eksempelvis:
 - a. Randbetingelser.
 - b. Størrelse på sætpunktsændring eller fejlkarakteristik.
 - c. Aktiv effekt setpunkt ved start.
 - d. Reaktiv effekt setpunkt ved start.
 - e. Anvendt net-ækvivalent (impedans) og systemstyrke (SCR).
 - f. Relevante anlægsindstillinger såsom droops, eller FRT K-faktor.
2. Beskrivelser af hvert datasæt, herunder det anvendte måleudstyr og den efterfølgende data-behandling (herunder evt. efterfølgende tidsforskydning).
3. Tabel med signalnavne for målte værdier med tilsvarende signalnavne i simuleringsmodellen.
4. Tidsserieresultater for både måling og simulering skal vises grafisk.
 - a. Begge resultatsæt for given test og signal skal vises i samme graf.
 - b. Grafer skal have et format, som gør det muligt visuelt at inspicere modellens nøjagtighed både under steady state-konditioner og dynamiske forløb (som fx sætpunktsændring eller ved fejl-begyndelse og -bortkobling).
5. Nøjagtighedskrav til de udførte tests.
6. Beregning af afvigelsen mellem måling og simulering skal dokumenteres i passende tabeller og grafer i henhold til de givne randbetingelser og parametre til vurdering af nøjagtighed.
7. Redegørelse (årsag) for afvigelser mellem måling og simulering, som overskrider de fastsatte nøjagtighedskrav, eller som indikerer forskelle i dynamisk respons. Det er ikke acceptabelt blot at postulere en årsag. Redegørelsen skal underbygges af måledata, evt. med signaler internt i anlægget.
8. Tidsseriemålingerne anvendt til verifikation af simuleringsmodellen skal vedlægges verifikationsrapporten i CSV-format (comma-separated values).

4.1.1 Evalueringskriterier

Godkendelse af modelverifikation sker på baggrund to overordnede principper:

- Evaluering af modellen i henhold til de fastsatte kvantitative nøjagtighedskrav (se afsnit 3).
- Evaluering af modellen ud fra en ingeniørmæssig vurdering af forventet nøjagtighed.

Energinet har så vidt muligt fastsat kvantitative nøjagtighedskrav for at sikre en objektiv vurdering af simuleringsmodellers nøjagtighed. Men med henblik på at verificere modellens dynamiske respons (særlig for EMT-modeller) er de kvantitative nøjagtighedskrav ikke tilstrækkelige. Det er muligt, at en model overholder de kvantitative nøjagtighedskrav, men tendenserne i det simulerede dynamiske respons er forskellig fra det målte. Og da det ikke er hensigtsmæssigt at fastsætte de kvantitative krav så skrap, at ens dynamik sikres, er der brug for en visuel inspektion og ingeniørmæssig vurdering i forbindelse med modelverifikation.

Energinet laver derfor en ingeniørmæssig vurdering med udgangspunkt i forventet nøjagtighed for den givne model og anlægstype. Vurderingen er baseret på Energinets erfaring og samarbejde med relevante leverandører. Overholdelse af de kvantitative nøjagtighedskrav er altså ikke tilstrækkelig for at få godkendt modelverifikationen, så frem resultaterne viser væsentlige forskelle i dynamik. Omvendt set kan enkelte overskridelser af de kvantitative nøjagtighedskrav accepteres, såfremt der kan redegøres for disse, og tendenserne i det dynamiske respons er ensartede.

4.1.2 Testoplæg for modelverifikation

Det er anlægsejers ansvar at udarbejde et oplæg for test af produktionsanlægget med henblik på at verificere modellen. Testoplægget skal godkendes af Energinet. Et testoplæg skal som minimum indeholde:

1. Testbeskrivelse
 - a. Formål med testen.
 - b. Hvad er involveret i testen.
 - c. Hvilke dele af modellen er i fokus.
2. Forudsætninger
 - a. Krav til driftssituationen under test, eksempelvis minimum produktionsniveau under testen.
 - b. Særlig testopsætning, afvigelse fra normale driftsindstillinger, fx anden tuning af aktiv eller reaktiv effektkontrol.
 - c. Sammenhæng med andre tests.
3. Måling
 - a. Hvilke signaler bliver målt.
 - b. Hvor på anlægget foretages målingen.
 - c. Hvilket udstyr anvendes til måling.
4. Modelverifikation
 - a. Hvordan sammenlignes testresultaterne med simuleret resultat.
 - b. Succeskriterier for modelverifikation.

4.2 Synkrone anlæg verificeringsprocedure

4.2.1 Verifikationskrav til stationær simuleringsmodel

Verifikation er ikke påkrævet.

Dog skal det dokumenteres, at den stationære simuleringsmodel er repræsentativ for produktionsanlæggets stationære og quasi-stationære egenskaber, hvor et særligt fokus skal rettes mod anlæggets subtransiente og transiente kortslutningsbidrag i forbindelse med en vilkårlig fejl i det kollektive elforsyningssystem.

Dette gøres i forbindelse med de krævede overensstemmelsessimuleringer [1]. Resultater fra statiske kortslutningsberegninger skal sammenlignes med resultater fra dynamisk simulering for udvalgte fejlhændelser. Omfang aftales med Energinet.

4.2.2 Verifikationskrav til dynamisk simuleringsmodel (PDT-model)

Simuleringsmodellen for det samlede produktionsanlæg skal verificeres af anlægsejeren, omfattende samtlige påkrævede reguleringsformer og eftervisning af produktionsanlæggets stationære og dynamiske egenskaber ved påtrykning af de i afsnit 3.1.2.1 beskrevne setpunktsændringer og eksterne hændelser.

For synkrone produktionsanlæg består modelverifikationen af følgende:

- Sammenligning af overensstemmelsessimuleringer [1] udført med den transiente simuleringsmodel (EMT-model). Omfang aftales med Energinet.

Dokumentation herfor afleveres og godkendes forud for tildeling af **ION**.

- Sammenligning med måleresultater optaget i forbindelse med gennemførelsen af de påkrævede overensstemmelsesprøvninger [1] ved produktionsanlæggets idriftsættelse.
 - Sammenligningen skal dokumenteres i henhold til kravene i afsnit 4.1.

Dokumentation herfor afleveres og godkendes forud for tildeling af **FON**.

For synkrone produktionsanlæg bestående af flere enkeltanlæg skal modelverifikationen gennemføres for hvert af disse enkeltanlæg.

4.2.2.1 Påkrævet signalomfang ved verifikation af synkrone produktionsanlæg

Som minimum skal følgende målesignaler optages i forbindelse med de gennemførte overensstemmelsesprøvninger ved produktionsanlæggets idriftsættelse til brug for den efterfølgende modelverifikation:

- Aktiv effekt – målt i tilslutningspunktet.
- Reaktiv effekt – målt i tilslutningspunktet.
- Fasespændinger – målt i tilslutningspunktet.
- Fasestrømme – målt i tilslutningspunktet.
- Netfrekvens – målt i tilslutningspunktet.
- Aktiv effekt – målt ved generatorklemmerne.
- Reaktiv effekt – målt ved generatorklemmerne.
- Fasespændinger – målt ved generatorklemmerne.
- Fasestrømme – målt ved generatorklemmerne.
- Feltstrøm – målt ved generatorklemmerne (eller for magnetiseringsmaskine, hvis anvendt).
- Feltspænding - målt ved generatorklemmerne (eller for magnetiseringsmaskine, hvis anvendt).
- AVR-udgangssignaler fra dæmpetilsats (PSS) (hvis et separat signal er til rådighed).
- AVR-signaler (alarmer) for aktivering af begrænserfunktioner.
- Generatorens omløbshastighed.
- Frekvensrespons for magnetiseringsystemet og dæmpetilsats (PSS) (V_t/V_{ref}).
- Setpunkter for:
 - Aktiv effektregulering.
 - Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering).
 - Q-regulering (Mvar-regulering).
 - Spændingsregulering.
 - Frekvens- eller hastighedsregulering.
- Signal for aktivering af systemværn, hvis pålagt.

4.2.3 Verifikationskrav til transient simuleringsmodel (EMT-model)

Identisk med verifikationskrav til PDT-model, jf. afsnit 4.2.2.

4.3 Asynkrone anlæg verificeringsprocedure

4.3.1 Verifikationskrav til stationær simuleringsmodel

Verifikation er ikke påkrævet.

Dog skal det dokumenteres, at den stationære simuleringsmodel er repræsentativ for produktionsanlæggets stationære og quasi-stationære egenskaber, hvor et særligt fokus skal rettes mod anlæggets subtransiente og transiente kortslutningsbidrag i forbindelse med en vilkårlig fejl i det kollektive elforsyningssystem.

Dette gøres i forbindelse med de krævede overensstemmelsessimuleringer. Resultater fra statiske kortslutningsberegninger skal sammenlignes med resultater fra dynamisk simulering for udvalgte fejlhændelser. Omfang aftales med Energinet.

4.3.2 Verifikationskrav til dynamisk simuleringsmodel (PDT-model)

Simuleringsmodellen for det samlede produktionsanlæg skal verificeres af anlægsejeren, omfattende samtlige påkrævede reguleringsformer og eftervisning af produktionsanlæggets stationære og dynamiske egenskaber ved påtrykning af de i afsnit 3.2.2.1 beskrevne setpunktsændringer og eksterne hændelser.

Modelverifikationen sker på baggrund af måleresultater optaget i forbindelse med prøvninger på det samlede produktionsanlæg. Men da det ikke er muligt at teste alle egenskaber i forhold til robusthed og eksterne hændelser, accepteres det, at dele af modelverifikationen for det samlede produktionsanlæg foregår via verifikation af modeller for hver type enkeltanlæg indeholdt i produktionsanlægget. Verifikation af modeller for enkeltanlæg foregår normalt via standardtest udført i forbindelse med certificering og/eller typegodkendelse af det pågældende delanlæg. Ved enkeltanlæg forstås alle produktionsenheder (fx én model for hver af de anvendte vindmølletyper eller solcelleinvertere) og eksterne komponenter (fx én model for hver af de anvendte energilagringenheder, eller STATCOMs etc.).

For asynkrone produktionsanlæg består modelverifikationen af følgende to steps:

- Typeverificering af modeller for enkeltanlæg. Se afsnit 4.3.2.1.

Skal afleveres og godkendes forud for tildeling af **ION**.

- Parkmodelverificering for det samlede produktionsanlæg. Se afsnit 4.3.2.2.

Skal afleveres og godkendes forud for tildeling af **FON**.

4.3.2.1 Enkeltanlæg typeverificering

Simuleringsmodel for alle typer af aktive komponenter (produktionsenheder og eksterne komponenter som STATCOMs) skal verificeres via sammenligning med fabriks-/typetest. Det primære formål er at verificere simuleringsmodellens nøjagtighed i forhold til forstyrrelser og robusthed samt evnen til korrekt at eftervise komponentens FRT-egenskaber. Verificering af simuleringsmodeller for enkeltanlæg skal foregå forud for tildeling af ION, da dette er en forudsætning for at sikre validiteten af de krævede overensstemmelsessimuleringer [1] af det samlede produktionsanlægs robusthed og FRT-egenskaber.

For verificering af enkeltanlæg gælder følgende:

1. Det er anlægsejerens ansvar at udarbejde et oplæg for test og modelverifikation, som skal godkendes af Energinet.
2. Alle testforløb skal påbegyndes og afsluttes med minimum 1 sekund, hvor anlægget er i en stationær tilstand inden for det definerede normaldriftsområde for frekvens og spænding [2].
3. Test af FRT skal overholde krav fastsat i [8] for at være gyldige.
4. Testomfang skal opfylde minimumskrav fastsat i afsnit 4.3.2.1.1.
5. Signaler inkluderet i modelverifikationen skal opfylde minimumskrav fastsat i afsnit 4.3.2.1.3.

6. Det er tilladt at udføre testene på del-komponenter af enkeltanlægget, hvor der kan redegøres for, at dette er et gyldig grundlag for modelvalidering, og test på det samlede enkeltanlæg ikke er hensigtsmæssig.

Det kan accepteres, at typetest og verifikation af modeller for enkeltanlæg udføres i henhold til anden standard end kravene specificeret i afsnit 4, såfremt der kan redegøres for, at standarden som minimum sikrer tilsvarende test af egenskaber jf. afsnit 4.3.2.1, og nøjagtighed jf. afsnit 3.2.2.4.

4.3.2.1.1 Minimum test omfang

Modelverificeringsproceduren skal som minimum dække følgende scenarier/kontrolfunktioner:

1. Aktiv effekt setpunktsregulering.
2. De af enkeltanlæggets funktioner for regulering af reaktiv effekt som anvendes på det pågældende produktionsanlæg, herunder:
 - a. Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering).
 - b. Q-regulering (Mvar-regulering).
 - c. Spændingsregulering.
3. UVRT.
4. OVRT.
5. ROCOF-robusthed.
6. FSM (kun hvis enkeltanlæggets funktion anvendes på det pågældende produktionsanlæg).
7. LFSM-O (kun hvis enkeltanlæggets funktion anvendes på det pågældende produktionsanlæg).
8. LFSM-U (kun hvis enkeltanlæggets funktion anvendes på det pågældende produktionsanlæg).

Alle overstående tests er underlagt nøjagtighedskravene fremsat i afsnit 3.2.2.4.

4.3.2.1.2 Enkeltanlæg testprocedure

For modelverificering af aktiv effekt setpunktsregulering gælder følgende:

- 1) Test skal udføres ved at påtrykke produktionsanlægget step-input på dets aktiv effekt reference, der skal som minimum udføres to test, hvor disse er:
 - a. Én test med opregulering, hvor ændring i aktiv effekt er på mindst 0.1 p.u.
 - b. Én test med nedregulering, hvor ændring i aktiv effekt er på mindst 0.1 p.u.
- 2) Test kan udføres som en sammenhængende kørsel.
- 3) Sammenligning af reaktiv effekt respons under aktiv effekt reguleringen skal være en del af modelverificeringen.
- 4) Såfremt der udføres test med frekvensregulering af aktiv effekt, udgår krav om separat test af setpunktsregulering.

For modelverificering af reaktiv effekt regulering gælder følgende:

- 1) Der skal som minimum udføres to test, hvor disse er:
 - a. Én test med regulering af reaktiv effekt fra 0 p.u til over 0.1 p.u.
 - b. Én test med regulering af reaktiv effekt fra 0 p.u til under (-0.1) p.u.
- 2) Test kan udføres med en vilkårlig af de 3 reguleringsformer:
 - a. Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering).
 - b. Q-regulering (Mvar-regulering).
 - c. Spændingsregulering.
- 3) Såfremt spændingsreguleringsfunktionen på enkeltanlægget anvendes i det på gældende produktionsanlægs spændingsregulering, skal modelverifikation af reaktiv effekt regulering omfatte denne reguleringsform.

- 4) Test skal udføres med aktiv effekt setpunkt større end 0.5 p.u.
- 5) Test kan udføres som en sammenhængende kørsel.

For modelverifikation af UVRT gælder følgende:

- 1) Test skal udføres for flere spændingsfald, hvor der varieres på størrelsen og tidsperioden for spændingsdykket. Som minimum skal følgende test inkluderes:
 - a. Spændingsfald til 0 p.u. (<0.05 p.u.)⁷.
 - b. Spændingsfald til mellem 0.20 p.u. og 0.30 p.u.
 - c. Spændingsfald til mellem 0.4 p.u. og 0.6 p.u.
 - d. Spændingsfald til mellem 0.8 p.u.
- 2) For alle tests gælder det at tidsperioden for spændingsdykket som minimum skal opfylde FRT kravene jf. artikel 16.3.a.i i RfG bilag 1 [2].
- 3) Test specificeret i punkt 1) skal som minimum udføres for 3-fasede og 2-fasede spændingsdyk
- 4) Som minimum skal alle test af 3-fasede spændingsdyk udføres for aktiv effekt P på:
 - a. $P = 1$ p.u.
 - b. $P < 0.5$ p.u.
- 5) Som minimum skal alle test af 2-fasede spændingsdyk udføres for aktiv effekt P på:
 - a. $P = 1$ p.u.
- 6) For anlæg, der skal levere reaktiv fejlstrøm under FRT, skal disse indstillinger anvendes:
 - a. FRT-aktivering mellem 0.85-0.90 p.u spænding.
 - b. K-factor for indstilling af $I_Q(U)$ skal være mellem 2 – 3.
- 7) Test kan udføres for varierende systemstyrke (short circuit ratio – SCR), men SCR bør være mindre end 10. Og som minimum skal der udføres én test ved den laveste SCR, for hvilken simuleringsmodellen er valid. Testen for validering af laveste SCR skal være med et 3-faset spændingsdyk under 0.5 p.u.

For modelverifikation af OVRT gælder følgende:

- 1) Test skal udføres for flere spændingsstigninger hvor der varieres på størrelsen og tidsperioden for spændingsstigningen. Som minimum skal følgende test inkluderes:
 - a. Spændingsstigning til mellem 1.05 p.u. og 1.10 p.u. og tidsperiode større end 500ms.
 - b. Spændingsstigning til mellem 1.10 p.u. og 1.20 p.u. og tidsperiode større end 500ms.
 - c. Spændingsstigning til mere end 1.25 p.u. og tidsperiode lig eller større end 100ms.
- 2) Test specificeret i punkt 1) skal som minimum udføres for 3-fasede og 2-fasede spændingsstigninger.
- 3) Som minimum skal test alle test af 3- og 2-fasede spændingsstigninger udføres for aktiv effekt P på:
 - a. $P = 1$ p.u.

For modelverifikation af ROCOF-robusthed gælder følgende:

- 1) Test skal udføres med frekvensændring svarende til en ROCOF på mindst 2,0 Hz/s.
- 2) Test skal foregå ved at ændre den faktiske systemfrekvens.
- 3) Der skal som minimum udføres 2 test, hvor disse er:
 - a. Frekvensstigning på minimum 0.5 Hz.
 - b. Frekvensfald på minimum 0.5 Hz.
- 4) Det er tilladeligt at lave testen i én kontinuerlig optagelse af de påkrævede signaler.

⁷ Gælder kun for anlæg tilsluttet på transmissionsniveau ($U_n > 110$ kV).

For modelverificering af FSM gælder følgende:

- 1) LFSM-O- og LFSM-U-funktionerne må ikke aktivere under testen.
- 2) Produktionsanlægget skal være indstillet i reaktiveffekt setpunktsregulering, med reaktiv setpunkt = 0 p.u. i tilslutningspunktet.
- 3) Testen skal foregå ved at påtrykke produktionsanlægget step/rampe-inputs på dets frekvens-feedbacksignal eller ændringer af den faktiske systemfrekvens, som er store nok til at udløse hele intervallet for regulering af aktiv effekt for FSM-tilstand.
- 4) Det er tilladeligt at lave testen i én kontinuerlig optagelse af de påkrævede signaler.

For modelverificering af LFSM-O gælder følgende:

- 1) FSM-funktionen må ikke aktivere under testen.
- 2) Produktionsanlægget skal være indstillet i reaktiveffekt setpunktsregulering, med reaktiv setpunkt = 0 p.u. i tilslutningspunktet.
- 3) Testen skal foregå ved at påtrykke produktionsanlægget step/rampe-inputs på dets frekvens feedback signal eller ændringer af den faktiske systemfrekvens, således den resulterende ændring i aktiv effekt er på mindst 0.1 p.u.
- 4) Det er tilladeligt at lave testen i én kontinuerlig optagelse af de påkrævede signaler.

For modelverificering af LFSM-U gælder følgende:

- 1) FSM-funktionen må ikke aktivere under testen.
- 2) Produktionsanlægget skal være indstillet i reaktiv effekt setpunktsregulering, med reaktiv setpunkt = 0 p.u.
- 3) Testen skal foregå ved at påtrykke produktionsanlægget step/rampe-inputs på dets frekvens feedback signal eller ændringer af den faktiske systemfrekvens, således den resulterende ændring i aktiv effekt er på mindst 0.1 p.u.
- 4) Det er tilladeligt at lave testen i én kontinuerlig optagelse af de påkrævede signaler.

4.3.2.1.3 Påkrævet signalomfang

Som minimum skal følgende målesignaler optages i forbindelse med de gennemførte typetest til brug for den efterfølgende modelverifikation:

- Aktiv effekt – målt ved anlæggets terminaler.
- Reaktiv effekt – målt ved anlæggets terminaler.
- Fasespændinger – målt ved anlæggets terminaler.
- Fasestrømme (resulterende) – målt ved anlæggets terminaler.
- Fasestrømme (aktiv komponent) – målt ved anlæggets terminaler.
- Fasestrømme (reaktiv komponent) – målt ved anlæggets terminaler.
- Netfrekvens – Hvor dette er relevant.
- Generatorens omløbshastighed – hvor dette er relevant.
- Setpunkter for:
 - Aktiv effektregulering.
 - Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering).
 - Q-regulering (Mvar-regulering).
 - Spændingsregulering.
 - Frekvens- eller hastighedsregulering.

Måling af signaler og omregning til RMS-værdier for positiv-, negativ- og nulsekvens skal udføres i henhold til [8]. For asymmetriske test skal verificeringsrapporten indeholde resultater for både positiv og negativ sekvens.

4.3.2.2 Parkmodelverificering for det samlede produktionsanlæg

PDT-simuleringsmodellen for det samlede produktionsanlæg skal verificeres. Formålet med verifikationen er at eftervise simuleringsmodellens nøjagtighed i forbindelse med ændring af setpunkter for aktiv og reaktiv effekt, herunder også ændringer i forbindelse med spændings- og frekvenskontrol.

Det er anlægsejerens ansvar at udarbejde et oplæg for test og modelverifikation, som skal godkendes af Energinet. Verificeringstestproceduren og dokumentationen er underlagt følgende:

4.3.2.2.1 Minimum testomfang

Modelverificeringsproceduren skal minimum dække følgende scenarier/kontrolfunktioner:

1. Aktiveffekt setpunktsregulering.
2. FSM.
3. FSM med overgang til LFSM-O (**).
4. LFSM-O.
5. LFSM-U.
6. Reaktiv effekt setpunktsregulering.
7. Reaktiv effekt setpunktsregulering med samtidig aktivering af LFSM-O (**).
8. Parkregulator FRT-håndtering.

Energinet kan, men er ikke begrænset til, yderligere at kræve verificering af spændingsregulering, power factor-regulering, skift mellem reguleringsformer for reaktiv effekt, kontrol af båndbredde og systemværnindsindgreb.

Test markeret med (**) er som udgangspunkt kun påkrævet for anlæg tilsluttet på transmissionsniveau ($U_n > 110\text{kV}$)

Alle overstående tests er underlagt nøjagtighedskravene fremsat i afsnit 3.2.2.4.2.

4.3.2.2.2 Parkmodel testprocedure

Generelt for modelverificerings-testproceduren gælder følgende:

1. Testene skal foregå ved at påtrykke produktionsanlægget step-inputs på dets referenceindgange eller feedbacksignaler.
2. 90% af anlæggets samlede installerede kapacitet skal være i drift under alle tests [9].
3. Energinet har ret til at foreskrive parametringen for både parkregulator og delanlæg under parkmodelverificeringen.
4. Alle tests skal kunne eksekveres inden for normaldriftsområdet [2], defineret ved spændingen og frekvensen i netslutningspunktet, og inden for minimum og maksimum kortslutningsniveauer angivet i nettilslutningsaftalen.
5. Ingen tests må stille særlige krav til driften af det kollektive elforsyningssystem, medmindre dette aftales med Energinet eller den relevante systemoperatør.
6. Alle testforløb skal påbegyndes og afsluttes med minimum tre sekunder, hvor anlægget er i en stationær tilstand.
7. Alle tests skal som minimum udføres og dokumenteres to gange.
8. Ved efterfølgende sammenligning af målt og simuleret respons skal simuleringsmodellen parametres identisk med det faktiske produktionsanlæg.
9. Ved efterfølgende sammenligning af målt og simuleret respons er det tilladeligt at tidsforskyde det simulerede respons i forhold til det målte. Tidsforskydningen skal fremgå af dokumentationen.

For modelverificering af aktiv effekt setpunktsregulering gælder følgende:

- 1) Testen skal foretages med den aktiv effekt gradientbegrænsning, der forventes ved normaldrift.
- 2) Produktionsanlægget skal være indstillet i reaktiveffekt setpunktsregulering med reaktiv setpunkt = 0 p.u. i tilslutningspunktet.
- 3) Testen skal foregå ved at påtrykke produktionsanlægget et eller flere step-input på dets aktiv effekt referenceindgangssignal.
- 4) Testen skal som minimum indeholde én setpunktsændring, hvor den resulterende ændring i aktiv effekt er på mindst 10% af Pn.
- 5) Aktiv effekt referencen skal til enhver tid forblive 10% af Pn under den tilrådelige effekt.

For modelverificering af FSM gælder følgende:

- 5) Parametreringen af FSM-funktionen skal for alle parametre være inden for spændet angivet i [2].
- 6) LFSM-O- og LFSM-U-funktionerne må ikke aktivere under testen.
- 7) Produktionsanlægget skal være indstillet i reaktiv effekt setpunktsregulering med reaktiv setpunkt = 0 p.u. i tilslutningspunktet.
- 8) Testen skal udføres i henhold til artikel 48, stk. 4 i [1]. Overensstemmelsesprøvning af FSM-tilstand.
- 9) Det er tilladeligt at lave testen i én kontinuerlig optagelse af de påkrævede signaler.
- 10) Aktiv effekt setpunktet (internt, som funktion af frekvensen) skal til enhver tid forblive 10% af Pn under den tilrådelige effekt.

For modelverificering af FSM med overgang til LFSM-O gælder følgende:

- 1) Parametreringen af FSM-funktionen og LFSM-O-funktionen skal for alle parametre være inden for spændet angivet i [2].
- 2) Produktionsanlægget skal være indstillet i reaktiveffekt setpunktsregulering, med reaktiv setpunkt = 0 p.u. i tilslutningspunktet.
- 3) Testen skal foregå ved at påtrykke produktionsanlægget et eller flere step/rampe-input på dets frekvensreference eller frekvensfeedbacksignal, således der udløses en nedregulering af aktiv effekt på mindst 10% af Pn af FSM-funktionen og efterfølgende 10% af Pn af LFSM-O-funktionen. Dvs. en samlet ændring af aktiv effekt på mindst 20% af Pn.
- 4) Testen afsluttes når frekvensreferencen og frekvensfeedbacksignalet igen er 50Hz og den aktive effekt er reguleret til ny stationær tilstand.

For modelverificering af LFSM-O gælder følgende:

- 5) Parametreringen af LFSM-O-funktionen skal for alle parametre være indenfor spændet angivet i [2].
- 6) FSM-funktionen må ikke aktivere under testen.
- 7) Produktionsanlægget skal være indstillet i reaktiveffekt setpunktsregulering med reaktiv setpunkt = 0 p.u. i tilslutningspunktet.
- 8) Testen skal foregå ved at påtrykke produktionsanlægget step/rampe-inputs på dets frekvensreference eller frekvensfeedbacksignal i henhold til artikel 47, stk. 3 i [1]. Overensstemmelsesprøvning af LFSM-O-tilstand.

For modelverificering af LFSM-U gælder følgende:

- 5) Parametreringen af LFSM-U-funktionen skal for alle parametre være inden for spændet angivet i [2].
- 6) FSM-funktionen må ikke aktivere under testen.
- 7) Produktionsanlægget skal være indstillet i reaktiveffekt setpunktsregulering med reaktivsetpunkt = 0 p.u. i tilslutningspunktet.
- 8) Testen skal foregå ved at påtrykke produktionsanlægget step/rampe-inputs på dets frekvensreference eller frekvensfeedbacksignal i henhold til artikel 48, stk. 3 i [1]. Overensstemmelsesprøvning af LFSM-U-tilstand.
- 9) Aktiv effekt setpunktet (internt, som funktion af frekvensen) skal til enhver tid forblive 10% af P_n under den tilrådelige effekt.

For modelverificering af reaktiv effekt setpunktsregulering gælder følgende:

- 1) Testen skal foregå ved at påtrykke produktionsanlægget step-input på dets reaktiv effekt-reference indgangssignal.
- 2) Testen skal udføres i henhold til artikel 48, stk. 8 i [1]. Overensstemmelsesprøvning af reaktiv-effektreguleringstilstand.
- 3) Testen skal gennemføres med ændringer af reaktiv effekt der er store nok til at udløse hele intervallet for reaktiv effekt regulering.
- 4) Test skal udføres med aktiv effekt setpunkt større end 50% af P_n [9].
- 5) Det er tilladeligt at lave testen i én kontinuerlig optagelse af de påkrævede signaler.

For modelverificering af reaktiveffekt setpunktsregulering med samtidig aktivering af LFSM-O gælder følgende:

- 1) Parametreringen af LFSM-O-funktionen skal for alle parametre være inden for spændet angivet i [2].
- 2) Testen skal foregå ved at påtrykke produktionsanlægget et stepinput på dets reaktiv effekt referenceindgangssignal, samtidig (tolerance: $\pm 100\text{ms}$) med et step-input på dets frekvensreference eller frekvensfeedbacksignal.
- 3) Reaktiv effekt reguleringen skal mindst resultere i en ændring af reaktiv effekt på 10% af P_n . Reguleringen kan foretages med enten positiv eller negativ faseforskydning.
- 4) Aktiveringen af LFSM-O skal mindst resultere i en ændring af aktiv effekt på 10% af P_n .

For modelverificering af Parkregulatorens FRT-håndtering gælder følgende:

- 1) Parametreringen af eventuelle FRT-detekterings-/håndteringsfunktioner skal være som forventet ved normaldrift.
- 2) Testen skal foretages med den aktiv effekt gradientbegrænsning, der forventes ved normaldrift.
- 3) Testen skal foregå ved at påtrykke produktionsanlægget et step-input på dets aktiv effekt referenceindgangssignal, der manøvrerer anlægget fra 0% af P_n til 20% af P_n . Idet anlægget er 50% indreguleret, skal parkregulator-FRT-håndteringen aktiveres i fem sekunder.
- 4) Denne test kan udføres enten ved idriftsættelse af produktionsanlægget eller via hardware-in-loop test på den anvendte parkregulator.

4.3.2.2.3 Påkrævet signalomfang

Som minimum skal følgende målesignaler optages i forbindelse med de gennemførte typetest og den gennemførte overensstemmelsesprøvning ved produktionsanlæggets idriftsættelse til brug for den efterfølgende modelverifikation:

1. Aktiv effekt-udveksling i tilslutningspunktet.
2. Reaktiv effekt i tilslutningspunktet.
3. RMS-strømmen i hver af de tre faser.
4. RMS-spændingen i tilslutningspunktet (alle tre fase-fase-spændinger).
5. Netfrekvensen.
6. Tap-positionen for samtlige af anlæggets online-tap-changere.
7. Samtlige indgangssignaler til den centrale parkregulator. Efter aftale med Energinet kan irrelevante signaler udelades. Er definitionen af det præcise signal uklar, fx ved atypiske kontrolstrukturer, skal det afklares med Energinet.
8. Samtlige udgangssignaler fra den centrale parkregulator. Efter aftale med Energinet kan irrelevante signaler udelades. Er definitionen af det præcise signal uklar, fx ved atypiske kontrolstrukturer, skal det afklares med Energinet.

For punkt 7 og 8 kan signaler undlades for reguleringsfunktioner, der styres af parkregulatoren, såfremt der foreligger en modelverificering på parkregulatorniveau, og denne kan accepteres efter en ingeniørteknisk gennemgang foretaget af Energinet.

Ethvert signal og enhver parameter, der manipuleres under testene, skal optages med en samletid på maksimum 10ms. Dette gælder fx produktionsanlæggets referenceindgange. Alle andre signaler og parametre skal indgå i en parameterudskrift, der vedlægger hver test.

Måleudstyr, resultatbehandling og testopstilling skal leve op til kravene defineret i [8].

4.3.3 Verifikationskrav til transient simuleringsmodel (EMT-model)

Identisk med verifikationskrav til PDT-model, jf. afsnit 4.3.2, på nær nedenstående tilføjelser.

Krav til signalomfang ved typeverificering af enkeltanlæg (afsnit 4.3.2.1.3) er udvidet til også at gælde følgende signaler, hvis relevant:

- Spændingsmåling i dq-domænet fra anlæggets interne kontrol opdelt i U_d og U_q .
- Strømmåling i dq-domænet fra anlæggets interne kontrol opdelt i I_d og I_q . Disse er underlagt nøjagtighedskrav som fastsat i afsnit 3.2.3.4.
- Øjeblikkespændinger – målt ved anlæggets terminaler.
 - Skal kun inkluderes for UVRT-test.
 - Øjebliksværdierne skal inkluderes for vinduerne:
 - 2 perioder før spændingsfald (t_{fault} jf. [6]) til 7 perioder efter.
 - 2 perioder før spændingsstigning (t_{clear} jf. [6]) til 10 perioder efter.
- Øjeblikkesstrømme – målt ved anlæggets terminaler.
 - Skal kun inkluderes for UVRT-test.
 - Øjebliksværdierne skal inkluderes for vinduerne:
 - 2 perioder før spændingsfald (t_{fault} jf. [6]) til 7 perioder efter.
 - 2 perioder før spændingsstigning (t_{clear} jf. [6]) til 10 perioder efter.

Den anvendte metode til signal behandling skal være ens for EMT-modellen og det virkelige anlæg.

Det kan accepteres, at typetest og verifikation af modeller for enkeltanlæg udføres i henhold til anden standard end kravene specificeret i dette dokument, såfremt der kan redegøres for, at standarden som minimum sikrer tilsvarende test af egenskaber jf. afsnit 4.3.2.1, og nøjagtighed jf. afsnit 3.2.3.4.

4.3.4 Verifikationskrav til harmonisk simuleringsmodel

Intet krav om modelverifikation.

5. Referencer

1. Kommissionens Forordning (EU) 2016/631 af 14. april 2016 om fastsættelse af netregler om krav til produktionsanlæg.
2. RFG-Bilag 1, Krav fastsat i henhold til EU-forordning 2016/631 (RFG).
3. IEEE Standard 421.5: Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies.
4. IEEE Dynamic Models for Turbine-Governors in Power System Studies PES-TR1.
5. P. Kundur, Power System Stability and Control, McGraw-Hill, 1994.
6. IEC 61400-27-2: Wind turbines – Part 27-2: Electrical simulation models – Model validation.
7. IEC 61000-3-6: Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-6: Limits - Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems.
8. IEC 61400-21-1: Wind energy generation systems – Part 21-1: Measurement and assessment of electrical characteristics – Wind turbines.
9. IEC 61400-21-2: Wind energy generation systems – Part 21-2: Measurement and assessment of electrical characteristics – Wind power plants.

Bilag 1

Synkrone produktionsanlæg

Signaler omfattet af modelverifikationskravet:

- Aktiv effekt – målt i tilslutningspunktet.
- Reaktiv effekt – målt i tilslutningspunktet.
- Fasespændinger – målt i tilslutningspunktet.
- Fasestrømme – målt i tilslutningspunktet.
- Feltstrøm – målt ved generatorklemmerne (eller for magnetiseringsmaskine, hvis anvendt).
- Feltspænding - målt ved generatorklemmerne (eller for magnetiseringsmaskine, hvis anvendt).
- Generatorens omløbshastighed.
- Frekvensrespons for kontrol- og reguleringssystemmodeller.

Asynkrone produktionsanlæg

Signaler omfattet af modelverifikationskravet:

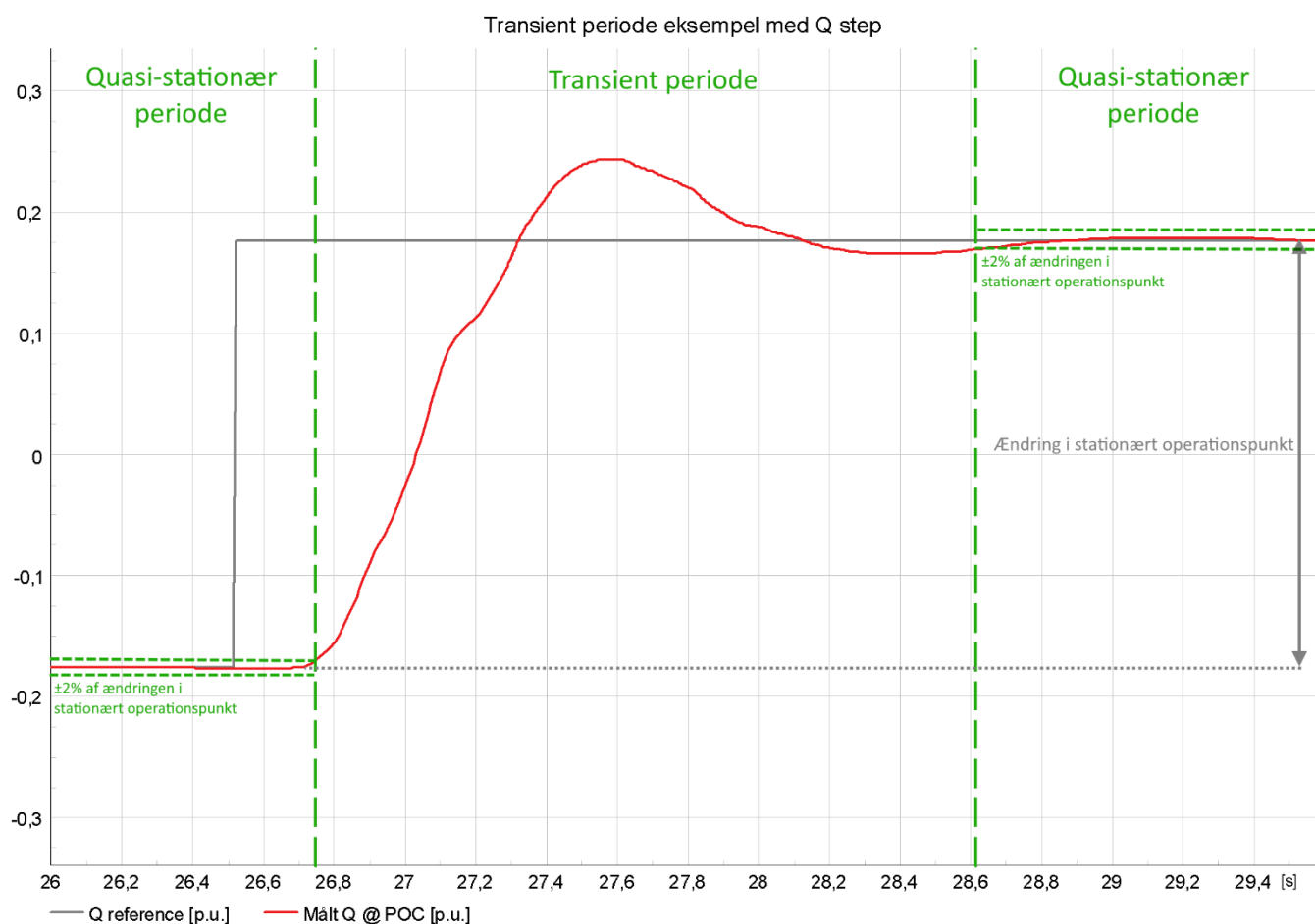
- Aktiv effekt – målt i tilslutningspunktet (eller ved primærsiden af maskintransformer ved type-test).
- Reaktiv effekt – målt i tilslutningspunktet (eller ved primærsiden af maskintransformer ved type-test).
- Fasestrømme (aktiv komponent) – målt i tilslutningspunktet (eller ved primærsiden af maskintransformer ved type-test). Kun relevant for nøjagtighedskrav i forbindelse med momentane spændingsændringer.
- Fasestrømme (reaktiv komponent) – målt i tilslutningspunktet (eller ved primærsiden af maskintransformer ved type-test). Kun relevant for nøjagtighedskrav i forbindelse med momentane spændingsændringer.

Bilag 2

Definition af "transient" og "quasi-stationær" periode er illustreret på Figur 3.

Den transiente periode begynder første gang, at differencen mellem produktionsanlæggets regulering og den forrige stationære værdi overstiger $\pm 2\%$ af ændringen i det stationære operationspunkt. Den transiente periode slutter, når produktionsanlægget forbliver reguleret inden for $\pm 2\%$ af ændringen i stationært operationspunkt fra den endelige stationære værdi.

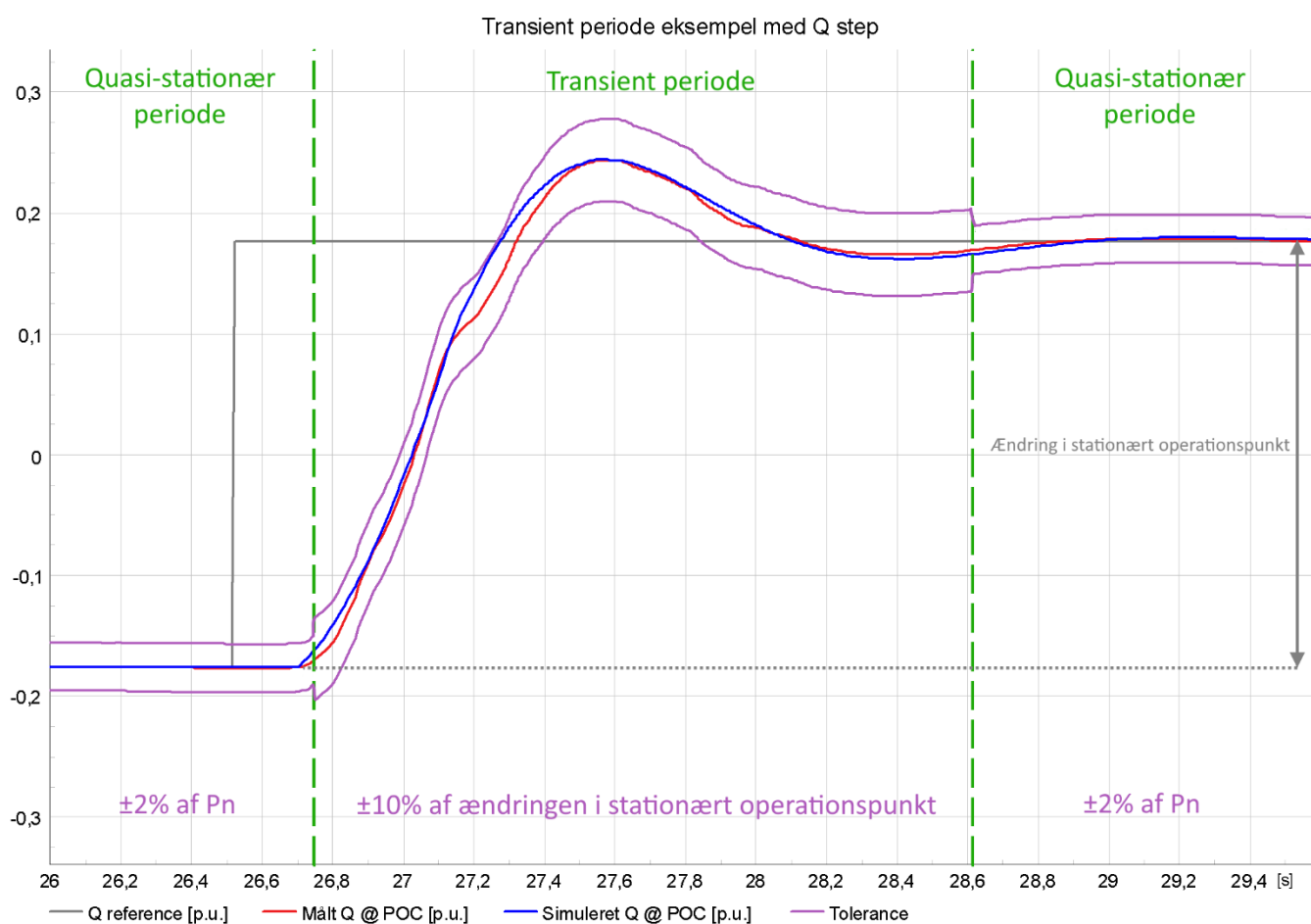
Den del af responset, der ikke er i en transient-periode, er i en quasi-stationær periode.



Figur 3 – Eksempel på den transiente periode, som den skal defineres fra den målte respons (rød).

Nøjagtighedskrav for hver af perioderne "transient" og "quasi-stationær" er illustreret på Figur 4.

- 3) I den transiente periode skal den absolutte difference mellem produktionsanlæggets respons og PDT-simuleringsmodellens korresponderende respons til enhver tid være inden for den mindst restriktive af følgende tolerancer:
 - c) 10% af produktionsanlæggets ændring i stationærværdien.
 - d) 2% af produktionsanlæggets nominelle effekt.
- 4) I den quasi-stationære periode skal den absolutte difference mellem produktionsanlæggets respons og PDT-simuleringsmodellens korresponderende respons være inden for en tolerance på 2% af produktionsanlæggets nominelle effekt.



Figur 4 – Samme eksempel som Figur 3, her med den simulerede respons overlejret (blå) og tolerancerne påtegnet (lilla). Ændringen i det stationære operationspunkt er på 0,35 p.u., og derved bliver tolerancen i den transiente periode $\pm 0,035$ p.u.