



1

2

## BILAG 1B

3

### REQUIREMENTS FOR GENERATORS (RFG)

4

### - KRAV TIL SIMULERINGSMODEL

5

6

7

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

9

10

11

12

AFSNIT	TEKST	REVISION	DATO
Alle	<u>Krav om levering af simuleringsmodeller til Energinet for C-anlæg mellem 10-25 MW fjernet for synkron og asynkron produktion</u> <u>Anlæg.</u> <u>Krav til levering af simuleringsmodeller til Energinet for D-anlæg fastholdt, udvidet og præcisert.</u> <u>Krav for D-anlæg udvidet med levering af EMT-simuleringsmodel</u> <u>for synkron produktion</u> <u>anlæg.</u> <u>Øvrige præciseringer og opdateringer samt strukturopdateringer.</u>	3	25.05.2022
2 Alle	Tabel 1: produktionstypen 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

13

14

15

16

17

18

19

20

21

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

22

- Notatet-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.

## 28 Indhold

29	1. Baggrund .....	3
30	2. Generelle krav til simuleringsmodel.....	3
31	2.1 Overordnet dokumentationskrav .....	5
32	2.2 Proces for levering af simuleringsmodeller og relateret dokumentation. ....	6
33	3. Modeltekniske krav .....	8
34	3.1 Synkronne produktionsanlæg.....	8
35	3.1.1 Krav til stationær simuleringsmodel (stationære forhold og kortslutningsforhold) .....	8
36	3.1.2 Krav til dynamisk simuleringsmodel (RMS-model).....	10
37	3.1.3 Krav til transient simuleringsmodel (EMT-model).....	16
38	3.1.4 Krav til harmonisk simuleringsmodel .....	22
39	3.2 Asynkronne produktionsanlæg.....	23
40	3.2.1 Krav til stationær simuleringsmodel (stationære forhold og kortslutningsforhold) .....	23
41	3.2.2 Krav til dynamisk simuleringsmodel (RMS-model).....	24
42	3.2.3 Krav til transient simuleringsmodel (EMT-model).....	37
43	3.2.4 Krav til harmonisk simuleringsmodel .....	43
44	3.2.5 Aggregering af modeller for produktionsanlæg .....	45
45	4. Verifikation af simuleringsmodel .....	46
46	4.1 Dokumentationskrav .....	46
47	4.1.1 Evalueringsskriterier .....	46
48	4.1.2 Testoplæg for modelverifikation .....	47
49	4.2 Synkronne anlæg verificeringsprocedure .....	47
50	4.2.1 Verifikationskrav til stationær simuleringsmodel .....	47
51	4.2.2 Verifikationskrav til dynamisk simuleringsmodel (RMS-model).....	48
52	4.2.3 Verifikationskrav til transient simuleringsmodel (EMT-model).....	48
53	4.3 Asynkronne anlæg verificeringsprocedure .....	49
54	4.3.1 Verifikationskrav til stationær simuleringsmodel .....	49
55	4.3.2 Verifikationskrav til dynamisk simuleringsmodel (RMS-model).....	49
56	4.3.3 Verifikationskrav til transient simuleringsmodel (EMT-model).....	57
57	4.3.4 Verifikationskrav til harmonisk simuleringsmodel .....	58
58	5. Referencer.....	61
59	Bilag 1.....	62

## 65 1. Baggrund

66 Den igangværende omstilling af elsystemet, hvor konventionelle produktionsanlæg gradvist udfases og  
 67 erstattes af mere komplekse produktionsanlæg, medfører, at ~~den systemansvarlige virksomhed~~Energi-  
 68 net har behov for større indsigt i disse nye anlægs ~~strukturelle opbygning og deres~~ systemmæssige på-  
 69 virkning af det kollektive ~~elforsyningssystem~~elforsyningssystem og dermed deres strukturelle opbygning.

70  
 71 Til analyseformål vedrørende planlægning, design og drift af det kollektive elforsyningssystem har Ener-  
ginet 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 elforsyningss-  
system. De krævede simuleringsmodellers anvendelse kan opsummeres til tre formål: anlægscompli-  
ance, systemintegrationsstudier og løbende systemevaluering. Anlægscompliance verificeres via simule-  
ring 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 elforsy-  
ningssystem. 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 produk-  
tionsanlæggets levetid.

84 Til analyseformål vedrørende planlægning, design og drift af det kollektive elforsyningssystem har den systemansvarlige virksomhed Energinet Systemansvar A/S behov for at kunne gennem-  
 85 føre net- og systemanalyser, fx i forbindelse med nettilslutning af nye produktionsanlæg, ved netudbyg-  
 86 ning, kapacitetsforøgelse, og for at kunne evaluere systemets stabilitet under forskellige driftsforhold. Til  
 87 dette formål kræves opdaterede og retvisende simuleringsmodeller for nettilsluttede forbrugs- og pro-  
 88 duktionsanlæg.

90  
 91 Simuleringsmodellerne benyttes til analyse af transmissions- og distributionsnettets stationære og dy-  
 92 namiske forhold, herunder spændings-, frekvens- og rotorvinkelstabilitet, kortslutningsforhold, transi-  
 93 ente fænomener samt harmoniske forhold.

94  
 95 Hjemlen til at fastsætte krav til simuleringsmodeller er givet i EU-forordningen om fastsættelse af net-  
 96 regler om krav til produktionsanlæg [1]. Den systemansvarlige virksomhedEnerginet har ved kravfastsættel-  
 97 sen i størst muligt omfang refereret til internationale standarder, så anvendte definitioner og procedu-  
 98 rer er i overensstemmelse med internationale standarder.

## 99 2. Generelle krav til simuleringsmodel

100 Anlægsejeren skal stille simuleringsmodeller til rådighed for ~~den systemansvarlige virksomhed~~Energinet  
 101 [1], hvor disse simuleringsmodeller på korrekt vis skal afspejle produktionsanlæggets egenskaber både i  
 102 stationær og quasi-stationær tilstand. Til brug ved tidsdomæneanalyser skal anlægsejeren desuden  
 103 stille en dynamisk simuleringsmodel (RMS-model) og en transient simuleringsmodel (EMT-model) til rå-  
 104 dighed for ~~den systemansvarlige virksomhed~~Energinet. Til analyse af harmoniske forhold i det kollektive  
 105 elforsyningssystem, herunder produktionsanlæggets bidrag til harmonisk emission i net-  
 106 tilslutningspunkttilslutningspunkt, skal anlægsejeren ligeledes stille en harmonisk simuleringsmodel til  
 107 rådighed.

108  
 109

110 Kravet til simuleringsmodeller og leveringsomfang for de enkelte typer af produktionsanlæg [1] fremgår  
 111 af Tabel 1. Anlægsejeren er ansvarlig for, at en sådan modelfremsendelse finder sted til rette tid i hen-  
 112 hold til den gældende procedure for nettilslutning af produktionsanlæg og ~~forordningens øvrige be-~~  
 113 ~~stemmelser under iagttagelse af gældende lovgivning og regulering i øvrigt.~~

114  
115

Produktionsanlægstype	Synkron produktionsanlæg	Asynkron produktionsanlæg
Type A	Intet krav om simuleringsmodel	Intet krav om simuleringsmodel
Type B	Intet krav om simuleringsmodel	Intet krav om simuleringsmodel
Type C, <del>når den nominelle aktive effekt <math>\geq 10 \text{ MW}</math></del>	<del>Stationær simuleringsmodel</del> <del>RMS-simuleringsmodel</del> <del>Intet krav om simuleringsmodel</del>	<del>Stationær simuleringsmodel</del> <del>RMS-simuleringsmodel</del> <del>Intet krav om simuleringsmodel</del>
Type D	Stationær simuleringsmodel RMS-simuleringsmodel <u>EMT-simuleringsmodel</u>	Stationær simuleringsmodel RMS-simuleringsmodel EMT-simuleringsmodel Harmonisk simuleringsmodel

116 *Tabel 1.4 Krav til simuleringsmodeller for de enkelte typer af produktionsanlæg.*

117  
118 Anlægsejeren skal sikre, at simuleringsmodellerne er verificeret med resultaterne af de definerede  
 119 overensstemmelsesprøvninger [1] samt relevante test- og verifikationsstandarder, og skal fremsende  
 120 den nødvendige dokumentation herfor.

121  
122 Såfremt produktionsanlægget indeholder eksterne komponenter, fx af hensyn til overholdelse af nettil-  
 123 slutningskravene eller til levering af commercielle systemydeler, skal simuleringsmodellen indeholde  
 124 den nødvendige repræsentation af disse komponenter gældende for alle påkrævede modellertyper.

125  
126 Anlægsejeren skal, fra produktionsanlæggets designfase til tidspunktet for ~~meddelelse Energinets ud-~~  
 127 ~~stedelse~~ af endelig ~~nettilslutningstilladelse driftstilladelse (FON)~~, løbende holde ~~den systemansvarlige~~  
 128 ~~virkomhed~~ Energinet orienteret, hvis de foreløbige anlægs- og modeldata ikke længere kan antages at  
 129 repræsentere det endeligt idrftsatte produktionsanlæg.

130  
131 For et eksisterende produktionsanlæg, hvor der foretages *væsentlige ændringer* [1] af produktionsan-  
 132 læggets egenskaber, skal anlægsejeren stille en opdateret<sup>1</sup> og dokumenteret simuleringsmodel til rådig-  
 133 hed for det ombyggede anlæg.

134  
135 Modelleverancen betragtes først som afsluttet, når ~~den systemansvarlige virksomhed~~ Energinet har god-  
 136 kendt de af anlægsejeren fremsendte simuleringsmodeller og den påkrævede dokumentation.

### 137 2.1—~~Særlige forhold vedrørende modelleverance for asynkron produktionsanlæg (Type C)~~

138 ~~For asynkron produktionsanlæg (Type C) bestående af samme type enkeltanlæg (fx en specifik vind-~~  
 139 ~~mølletype eller solcelleinverter) og hvor der ikke anvendes site specifikke funktioner for produktionsan-~~  
 140 ~~læggets kontrol, beskyttelses- og reguleringsfunktioner, herunder parkregulator, kan den påkrævede~~  
 141 ~~modelleverance ske i form af en valideret simuleringsmodel for det anvendte enkeltanlæg og parkregu-~~  
 142 ~~lator, hvor en sådan anvendes. Øvrige modeltekniske krav for denne type produktionsanlæg fremgår af~~  
 143 ~~Afsnit 3.2.~~

1 Den nødvendige modelopdatering omfatter kun de udskiftede anlægskomponenter eller systemer til kontrol, regulering eller anlægsbeskyttelse, idet det antages, at ~~den systemansvarlige virksomhed~~ 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.

145 Den medfølgende dokumentation skal indeholde beskrivelser af, hvorledes den pågældende simula-  
 146 ringsmodel for et enkeltanlæg kan anvendes ved eventuel efterfølgende aggregering til repræsentation  
 147 af produktionsanlæggets egenskaber i nettilslutningspunktet, samt eventuelle be-  
 148 grænsninger for anvendelsen af dette.

150  
 151 Simuleringsmodellen skal verificeres, som specificeret i Afsnit 4.

152  
 153 For asynkrone produktionsanlæg (Type C), hvor der anvendes eksterne komponenter, fx STATCOMs el-  
 154 ler energilagringsenheder m.m., eller hvor der anvendes site specifikke funktioner for produktionsan-  
 155 læggets kontrol, beskyttelses og reguleringsfunktioner, herunder parkregulator, skal modelleverancen  
 156 omfatte det samlede produktionsanlæg, jf. Afsnit 2, og opfylde øvrige modeltekniske krav, jf. Afsnit 3.

157 **2.22.1 Overordnet dokumentationskrav**

158 For at sikre korrekt modelanvendelse, skal de påkrævede simuleringsmodeller dokumenteres i form af en  
 159 brugervejledning. Krav for brugervejledningen er inkluderet i de respektive afsnit for modeltype i inde-  
 160 værende dokument. Der skal være entydig versionsstyring af simuleringsmodellen og den tilhørende do-  
 161 kumentation.

162 For at sikre korrekt modelanvendelse, skal de påkrævede simuleringsmodeller dokumenteres i form af  
 163 en brugervejledning med beskrivelser af modellernes strukturelle opbygning samt beskrivelser af simu-  
 164 leringsmodellernes parametrering og gyldige randbetingelser i form af arbejdspunkter og eventuelle  
 165 restriktioner i relation til netforhold (kortslutningsforhold og R/X forhold) i nettilslutningspunktet og i  
 166 fejlstedet i forbindelse med simulering af eksterne hændelser i det kollektive elforsyningssnet. Ligeledes  
 167 skal brugervejledningen indeholde oplysninger om særlige modeltekniske forhold, fx det maksimalt an-  
 168 vendelige tidsskridt for den anvendte ligningsløsning i forbindelse med gennemførelse af dynamiske og  
 169 transiente simuleringer m.m.

170 Brugervejledningen skal desuden omfatte beskrivelser af de i simuleringsmodellen implementerede  
 171 kontrol, beskyttelses og reguleringsfunktioner til brug ved evaluering af produktionsanlæggets egen-  
 172 skaber i nettilslutningspunktet, hvor et særligt fokus skal rettes mod følgende forhold:

173  
 174 Foruden simuleringsmodel og brugervejledning skal følgende dokumentation leveres:

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

182 Enstregsdigram med angivelse af simuleringsmodellens elektriske hovedkomponenter frem til netttil-  
 183 slutningspunktet.

184 **2.32.2 Proces for levering af simuleringsmodeller og relateret dokumentation.**

- 185 • Beskrivelse af simuleringsmodellens elektriske indgangs- og udgangssignaler (elektriske termi-  
 186 naler), herunder relevante forhold i relationer til anvendte målepunkter, deres måleenheder  
 187 og anvendte baseværdier for disse.
- 188 • En samlet parameterliste, hvor alle parameterværdier skal kunne genfindes i de medfølgende  
 189 datablade for hovedkomponenter, blokdiagrammer og overføringsfunktioner m.m.
- 190 • Beskrivelse af opbygning og aktiveringsniveauer for anvendte beskyttelsesfunktioner.
- 191 • Beskrivelse af opsætning og initialisering af simuleringsmodellen samt eventuelle begrænsnin-  
 192 ger for anvendelsen af denne.
- 193 • Beskrivelse af hvorledes simuleringsmodellen kan integreres i en større net- og systemmodel,  
 194 som anvendt af den systemansvarlige virksomhed.
- 195 • Entydig versionsstyring af simuleringsmodellen og den tilhørende dokumentation.

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

199

200 **Inden tildeling af EON:**

- 201 • StudieStudierrapport, der påviser, at elkvalitetskrav overholdes for passive komponenter (\*).

202

203 **Inden tildeling af ION:**

- 204 • Harmonisk model for enkeltenheder og aggregeret anlægsmodel samt:
  - 205 ○ Modelvejledning.
  - 206 ○ Modelbeskrivelse og datablade for komponenter for det fulde anlæg.
  - 207 ○ Studie, der påviser, at elkvalitetskrav overholdes.
  - 208 ○ Valideringsrapport for harmonisk emission og impedanser for aktive komponenter  
 (typetest).
- 210 • Modelverifikationsrapport for typetest på enkeltanlæg med sammenligning mellem målinger  
 211 og simuleringsresultater fra tilhørende RMS- og EMT-model af komponenten, se afsnit 4 (ikke  
 212 relevant for synkronne anlæg).
- 213 • Statisk simuleringsmodel af det aggregerede anlæg samt tilhørende modeldokumentationsrap-  
 214 port. (Såfremt den stationære simuleringsmodel er identisk med den dynamiske simulerings-  
 215 model, bortfalder kravet om en separat stationær simuleringsmodel).
- 216 • Dynamisk RMS-simuleringsmodel af det aggregerede anlæg samt tilhørende modeldokumenta-  
 217 tionsrapport.
- 218 • Transient EMT-simuleringsmodel af det aggregerede anlæg samt tilhørende modeldokumenta-  
 219 tionsrapport.
- 220 • Compliance-simuleringsrapport, der sammenligner RMS- og EMT-model af anlægget samt veri-  
 221 ficerer, at anlægget overholder gældende krav til anlægsegenskaber (\*).s egenskaber til at  
 222 overholde gældende performance krav:

223

224 **Inden tildeling af FON:**

- 225 • Overensstemmelsesprøvninger på elkvalitet foretaget af Energinet (\*).
- 226 • Testrapport, der igennem overensstemmelsesprøvninger dokumenterer, at det fysiske anlæg  
 227 overholder gældende krav (\*).
- 228 • Verifikationsrapporten skal også verificere modeller ved sammenligninger af målinger fra over-  
 229 ensstemmelsesprøvninger med de endelige RMS- og EMT-modeller. Opdaterede RMS- og

230 EMT-modeller skal fremsendes, såfremt anlægscitespecifik tuning er udført eller hvis der er  
231 uoverensstemmelse imellem overensstemmelsesprøvningerne og de tilsvarende simulerede  
232 tests.

- 233 • Modelverifikationsrapport, der i overensstemmelse med afsnit 4 påviser, at de leverede RMS-  
234 og EMT-modeller overholder relevante nøjagtighedskrav.
- 235 • Udbedring af eventuelle problematikker forbundet med simuleringssmodellernes integration  
236 med Energinets samlede net- og systemmodel.

237  
238 Punkter markeret med (\*) er kun relevant for produktionsanlæg tilsluttet på transmissionsniveau  
239 ( $U_n > 110\text{kV}$ ).

240 Modelspeficke dokumentationskrav er beskrevet i de efterfølgende afsnit.  
242

HØRNING

243 3. Modeltekniske krav

244 3.1 Synkrone produktionsanlæg

245 3.1.1 Krav til stationær simuleringsmodel (stationære forhold og kortslutningsforhold)

246 Simuleringsmodellen for det samlede produktionsanlæg skal repræsentere anlæggets stationære og  
 247 quasi-stationære egenskaber i ~~nettislutningspunkt~~tilslutningspunkt, gældende for det definerede  
 248 normaldriftsområde [1] og under alle relevante stationære ~~netforholds~~systemforhold, hvor produktions-  
 249 anlægget skal kunne drives.

250

251 Quasi-stationære egenskaber omfatter i denne sammenhæng produktionsanlæggets egenskaber i for-  
 252 bindelse med en kortslutning i ~~nettislutningspunkt~~tilslutningspunkt eller et vilkårligt sted i det kollek-  
 253 tive ~~elforsyningssystem~~elforsyningssystem. En kortslutning kan her antage følgende former:

254

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

258

259 Anlægsejer har ansvaret for at levere en stationær simuleringsmodel af produktionsanlægget til  
 260 Energinet i henhold til specifikationerne i afsnit 3.1.1.1\_3.1.1.2\_3.1.1.3\_og 3.1.1.4.

261

262 Simuleringsmodellen skal kunne integreres i Energinets samlede net- og systemmodel uden at have en  
 263 problematisk indvirkning på anvendelsen af denne. Modelkravene specificeret i følgende underafsnit  
264 har bl.a. til formål at forebygge dette, men såfremt simuleringsmodellen alligevel giver udfordringer ved  
265 integration med Energinets samlede net- og systemmodel, er det anlægsejers ansvar at finde en løsning  
266 på dette i samarbejde med Energinet. I praksis vil det foregå således, at modeller testes og godkendes  
267 inden tildeling af ION på baggrund af kravene i de følgende underafsnit. Efter udstedelse af ION vil Ener-  
268гинет teste simuleringsmodellens performance ved integration i en større systemmodel, og eventuelle  
269 udfordringer skal håndteres, inden endelig model-godkendelse kan gives, jf. krav til FON.

270

271 Simuleringsmodellen skal verificeres som specificeret i afsnit 4.

272

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

275

276 3.1.1.1 Funktionelle modelkrav

277 Den stationære simuleringsmodel skal:

- 278 1. Indeholde karakteristikker for produktionsanlæggets stationære driftsområder for aktiv og re-  
 279 aktiv effekt, således simuleringsmodellen ikke fejlagtigt drives i et ugyldigt arbejdspunkt.
- 280 2. Muliggøre anvendelse af samtlige påkrævede reguleringsfunktioner for reaktiv effekt:
  - 281 I. Effektfaktor-regulering ( $\cos \phi$ -regulering) med angivelse af referencepunktet.
  - 282 II. Q-regulering (Mvar-regulering) med angivelse af referencepunktet.
  - 283 III. Spændingsregulering inklusiv parametre for anvendt droop/kompondering med angi-  
 284 velse af referencepunktet.
- 285 3. Kunne benyttes til simulering af effektivværdier i de enkelte faser under symmetriske og asym-  
286 metriske hændelser og fejl i det kollektive elforsyningssystem. Den anvendte metode til stati-  
287 ske kortslutningsberegninger skal aftales med Energinet.
- 288 4. Kunne benyttes til simulering af effektivværdier i de enkelte faser under symmetriske hæn-  
289 delser og fejl i det kollektive elforsyningssystem.

- 290 • Kunne benyttes til simulering af effektivværdier i de enkelte faser under asymmetriske hæn-  
 291 delser og fejl i det kollektive elforsyningssnet.
- 292 4. Som minimum kunne benyttes i frekvensområdet fra 47,5 Hz til 51,5 Hz og i spændingsområ-  
 293 det fra 0,0 pu til 1,4 pu.
- 294 5. Indeholde relevant kontrol af produktionsanlæggets passive komponenter, herunder styring af:  
 295     I. Transformer tap-indstillinger.  
 296     IV.II. Shunt-komponenter.

297 3.1.1.2 Modelformat

- 298 1. Simuleringsmodellen skal leveres implementeret i seneste udgave af simuleringsværktøjet  
 299 DLgSILENT PowerFactory ved anvendelse af de indbyggede netkomponentmodeller og stan-  
 300 dardprogrammeringsfunktioner, hvilket skal afspejles i den anvendte modelstruktur m.m.
- 301 2. Den anvendte modelimplementering må ikke forudsætte anvendelse af særlige indstillinger for  
 302 eller afvigelser fra standardindstillingerne for simuleringsværktøjets numeriske ligningsløsner  
 303 eller på anden måde forhindre integration mellem den af anlægsejeren leverede simulerings-  
 304 model og en større net- og systemmodel, som anvendt af den systemansvarlige virksomhed-  
 305 Energinet Systemansvar A/S Energinet.
- 306 3.2.
- 307 3. Såfremt produktionsanlægget indeholder flere parallelle generatoranlæg, skal simuleringsmo-  
 308 dellenen kunne repræsentere produktionsanlæggets egenskaber i nettillslutningspunkt tilslut-  
 309 ningspunktet, jf. afsnit 3.1.1.1. Simuleringsmodellens parametrering skal indeholde komplette  
 310 datasæt for hvert enkeltanlæg.
- 311 4. Simuleringsmodellen skal være gyldig for både balanceret og ubalanceret loadflow.

312 3.1.1.3 Modelleverancer

313 Den stationære simuleringsmodel skal ved levering bestå af følgende:

- 314 • DlgSILENT PowerFactory simuleringsmodel i seneste udgave
  - 315     ○ En funktionel stationær simuleringsmodel, som overholder krav i afsnit 3.1.1, skal le-  
 316 veres for produktionsanlægget forbundet til en simpel modelrepræsentation af det  
 317 kollektive elforsyningssystem, fx en Théveninækvivalent model.
- 318 • Brugervejledning med beskrivelse af:
  - 319     ○ Funktionsbeskrivelser af de overordnede moduler i modellen.
  - 320     ○ De enkelte modelkomponenter og tilhørende parametre.
  - 321     ○ Opsætning af simuleringsmodellen, modelantagelser samt eventuelle begrænsninger  
 322 for anvendelsen af denne.
  - 323     ○ Hvorledes simuleringsmodellen kan integreres i en større net- og systemmodel, som  
 324 anvendt af Energinet Systemansvar A/S Energinet.
  - 325     ○ Relevante parametre for kortslutningskarakteristik. Omfang skal aftales med Energinet.
- 326 • Data for netkomponenter og øvrige dele, som indgår i anlægsinfrastrukturen. Data skal have et  
 327 omfang og et detaljeringsniveau, som muliggør opbygning af en komplet, fuldt funktionsdygtig  
 328 simuleringsmodel, som krævet i afsnit 2.
- 329     — Verifikationsrapporter for RMSden stationære -modellen som indeholder:
- 330     • en verificering, som specificeret i afsnit 4.

331 3.1.1.4 Nøjagtighedskrav

332 Simuleringsmodellen må generelt ikke vise egenskaber, der ikke kan påvises for det fysiske produktions-  
 333 anlæg.

334

338 3.1.2 Krav til dynamisk simuleringsmodel (RMS-model)

339 Den dynamiske simuleringsmodel for det samlede produktionsanlæg (inklusive egetforbrugsanlæg) skal  
 340 repræsentere anlæggets stationære og dynamiske egenskaber i nettislutningspunkttilslutningspunktet  
 341 gældende for det definerede normaldriftsområde [1] og under alle relevante netforhold, hvor produkti-  
 342 onsanlægget skal kunne drives.

343

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

346

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

355

356 Simuleringsmodellen skal verificeres som specificeret i afsnit 4.

358

359 3.1.2.1 Funktionelle modelkrav

360 Den dynamiske simuleringsmodel skal kunne repræsentere produktionsanlæggets stationære og dyna-  
 361 miske egenskaber i forbindelse med setpunktsændringer for anlæggets produktion af aktiv og reaktiv  
 362 effekt, herunder ændring af reguleringsform for dette, samt nedenstående eksterne hændelser eller  
 363 kombinationer af disse eksterne hændelser i det kollektive elforsyningens netelforsyningssystem:

- Generatornære fejl set fra nettislutningspunkttilslutningspunktet i henhold til den påkrævede FRT-karakteristik [1], 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 fejlrartet netkomponent i det kollektive elforsyningens netelforsyningssystem, jf. ovenstående fejlførsløb, og det afledte vektorspring i nettislutningspunkttilslutningspunktet.
- Manuel ind- eller udkobling (uden forudgående fejl) af en vilkårlig netkomponent i det kollektive elforsyningens netelforsyningssystem og det afledte vektorspring i nettislutningspunkttilslutningspunktet.
- 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 af 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 sluttværdi og gradient.

384

385 Den dynamiske simuleringsmodel skal:

- 386     1. Indeholde samtlige påkrævede reguleringsfunktioner [1].  
 387     2. Indeholde relevant kontrol af produktionsanlæggets passive komponenter, herunder styring af:  
 388         a. Transformer tap-indstillinger.  
 389         a-b. Shunt-komponenter.  
 390     3. Indeholde relevante beskyttelsesfunktioner, som kan aktiveres ved eksterne hændelser og fejl i  
 391         det kollektive elforsyningssystem, implementeret i form af blokdiagrammer  
 392         med angivelse af overføringsfunktioner og sekvensdiagrammer for de enkelte elementer.  
 393     ●  
 394     2.4. Indeholde magnetiseringssystemet, spændingsregulator, dæmpetilsats (PSS) og eventuel mag-  
 395         netiseringsmaskine implementeret i form af standardiserede modeller [2].  
 396     3.5. Indeholde magnetiseringssystemets begrænsarfunktioner (statorstrømsbegrænser, volt/hertz-  
 397         begrænser samt over- og undermagnetiseringsbegrænser) implementeret i form af blokdia-  
 398         grammer med angivelse af overføringsfunktioner og sekvensdiagrammer for de enkelte ele-  
 399         menter.  
 400     4.6. Indeholde effekt- og hastighedsregulator, drivmaskine eller turbineanlæg implementeret i  
 401         form af standardiserede modeller [3]. Såfremt det kan dokumenteres, at den påkrævede mo-  
 402         delnøjagtighed ikke kan opnås med en standardiseret model, kan der efter aftale med den sy-  
 403         stemansvarlige virksomhed Energinet anvendes anlægsspecifikke modeller for disse anlægs-  
 404         komponenter.  
 405     5.7. Indeholde en samlet mekanisk svingningsmassemodel for relevante anlægskomponenter (ge-  
 406         neratoranlæg, drivmaskine, turbineanlæg, gear, koblinger og magnetiseringssmaskine) inklusive  
 407         dokumentation af inertikonstanter, egenfrekvenser samt fjeder- og dæmpningskonstanter for  
 408         hvert af drivtogets masseelementer.  
 409     6.8. Kunne benyttes til simulering af effektivværdier i de enkelte faser under symmetriske og asym-  
 410         metriske hændelser og fejl i det kollektive elforsyningssystem.  
 411     ● Kunne benyttes til simulering af effektivværdier (RMS) i de enkelte faser under symmetriske  
 412         hændelser og fejl i det kollektive elforsyningssystem.  
 413     ● Kunne benyttes til simulering af effektivværdier (RMS) i de enkelte faser under asymmetriske  
 414         hændelser og fejl i det kollektive elforsyningssystem.  
 415     7.9. Som minimum kunne benyttes i frekvensområdet fra 47,5 Hz til 51,5 Hz og i spændingsområ-  
 416         det fra 0,0 pu til 1,4 pu.  
 417     8.10. Kunne eftervise krav til magnetiseringssystemets dynamiske svar, herunder krav til  
 418         dæmpetilsats (PSS) med hensyn til dæmpning og fasekompensering [1].  
 419     9.11. Kunne beskrive produktionsanlæggets dynamiske egenskaber i mindst 60 sekunder ef-  
 420         ter enhver af ovenstående setpunktsændringer og eksterne hændelser i det kollektive elforsy-  
 421         ningsnetelforsyningssystem.  
 422     10.12. Være numerisk stabil ved gennemførelse af en simulering på minimum 60 sekunder  
 423         uden påtrykning af et hændelsesforløb eller ændring af randbetegnelser, hvor de simulerede  
 424         værdier for aktiv effekt, reaktiv effekt, spænding og frekvens skal forblive konstante under hele  
 425         simuleringsforløbet.  
 426     13. Være numerisk stabil ved et momentant vektorspring på op til 20 grader i nettislutnings-  
 427         punkttillutningspunktet.  
 428     11.14. Såfremt produktionsanlægget indeholder eksterne komponenter, fx af hensyn til over-  
 429         holdelse af nettislutningskravene eller til levering af kommercielle systemydelser, skal simule-  
 430         ringsmodellen indeholde den nødvendige repræsentation af disse komponenter, som krævet i  
 431         afsnit 2.  
 432     12.15. Det accepteres, at simuleringsmodellen i løbet af et gennemført simuleringsforløb giver  
 433         enkelte fejlmeldelser om manglende konvergens i forbindelse med påtrykte eksterne hæn-

434  
435 delser. Dette vil dog i udgangspunktet blive opfattet som modelimplementeringsmæssig im-  
436 perfektion, hvor årsagen og forslag til afhjælpning af denne skal fremgå af den tilhørende mo-  
437 deldokumentation. ~~Såfremt det kan dokumenteres, at simuleringsmodellens konvergensmæs-~~  
438 ~~sige forhold har negativ indvirkning på anvendelsen af den systemansvarlige virksomhed Ener-~~  
439 ~~ginet Systemansvar A/Ss samlede net- og systemmodel, vil den pågældende simuleringsmodel~~  
440 ~~blive afvist.~~

### 441 3.1.2.2 Modelformat

- 442 1. Simuleringsmodellen skal leveres implementeret i seneste udgave af simuleringsværktøjet  
443 DlgSILENT PowerFactory ved anvendelse af de indbyggede netkomponentmodeller og stan-  
444 dardprogrammeringsfunktioner, hvilket skal afspejles i den anvendte modelstruktur m.m. ~~Si-~~  
445 ~~muleringsmodellen skal implementeres ved hjælp af DlgSILENT Simulation Language~~  
446 ~~(DSL) i versioner op til DSL level 6, medmindre andet aftales med Ener-~~  
447 ~~ginet Systemansvar A/S Energinet.~~
- 448 2. Den anvendte modelimplementering må ikke forudsætte anvendelse af særlige funktioner i  
449 DlgSILENT PowerFactory, ud over hvad der er indeholdt i 'Base Package'- og 'Stability Analysis  
450 Functions (RMS)'-licenserne.
- 451 3. Den anvendte modelimplementering må ikke forudsætte anvendelse af særlige indstillingen for  
452 eller afvigelser fra standardindstillingerne for simuleringsværktøjets numeriske ligningsløser  
453 eller på anden måde forhindre integration mellem den af anlægsejeren leverede simulerings-  
454 model og en større net- og systemmodel, som anvendt af ~~den systemansvarlige virksomhed~~  
455 ~~Energinet Systemansvar A/S Energinet.~~
- 456 4. Modellen skal så vidt muligt anvende makroer fra DlgSILENT PowerFactorys 'Global Library'  
457 samt anvende DSL performance-optimizede funktioner.
- 458 5. For at sikre en entydig modelimplementering skal simuleringsmodellens baseværdier for gene-  
459 ratorfeltstrøm og generatorfeltspænding angives i henhold til *non-reciprocal per unit*-systemet  
460 [4], hvilket skal anvendes som baseværdi for den anvendte model for produktionsanlæggets  
461 spændingsregulator. Anvendelse af skaleringsfaktorer skal angives eksplisit for signaler mellem  
462 magnetiseringssystemets øvrige funktioner, hvis der anvendes forskellige baseværdier for de  
463 pågældende delmodeller.
- 464 6. Såfremt produktionsanlægget indeholder flere parallelle generatoranlæg, skal simuleringsmo-  
465 dellen kunne repræsentere produktionsanlæggets egenskaber i ~~nettilutningspunkt tilslut-~~  
466 ~~ningspunktet~~, jf. afsnit 3.1.2.1. Simuleringsmodellens parametrering skal indeholde komplette  
467 datasæt for hvert enkeltanlæg.
- 468 7. Simuleringsmodellen skal kunne initialiseres i et stabilt arbejdspunkt på baggrund af én enkelt  
469 vilkårlig og gyldig loadflow-simulering uden efterfølgende iterationer, for både et balanceret og  
470 ubalanceret load flow, samt initialisere for både balanceret og ubalanceret netværksrepræsen-  
471 tation i dynamisk simulering. Ved initialisering skal den afledte værdi ( $dx/dt$ ) for enhver af si-  
472 muleringsmodellens tilstandsvariabler være mindre end 0,0001.
- 473 8. Simuleringsmodellen skal kunne initialiseres i et stabilt arbejdspunkt, som beskrevet i ovenstå-  
474 ende, uden yderligere manuel betjening af hverken statisk og dynamisk model, hvorfed modell-  
475 len skal kunne initialiseres direkte ved brug af load-flow resultat uden anvendelse af progra-  
476 mering, herunder scripts.
- 477 9. Alle relevante setupunkter og indstillinger på det virkelig anlæg skal være tilgængelige i den dy-  
478 namiske simuleringsmodel, og hvert input må ikke kræve justering mere end ét sted og skal  
479 kunne justeres både før og under dynamisk simulering, herunder:
  - 480 a. Aktiv effektregulering.
  - 481 b. Effektfaktor-regulering (cos φ-regulering).
  - 482 c. Q-regulering (Mvar-regulering).

- 483           d. Spændingsregulering (inklusive parametre for droop/kompondering).  
 484           e. Frekvensregulering (statik og dødbånd).
- 485  
 486       10. Yderligere skal alle setpunkter og indstillinger angives med fortegn i henhold til generatorkon-  
 487       ventionen [4].  
 488       11. Setpunkter for aktiv effekt, reaktiv effekt og spænding skal angives i per unit i henhold til pro-  
 489       duktionsanlæggets nominelle aktive effekt og spænding i nettilslutningspunktet.  
 490       12. Setpunkt for effektfaktor-regulering skal angives ved  $\cos \phi$ .  
 491       13. Det skal være muligt at skifte mellem samtlige påkrævede reguleringsfunktioner for aktiv og  
 492       reakтив effekt både før og under dynamisk simulering.  
 493       14. Simuleringsmodellen må ikke kræve, at komponenter, kontrolblokke eller målinger skal sættes  
 494       out of service ved forskellige driftsmønstre og reguleringsformer.  
 495       15. Simuleringsmodellen skal kunne simuleres korrekt med ~~udnytte~~ numeriske ligningsløsere med  
 496       variabelt tidsskridt i intervallet 1 til 10 ms.  
 497       4.16. Simuleringsmodellen skal kunne simuleres korrekt med ~~udnytte~~ numeriske ligningslø-  
 498       sere med et fikseret tidsskridt på 1 ms.  
 499       5.17. Simuleringsmodellen må ikke indeholde krypterede eller kompilerede dele (accepteres  
 500       ikke), medmindre andet aftales med Energinet, da den systemansvarlige virksomhed Energinet  
 501       Systemansvar A/S Energinet skal kunne kvalitetssikre resultaterne fra simuleringsmodellen og  
 502       vedligeholde denne uden begrænsninger ved softwareopdatering m.m.

503  
 504 For at sikre integration med Energinet Systemansvar A/S Energinets samlede net- og systemmodel, stil-  
 505 les der desuden krav til strukturen af den dynamiske model. Produktionsanlæggets dynamiske model  
 506 skal:

- 507       1. Kun indeholde relevante dele. Dele, der er out of service, må ikke indgå i modellen.
- 508       2. Indeholde en "base case" study case uden aktive operational scenarios eller variations, som  
 509       afspejler produktionsanlæggets påtænkte normaldriftsindstillingar.
- 510       3. Modeldannes i et enkelt net, der indeholder samtlige statiske komponenter, samt composite  
 511       models.
- 512       4. Modeldannes med en overordnet composite model (.ElmComp), som indeholder samtlige:
  - 513           a. Common models (.ElmDsl).
  - 514           b. Anvendte målinger (.ElmPhi\_pll, .StaPqmea, .StaVmea etc.).
- 515       5. Have samtlige anvendte block definitions (.BlkDef) liggende i en separat mappe, som inddeltes i  
 516       tre forskellige undermapper:
  - 517           a. Frames (indeholder signalforbindelser).
  - 518           b. Macros (indeholder matematiske udtryk uden grafisk repræsentation).
  - 519           c. Model Definitions (indeholder både matematiske udtryk og signalforbindelser).
- 520       6. Have samtlige anvendte komponenttyper liggende i en separat mappe.

### 521 3.1.2.3 Modelleverancer

523 RMS-modellen skal ved levering bestå af følgende:

- 524       • DigSILENT PowerFactory simuleringsmodel i seneste udgave
  - 525           o En funktionel RMS-simuleringsmodel, som overholder krav i afsnit 3.1.2, skal leveres  
 526           for produktionsanlægget forbundet til en simpel modelrepræsentation af det kollek-  
 527           tive elforsyningssystem, fx en Théveninækvivalent model.
- 528       • Brugervejledning med beskrivelse af:
  - 529           o Modellernes strukturelle opbygning samt beskrivelser af simuleringsmodellernes pa-  
 530           rametrering og gyldige randbetingelser i form af arbejdspunkter og eventuelle restrik-

531 tioner i relation til netforhold (kortslutningsforhold og R/X-forhold) i tilslutningspunktet og i fejlstedet i forbindelse med simulering af eksterne hændelser i det kollektive  
 532 elforsyningssystem.

- 533 ○ De i simuleringsmodellen implementerede kontrol-, beskyttelses- og reguleringsfunktioner til brug ved evaluering af anlæggets egenskaber i tilslutningspunktet.
- 534 ○ Såfremt dele af simuleringsmodellens parametersæt ikke kan genfindes direkte ud fra  
 535 det tilsvarende og påkrævede parameterudtræk fra produktionsanlæggets kontrol-,  
 536 beskyttelses- og reguleringsudstyr, skal modeldokumentationen indeholde beskrivelser af de til simuleringsmodellen gennemførte parameteromregninger samt forudsætningerne herfor.
- 537 ○ Modelantagelser og anvendelse af RMS-modellen.
- 538 ○ Modelbegrensninger og alle de af produktionsanlæggets funktioner, der ikke er inkluderet i RMS-modellen, som ville kunne antages at have betydning for produktionsanlæggets dynamiske egenskaber og performance.
- 539 ○ Hvorledes simuleringsmodellen kan integreres i en større net- og systemmodel, som anvendt af Energinet Systemansvar A/S/Energinet.
- 540 ○ Opsætning og initialisering af simuleringsmodellen
- 541 ○ Parametre for de enkelte modelkomponenter, herunder mætning, ulinearitet, dødbånd, tidsforsinkelser samt begrænsarfunktioner (non-wind-up/anti wind-up) samt look-up tabelldata og anvendte principper for interpolation m.m.
- 542 ○ Såfremt produktionsanlægget indeholder hovedkomponenter, fx effekt- og hastighedsregulator, drivmaskine eller turbineanlæg, hvor modeldannelsen af disse kræver parametertilpasninger som funktion af produktionsanlæggets aktuelle arbejdspunkt af hensyn til den påkrævede modelnøjagtighed, skal modeldokumentationen, jf. ovenstående, indeholde nødvendige modelparametersæt for hvert af nedenstående arbejdspunkter:
  - 543 ■ 25 % af nominel aktiv effektproduktion.
  - 544 ■ 50 % af nominel aktiv effektproduktion.
  - 545 ■ 75 % af nominel aktiv effektproduktion.
  - 546 ■ 100 % af nominel aktiv effektproduktion.
- 547 ○ Simuleringsmodellens indgangs- og udgangssignaler, hvor dette som minimum skal omfatte følgende:
  - 548 ■ Aktiv effekt.
  - 549 ■ Reaktiv effekt.
  - 550 ■ Setpunkter for:
    - 551 • Aktiv effektregulering.
    - 552 • Effektfaktor-regulering (cos φ-regulering).
    - 553 • Q-regulering (Mvar-regulering).
    - 554 • Spændingsregulering inklusive parametre for anvendt droop/kom-pounding.
    - 555 • Frekvensregulering (statik og dødbånd).
    - 556 • Systemværnsindgreb (slutværdi og gradient for regulering af aktiv effekt).
    - 557 ■ Signal for aktivering af systemværn.
    - 558 ■ Styresignaler for eventuelle eksterne netkomponenter, fx STATCOMs eller energilagringenheder m.m.
  - 559 ○ 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.

- 580 ——————Verifikationsrapporter for RMS-modellen som indeholder:  
 581 ——————sammenligning af DISSILENT PowerFactory modellens stationære og dynamiske respons med  
 582 målinger foretaget på den virkelige forbrugsenhed. Dette omfatter ikke stationære harmoniske  
 583 forhold.
- 584 • en verificering, som specificret i afsnit 4.

585

## 586 3.1.2.4 Nøjagtighedskrav

587 RMS-simuleringsmodellen skal repræsentere det synkronne produktionsanlægs stationære og dynamiske  
 588 egenskaber i tilslutningspunktet tilstrækkeligt nøjagtigt. Anlægsejeren skal, underlagt kravene i dette  
 589 afsnit, gennem sammenligning af tests af produktionsanlægget og RMS-simuleringsmodellen dokumentere dette.

591

592 RMS-simuleringsmodellen skal repræsentere produktionsanlæggets stationære og dynamiske egenska-  
 593 ber i nettilslutningspunkt tilslutningspunktet. Simuleringsmodellen skal således reagere tilstrækkeligt  
 594 nøjagtigt i forhold til det fysiske anlægs stationære svar for et gyldigt stationært arbejdspunkt og tilsva-  
 595 rende for det dynamiske svar i forbindelse med en setpunktsændring setpunktsændring eller en ekstern  
 596 hændelse i det kollektive elforsyningens netelforsyningssystem.

597

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

601

602 Som minimum skal følgende af simuleringsmodellens reguleringsfunktioner inkluderes i modelverifikati-  
 603 onen:

604

- 605 • Reaktiv effektregulering:
  - 606 ○ Effektfaktor-regulering ( $\cos \phi$ -regulering).
  - 607 ○ Q-regulering (Mvar-regulering).
- 608 • Spændingsregulering (spændingsreferencepunkt i nettilslutningspunkt tilslutningspunktet).
- 609 • Frekvensregulering (påkrævede reguleringsfunktioner).
- 610 • Systemværnsindgreb (slutværdi og gradient for nedregulering af aktiv effekt), hvis pålagt.

611

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

615

616 Bilag 1 viser, hvilke af produktionsanlæggets elektriske signaler er omfattet af nedenstående nøjagtig-  
 617 hedskrav.

618

619 For at sikre en objektiv vurdering af simuleringsmodellens nøjagtighed skal følgende kvantitative krav  
 620 være opfyldte for hver af de gennemførte standardtest. Det skal bemærkes, at samtlige kriterier gæl-  
 621 der, og at intet kriterium kan tilslidesætte et andet.

622

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

625

626 (a) Afvigelsen mellem den simulerede amplitude og den tilsvarende målte amplitude skal  
 627 være mindre end 10 % for en vilkårlig frekvens inden for det definerede frekvensområde.

628                             (b) Afvigelsen mellem den simulerede fasevinkel og den tilsvarende målte fasevinkel skal  
 629                               være mindre end 5 grader for en vilkårlig frekvens inden for det definerede frekvensom-  
 630                               råde.

631                             Gældende for produktionsanlæggets dynamiske egenskaber (tidsdomæne-fænomener) foranlediget af  
 632                               fx setpunktsændringer for anlæggets produktion af reaktiv effekt, herunder ændring af reguleringsform  
 633                               for dette, samt eksterne hændelser i det kollektive elforsyningens netelforsyningssystem skal simulerings-  
 634                               modellens tilsvarende svar opfylde nedenstående nøjagtighedskrav:

- 635                             1. Afvigelser mellem simulerede gradienter ( $dx/dt$ ) sammenlignet med tilsvarende målte gradien-  
 636                               ter skal være inden for følgende tolerance:  
 637                               (a) 10 % afvigelse i amplitude.  
 638                               (b) Tidsforskydning (positiv eller negativ) for gradientens starttidspunkt eller sluttidspunkt skal  
 639                               være mindre end 20 millisekunder.
- 640                             2. Produktionsanlæggets simulererede svar må ikke indeholde momentane ændringer af amplitu-  
 641                               den i form af positive eller negative "spikes" på mere end 10 % af den tilsvarende målte værdi.  
 642                               Såfremt der opstår momentane amplitudeændringer over det tilladte niveau, og hvor dette  
 643                               alene kan tilskrives numeriske forhold grundet det anvendte simuleringsværktøj, skal dette for-  
 644                               hold dokumenteres i den påkrævede modelverifikationsrapport.
- 645                             3. Simulerede quasi-stationære oscillationer inden for frekvensområdet 0,1 Hz til 5 Hz i produkti-  
 646                               onsanlæggets aktive og reaktive effektproduktion samt spænding skal være dæmpede, og fre-  
 647                               kvensafvigelsen skal være mindre end 10 % af den tilsvarende målte værdi.
- 648                             4. Under hensyntagen til eventuel forskel i simuleret og målt spænding i nettillslutningspunkt til-  
 649                               slutningspunktet skal afvigelsen mellem produktionsanlæggets simulerede aktive og reaktive  
 650                               effektproduktion til enhver tid under simuleringen være mindre end 10 % af den tilsvarende  
 651                               målte værdi.
- 652                             5. Under hensyntagen til eventuel forskel i simuleret og målt spænding i nettillslutningspunkt til-  
 653                               slutningspunktet skal afvigelsen mellem produktionsanlæggets simulerede stationære aktive  
 654                               og reaktive effektproduktion, i forhold til den tilsvarende målte værdi, være mindre end 2 % af  
 655                               produktionsanlæggets nominelle effekt.

662                             Nøjagtighedskravet til den påkrævede simuleringsmodel betragtes som værende opfyldt, såfremt samt  
 663                               lige af de definerede tolerancer i forhold til tilladelig afvigelse er opfyldte.

664                             Simuleringsmodellen må generelt ikke vise egenskaber, der ikke kan påvises for det fysiske produktions-  
 665                               anlæg.

### 666                             3.1.3 Krav til transient simuleringsmodel (EMT-model)

667                             Den transiente simuleringsmodel leveret af anlægsejeren skal være en nøjagtig repræsentation af det  
 668                               samlede anlæg såvel som specifikke komponenter. Modellen skal indeholde anlægsspecifikke indstillin-  
 669                               ger og repræsentere anlæggets stationære og dynamiske egenskaber i tilslutningspunktet, gældende  
 670                               for det definerede normaldriftsområde [1] og under alle relevante netforhold, hvor produktionsanlæg-  
 671                               get skal kunne drives. Modellen skal være tilstrækkeligt nøjagtig til at studere transiente på systemni-  
 672                               veau, hvor frekvensområdet kan være i størrelsesordenen få Hz til få kHz.

673                             Ikke påkrævet PSCAD-modellen leveret af anlægsejeren skal være en nøjagtig repræsentation af det sam-  
 674                               lede produktionsanlæg (inklusive egetforbrugsanlæg) såvel som specifikke komponenter. Modellen skal

677 være testet imod fabriksgodkendelsestestdata og også imod feltdata efter midlertidig idriftsættelse.  
 678 Modellen skal indeholde anlægsspecifikke indstillinger. Modellen skal være nøjagtig til at studere transi-  
 679 enter på systemniveau, hvor frekvensområdet kan være i størrelsesordenen fra Hz til få kHz. Anlægsejer  
 680 skal levere en modelbrugervejledning, der beskriver forskellige modeldetaljer, inputparametre og out-  
 681 putparametre.

682  
 683 Anlægsejer har til ansvar at levere en transient simuleringsmodel af produktionsanlægget til Energinet  
 684 Systemansvar A/S Energinet i henhold til specifikationerne i afsnit 3.1.3.1, 3.1.3.2, 3.1.3.3 og 3.1.3.4.

685  
 686 Simuleringsmodellen skal kunne integreres i Energinets samlede net- og systemmodel uden at have en  
 687 problematisk indvirkning på anvendelsen af denne. Modelkravene specificeret i følgende underafsnit  
 688 har bl.a. til formål at forebygge dette, men såfremt simuleringsmodellen alligevel giver udfordringer ved  
 689 integration i Energinets samlede net- og systemmodel, er det anlægsejerens ansvar at finde en løsning  
 690 på dette i samarbejde med Energinet. I praksis vil det foregå således, at modeller testes og godkendes  
 691 inden tildeling af ION på baggrund af kravene i de følgende underafsnit. Efter udstedelse af ION vil Ener-  
 692 ginet teste simuleringsmodellens performance ved integration i en større systemmodel, og evt. udfor-  
 693 dringer skal håndteres, inden endelig modelgodkendelse kan gives, jf. krav til FON.

694  
 695 Simuleringsmodellen skal verificeres, som specificeret i afsnit 4.

### 697 3.1.3.1 Funktionelle modelkrav

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

- 703 • Generatornære fejl set fra tilslutningspunktet i henhold til den påkrævede FRT-karakteristik  
 704 [1], hvor en kortslutning her kan antage form som:
  - 705 ○ En fase-jord kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
  - 706 ○ En tofaset kortslutning uden eller med jordberøring med en vilkårlig impedans i fejl-  
 707 stedet.
  - 708 ○ En trefaset kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
- 709 • Udkobling af, og mulig efterfølgende automatisk genindkobling af, en vilkårlig fejlrartet netkom-  
 710 ponent i det kollektive elforsyningssystem, jf. ovenstående fejlforløb, og det afledte vektor-  
 711 spring i tilslutningspunktet.
- 712 • Manuel ind- eller udkobling (uden forudgående fejl) af en vilkårlig netkomponent i det kollek-  
 713 tive elforsyningssystem og det afledte vektorspring i tilslutningspunktet.
- 714 • Spændingsforstyrrelser og tenderende spændingskollaps med en varighed inden for den på-  
 715 krævede minimumssimuleringstid, jf. nedenstående, og som minimum inden for indsvingnings-  
 716 forløbet for produktionsanlæggets overgang til en ny stationær tilstand.
- 717 • Frekvensforstyrrelser med en varighed inden for den påkrævede minimumssimuleringstid, jf.  
 718 nedenstående, og som minimum inden for indsvingningsforløbet for produktionsanlæggets  
 719 overgang til en ny stationær tilstand.
- 720 • Aktivering af et pålagt systemværn (via et eksternt signal) til hurtig regulering af produktions-  
 721 anlæggets aktive effektproduktion i henhold til en foruddefineret slutværdi og gradient.

722  
 723 Den leverede transiente simuleringsmodel skal overholde følgende:

724

- 725 1. Indeholde alle relevante regulerings-, kontrol- og beskyttelsesfunktioner. Dette omfatter fx:  
 726   a. Samtlige påkrævede reguleringsfunktioner [1].  
 727   b. Modellen skal omfatte alle kontrol- og beskyttelsesfunktioner på anlægsniveau og ge-  
 728       neratorniveau som implementeret i det faktiske udstyr, heriblandt  
 729         i. Indstillinger for spændings- og frekvensbeskyttelse.
- 730 2. Indeholde relevant kontrol af produktionsanlæggets passive komponenter, herunder styring af:  
 731   a. Transformer tap-indstillinger.  
 732   b. Shunt-komponenter.
- 733 3. Indeholde magnetiseringssystemet, spaendingsregulator, dæmpetilsats (PSS) og eventuel mag-  
 734       netiseringsmaskine implementeret i form af standardiserede modeller [2].
- 735 4. Indeholde magnetiseringssystemets begrænsarfunktioner (statorstrømsbegrænsninger, volt/hertz-  
 736       begrænsninger samt over- og undermagnetiseringsbegrænsninger) implementeret i form af blokdia-  
 737       grammer med angivelse af overføringsfunktioner og sekvensdiagrammer for de enkelte ele-  
 738       menter.
- 739 5. Indeholde effekt- og hastighedsregulator, drivmaskine eller turbineanlæg implementeret i  
 740       form af standardiserede modeller [3]. Såfremt det kan dokumenteres, at den påkrævede mo-  
 741       delnøjagtighed ikke kan opnås med en standardiseret model, kan der efter aftale med Energi-  
 742       net Systemansvar A/S Energinet anvendes anlægsspecifikke modeller for disse anlægskomo-  
 743       nenter.
- 744 6. Indeholde en samlet mekanisk svingningsmassemodel for relevante anlægskomponenter (ge-  
 745       neratoranlæg, drivmaskine, turbineanlæg, gear, koblinger og magnetiseringsmaskine) inklusive  
 746       dokumentation af inertikonstanter, egenfrekvenser samt fjeder- og dæmpningskonstanter for  
 747       hvert af drivtogets masseelementer.  
 748       Som minimum kunne benyttes i frekvensområdet fra 47,5 Hz til 51,5 Hz og i spændingsområ-  
 749       det fra 0,0 pu til 1,4 pu.  
 750       Simuleringstidspunkt for påbegyndelse af EMT-modellens injektion af tilsyneladende effekt  
 751       skal kunne indstilles af brugeren.  
 752       Simuleringstidspunkt for aktivering af produktionsanlæggets beskyttelsessystemer i EMT-  
 753       modellen skal kunne indstilles af brugeren.
- 754 7. Kunne initialiseres på maksimalt 3 sekunders simuleringstid.
- 755 8. Simuleringstidspunkt for påbegyndelse af EMT-modellens injektion af tilsyneladende effekt  
 756       skal kunne indstilles af brugeren.
- 757 9. Simuleringstidspunkt for aktivering af produktionsanlæggets beskyttelsessystemer i EMT-  
 758       modellen skal kunne indstilles af brugeren.
- 759 10. Som minimum kunne benyttes i frekvensområdet fra 47,5 Hz til 51,5 Hz og i spændingsområ-  
 760       det fra 0,0 pu til 1,4 pu.
- 761 11. Kunne beskrive produktionsanlæggets dynamiske egenskaber i mindst 60 sekunder efter en-  
 762       hver af ovenstående setpunktsændringer og eksterne hændelser i det kollektive elforsyningssys-  
 763       tem.
- 764 12. Være numerisk stabil ved gennemførelse af en simulering på minimum 60 sekunder uden på-  
 765       trykning af et hændelsesforløb eller ændring af randbetingelser, hvor de simulerede værdier  
 766       for aktiv effekt, reaktiv effekt, spænding og frekvens skal forblive konstante under hele simule-  
 767       ringsforløbet.  
 768       Modellen skal kunne initialiseres på maksimalt 3 sekunders simuleringstid.
- 769 13. EMT-modellen skal repræsentere alle komponenter, reguleringssystemer og beskyttelsessyste-  
 770       mer relevante for EMT-analyser.
- 771 14. Netkomponenter og øvrige dele, som indgår i anlægsinfrastrukturen, skal implementeres i  
 772       EMT-modellen i et omfang og med et detaljeringsniveau, der er gyldigt for EMT-studier. Dette  
 773       inkluderer opsamlingskabler, transformere, filtre m.m. Omfanget af leverancen godkendes af

774 Energinet. Hvis kabler er modelleret med PI-sektioner, skal deres frekvensafhængige karakteri-  
 775 stikker valideres mod geometriske modeller. Omfanget af leverancen godkendes af Energinet  
 776 Systemansvar A/S.

- 777 15. For produktionsenheder med mekanisk drivtog skal EMT-modellen indeholde en mekanisk  
 778 svingningsmassemødel for produktionsanlæggets drivtog inklusive dokumentation af inertikon-  
 779 stanter, egenfrekvenser samt fjeder- og dæmpningskonstanter.
- 780 16. EMT-modellen skal repræsentere produktionsanlæggets FRT-egenskaber [1].
- 781 17. Modellen skal være gyldig for stationære driftsforhold.
- 782 18. EMT-modellen skal være anvendelig for EMT-simuleringer af balancede samt ubalancede  
 783 fejl og afbrydelse af produktionsanlæggets forbindelse til det kollektive elforsyningssystem.
- 784 19. Såfremt produktionsanlægget indeholder eksterne komponenter, fx af hensyn til overholdelse  
 785 af nettilslutningskravene eller til levering af kommercielle systemydelser, skal simuleringsmo-  
 786 dellen indeholde den nødvendige repræsentation af disse komponenter som krævet i afsnit 2.

#### 787 Simuleringsstid

##### 788 3.1.3.2 Modelformat

- 789 1. EMT-modellen skal udvikles og leveres i PSCAD/EMTDC og være kompatibel med PSCAD ver-  
 790 sion 4.6.3 og nyere.
- 791 2. For at sikre en entydig modelimplementering skal simuleringssmodellens baseværdier for gene-  
 792 ratorfeltstrøm og generatorfeltpænding angives i henhold til *non-reciprocal per unit*-systemet  
 793 [4], hvilket skal anvendes som baseværdi for den anvendte model for produktionsanlæggets  
 794 spændingsregulator. Anvendelse af skaleringsfaktorer skal angives eksplisit for signaler mellem  
 795 magnetiseringssystemets øvrige funktioner, hvis der anvendes forskellige baseværdier for de  
 796 pågældende delmodeller.
- 797 3. Såfremt produktionsanlægget indeholder flere parallele generatoranlæg, skal simuleringssmo-  
 798 dellen kunne repræsentere produktionsanlæggets egenskaber i tilslutningspunktet, jf. afsnit  
 799 3.1.2.1. Simuleringsmodellens parametrering skal indeholde komplette datasæt for hvert en-  
 800 keltanlæg.
- 801 4. EMT-modellen skal kunne anvendes med et tidsskridt på 10 mikrosekunder. Hvis anlægsejer  
 802 ønsker at anvende et andet tidsskridt end 10 mikrosekunder, skal dette godkendes af syste-
- 803 meroperatøren Energinet Systemansvar A/S/Energinet.
- 804 5. EMT-modellen skal valideres for simuleringer ved forskellige simuleringsstidskridt. Modellen  
 805 skal give tilnærmedesvis samme resultater ved transiente simuleringer med ethvert tidsskridt i  
 806 det gyldige interval.
- 807 6. EMT-modellen skal kunne optræde funktionelt flere gange i samme PSCAD simuleringssfil, uden  
 808 at dette leder til, at væsentlige ændringer skal foretages. Derfor skal EMT-modellen kunne  
 809 indgå som adskillige 'definitions' eller adskillige 'instances'. Hvis modellen indeholder et alter-  
 810 nativ til brug af adskillige 'definitions' eller 'instances', skal dette beskrives i brugervejlednin-  
 811 gen.
- 812 7. EMT-modellen skal understøtte brug af PSCAD/EMTDC's 'snapshot'-funktion. Det påkræves, at  
 813 modellen viser samme svar med og uden brug af snapshot-funktionen.
- 814 8. EMT-modellen skal understøtte brug af PSCAD/EMTDC's 'multiple run'-funktion.
- 815 9. Alle for EMT-analyser relevante funktionsindstillinger i produktionsanlæggets reguleringssy-  
 816 stem, der kan ændres enten lokalt eller ved fjernkontrol, skal være tilgængelige parametre i  
 817 simuleringsmodellen. Omfanget af leverancen godkendes af Energinet Systemansvar A/S/Ener-  
 818 ginet.
- 819 10. Alle relevante setpunkter og indstillinger på det virkelig anlæg skal være tilgængelige i den dy-  
 820 namiske transiente simuleringsmodellen, hvor input må ikke kræve justering mere end ét sted,  
 821 og skal kunne justeres både før og under dynamisk simulering, herunder:

- 823           a. Aktiv effektregulering.  
 824           b. Effektfaktor-regulering ( $\cos \phi$ -regulering).  
 825           c. Q-regulering (Mvar-regulering).  
 826           d. Spændingsregulering (inklusive parametre for anvendt droop/kompondering).  
 827           e. Frekvensregulering (statik og dødbånd).
- 828       11. Yderligere skal alle setpunkter og indstillinger angives med fortegn i henhold til generatorkon-  
 829           vention [4].
- 830       12. Setpunkter for aktiv effekt, reaktiv effekt og spænding skal angives i per unit i henhold til pro-  
 831           duktionsanlæggets nominelle aktive effekt og spænding i nettilslutningspunktet.
- 832       13. Setpunkt for effektfaktor-regulering, skal angives ved  $\cos \phi$ .
- 833       14. Det skal være muligt at skifte mellem samtlige påkrævede reguleringsfunktioner for aktiv og  
 834           reakтив effekt både før og under dynamisk simulering.
- 835       15. Alle elektriske, mekaniske, regulerings- og beskyttelsessignaler relevante for EMT-analyser af  
 836           det kollektive elforsyningssystem skal være tilgængelige i EMT-modellen. Omfanget af leveran-  
 837           cen godkendes af Energinet Systemansvar A/S Energinet.
- 838       1. EMT-modellen må indeholde prækompilerede og krypterede dele. EMT-modellens kompile-  
 839           rede dele skal være DLL-baseret. EMT-modellen skal være kompatibel med systemoperatørens  
 840           simuleringsmiljø, hvor kompiler-indstillinger (version og kompatibelt versionsinterval af Intel  
 841           Fortran og MS Visual Studio) aftales mellem anlægsejer og systemoperatøren. EMT-modellen  
 842           må indeholde prækompilerede og krypterede dele. EMT-modellens krypterede dele skal være  
 843           DLL-baseret. EMT-modellen skal være kompatibel med systemoperatørens simuleringsmiljø,  
 844           hvor kompiler indstillinger (version og kompatibelt versionsinterval af Intel Fortran og MS Vi-  
 845           sual Studio) aftales mellem anlægsejer og systemoperatøren.
- 846       16.
- 847       17. EMT-modellen må ikke bruge eller være afhængig er global variable i PSCAD.
- 848       18. EMT-modellen må ikke gøre brug af flere lag i PSCAD-værktøjet inklusiv 'disabled' lag.

### 850     3.1.3.23.1.3.3 Modelleverancer

851     EMT-modellen skal ved levering bestå af følgende:

- 852       • PSCAD-/EMTDC-simuleringsmodel – version efter aftale med Energinet Systemansvar A/S Ener-  
 853           ginet.
  - 854           ○ En funktionel PSCAD-simuleringsmodel, der overholder krav i afsnit 3.1.3, skal leveres  
 855           for produktionsanlægget forbundet til en simpel modelrepræsentation af det kollek-  
 856           tive elforsyningssystem, fx en Théveninækvivalent model.
  - 857           ○ Identificer tydeligt producentens EMT-modeludgivelsesversion og den relevante tilhø-  
 858           rende hardware-firmwareversion.
  - 859           ○
- 860       • Brugervejledning med beskrivelse af:
  - 861           ○ modellernes strukturelle opbygning samt beskrivelser af simuleringsmodellernes pa-  
 862           rametrering og gyldige randbetegnelser i form af arbejdspunkter og eventuelle restri-  
 863           ktioner i relation til netforhold (kortslutningsforhold og R/X-forhold) i tilslutningspunk-  
 864           tet og i fejlstedet i forbindelse med simulering af eksterne hændelser i det kollektive  
 865           elforsyningssystem.
  - 866           ○ modelantagelser og anvendelse af EMT-modellen.
  - 867           ○ modelbegrensninger og alle de af produktionsanlæggets funktioner, der ikke er inklu-  
 868           deret i EMT-modellen, som ville kunne antages at have betydning for produktionsan-  
 869           læggets transiente elektriske egenskaber og performance.
  - 870           ○ hvorledes simuleringsmodellen kan integreres i en større net- og systemmodel, som  
 871           anvendt af Energinet Systemansvar A/S Energinet.

- 872           ○ højest mulige tidsskridt.
- 873           ○ hvor mange 'definitions' og 'instances', der kan oprettes af modellen.
- 874           ○ opsætning og initialisering af simuleringsmodellen.
- 875           ○ Ptilhørende parametre for de enkelte modelkomponenter, herunder mætning, ulinea-
- 876            ritet, dødbånd, tidsforsinkelser samt begrænserfunktioner (non-wind-up/anti wind-
- 877            up) samt look-up tabelldata og anvendte principper for interpolation m.m.
- 878

HØRING

- 879           ○ Såfremt produktionsanlægget indeholder hovedkomponenter, fx effekt- og ha-  
 880           stighedsregulator, drivmaskine eller turbineanlæg, hvor modeldannelsen af disse kræ-  
 881           ver parameter tilpasninger som funktion af produktionsanlæggets aktuelle arbejd-  
 882           punkt af hensyn til den påkrævede modelnøjagtighed, skal modeldokumentationen,  
 883           jf. ovenstående, indeholde nødvendige modelparametersæt for hvert af nedenstå-  
 884           ende arbejdspunkter:
- 885              ■ 25 % af nominel aktiv effektproduktion.  
 886              ■ 50 % af nominel aktiv effektproduktion.  
 887              ■ 75 % af nominel aktiv effektproduktion.  
 888              ■ 100 % af nominel aktiv effektproduktion.
- 889           ○ simuleringsmodellens indgangs- og udgangssignaler, hvor dette som minimum skal  
 890           omfatte følgende:
- 891              ■ Aktiv effekt.  
 892              ■ Reaktiv effekt.  
 893              ■ Setpunkter for:
- 894                 ● Aktiv effektregulering.  
 895                 ● Effektfaktor-regulering ( $\cos \phi$ -regulering).  
 896                 ● Q-regulering (Mvar-regulering).  
 897                 ● Spændingsregulering inklusive parametre for anvendt droop/kom-  
 898                 pounder  
 899                 ● Frekvensregulering (statik og dødbånd).  
 900                 ● Systemværnsindgreb (slutværdi og gradient for regulering af aktiv  
 901                 effekt).
- 902              ■ Signal for aktivering af systemværn.  
 903              —— Styresignaler for eventuelle eksterne netkomponenter, fx STATCOMs eller  
 904              energilagringenheder m.m.
- 905              ■ ——
- 906              —— Data for netkomponenter og øvrige dele, som indgår i anlægsinfrastrukturen. Data skal have et  
 907              omfang og et detaljeringsniveau, som muliggør opbygning af en komplet, fuldt funktionsdygtig  
 908              simuleringsmodel, som krævet i afsnit 2.
- 909              ● ——
- 910              —— Verifikationsrapporter for EMT-modellen som indeholder:  
 911              —— en sammenligning af EMT-modellens stationære og dynamiske respons med målinger foreta-  
 912              get på den virkelige produktionenhed.
- 913              ● en verificering, som specificeret i afsnit 4.

### 915       3.1.3.4 Nøjagtighedskrav

916       Nøjagtigheden af den påkrævede transiente simuleringsmodel fastlægges på samme måde som for den  
 917       dynamiske simuleringsmodel (RMS-model), jf. afsnit 3.1.2.4, ved anvendelse af passende filtrering til  
 918       beregning af grundtonekomposanten af målte og simulerede værdier. Metoden anvendt til filtrering  
 919       aftales mellem anlægsejer og Energinet Systemansvar A/S Energinet. Nøjagtighedskravet til den transi-  
 920       ente simuleringsmodel og den anvendte evalueringssmetode er dermed identisk med den påkrævede  
 921       dynamiske simuleringsmodel.

### 924       3.1.4 Krav til harmonisk simuleringsmodel

925       Ikke påkrævet.

927 3.2 Asynkrone produktionsanlæg

928 3.2.1 Krav til stationær simuleringsmodel (stationære forhold og kortslutningsforhold)

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

933 Quasi-stationære egenskaber omfatter i denne sammenhæng produktionsanlæggets egenskaber i for-  
 934 bindelse med en kortslutning i nettilslutningspunkttilslutningspunktet eller et vilkårligt sted i det kollek-  
 935 tive elforsyningssystem. En kortslutning kan her antage form som:

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

941  
 942 Anlægsejer har til ansvar at levere en stationær simuleringsmodel af produktionsanlægget til Energinet i  
 943 henhold til specifikationerne i afsnit 3.2.1.1, 3.2.1.2, 3.2.1.3 og 3.2.1.4.

944  
 945 Simuleringsmodellen skal kunne integreres i Energinets samlede net- og systemmodel uden at have en  
 946 problematisk indvirkning på anvendelsen af denne. Modelkravene specificeret i følgende underafsnit  
 947 har bl.a. til formål at forebygge dette, men såfremt simuleringsmodellen alligevel giver udfordringer ved  
 948 integration i Energinet samlede net- og systemmodel, er det anlægsejerens ansvar at finde en løsning  
 949 på dette i samarbejde med Energinet. I praksis vil det foregå således, at modeller testes og godkendes  
 950 inden tildeling af ION på baggrund af kravene i de følgende underafsnit. Efter udstedelse af ION vil Ener-  
 951 ginet teste simuleringsmodellens performance ved integration i en større systemmodel, og eventuelle  
 952 udfordringer skal håndteres, inden endelig modelgodkendelse kan gives, jf. krav til FON.

953  
 954 Simuleringsmodellen skal verificeres, som specificeret i afsnit 4.

955  
 956 Såfremt den stationære simuleringsmodel er identisk med den i afsnit 3.2.2 beskrevne dynamiske simu-  
 957 leringsmodel, bortfalder kravet om en separat stationær simuleringsmodel.

958 3.2.1.1 Funktionelle modelkrav

959 Den stationære simuleringsmodel skal:

- 960 1. Indeholde karakteristikker for produktionsanlæggets stationære driftsområder for aktiv og re-  
 aktiv effekt, så simuleringsmodellen ikke fejlagtigt drives i et ugyldigt arbejdspunkt.
- 961 2. Muliggøre anvendelse af samtlige påkrævede reguleringsfunktioner for reaktiv effekt:
  - 962 A. Effektfaktor-regulering ( $\cos \phi$ -regulering) med angivelse af referencepunktet.
  - 963 B. Q-regulering (Mvar-regulering) med angivelse af referencepunktet.
  - 964 C. Spændingsregulering inklusive parametre for anvendt droop/kompondering med  
 965 angivelse af referencepunktet.
- 966 3. Kunne benyttes til simulering af effektivværdier i de enkelte faser under symmetriske og asym-  
967 metriske hændelser og fejl i det kollektive elforsyningssystem. Den anvendte metode til stati-  
968 ske kortslutningsberegninger skal aftales med Energinet Systemansvar A/S/Energinet.
- 969 4. Som minimum kunne benyttes i frekvensområdet fra 47,5 Hz til 51,5 Hz og i spændingsområ-  
 970 det fra 0,0 pu til 1,4 pu.
- 971 5. Indeholde relevant kontrol af produktionsanlæggets passive komponenter, herunder styring af:
  - 972 A. Transformer tap-indstillinger.

975           B. Shunt-komponenter.

976       3.2.1.2 Modelformat

- 978       1. Simuleringsmodellen skal leveres implementeret i seneste udgave af simuleringsværktøjet  
979           DIgSILENT PowerFactory ved anvendelse af de indbyggede netkomponentmodeller og stan-  
980           dardprogrammeringsfunktioner, hvilket skal afspejles i den anvendte modelstruktur m.m.
- 981       2. Den anvendte modelimplementering må ikke forudsætte anvendelse af særlige indstillinger  
982           for, eller afvigelser fra, standardindstillingerne for simuleringsværktøjets numeriske ligningslø-  
983           ser eller på anden måde forhindre integration mellem den af anlægsejeren leverede simule-  
984           ringsmodel og en større net- og systemmodel, som anvendt af den systemansvarlige virksom-  
985           hed Energinet Systemansvar A/S Energinet.
- 986       2.3. Simuleringsmodellen aggregeres som beskrevet i afsnit 3.2.5, hvis produktionsanlægget består  
987           af flere identiske produktionenheder.
- 988       4. For hybride anlæg bestående af flere forskellige typer af produktionenheder, skal den statio-  
989           nære model korrekt repræsentere hver af disse typer.
- 990       3.5. Simuleringsmodellen skal være gyldig for både balanceret og ubalanceret loadflow.

991       3.2.1.3 Modelleverancer

993 Den stationære simuleringsmodel skal ved levering bestå af følgende:

- 994       • DIgSILENT PowerFactory simuleringsmodel i seneste udgave
  - 995           ○ En funktionel, stationær simuleringsmodel, som overholder krav i afsnit 3.2.1, skal le-  
996           veres for produktionsanlægget forbundet til en simpel modelrepræsentation af det  
997           kollektive elforsyningssystem, fx en Théveninækvivalent model.
- 998       • Brugervejledning med beskrivelse af:
  - 999           ○ Funktionsbeskrivelser af de overordnede moduler i modellen.
  - 1000           ○ De enkelte modelkomponenter og tilhørende parametre.
  - 1001           ○ Døde i simuleringsmodellen implementerede kontrol-, beskyttelses- og regulerings-  
1002           funktioner til brug ved evaluering af anlæggets egenskaber i tilslutningspunktet.
  - 1003           ○ den anvendte modelaggregation, jf. kravene i afsnit 3.2.5.
  - 1004           ○ Opsætning af simuleringsmodellen, modelantagelser samt eventuelle begrænsninger  
1005           for anvendelsen af denne.
  - 1006           ○ hvorledes simuleringsmodellen kan integreres i en større net- og systemmodel, som  
1007           anvendt af Energinet Systemansvar A/S Energinet.
  - 1008           ○ Relevante parametre for tilslutningskarakteristik. Omfang skal aftales med Energinet.
- 1009       • Data for netkomponenter og øvrige dele, som indgår i anlægsinfrastrukturen. Data skal have et  
1010           omfang og et detaljeringsniveau, som muliggør opbygning af en komplet, fuldt funktionsdygtig  
1011           simuleringsmodel, som krævet i afsnit 2.
- 1012       — Verifikationsrapporter for RMS-modellen som indeholder:
  - 1013           • en verificering, som specificeret i afsnit 4.

1015       3.2.1.4 Nøjagtighedskrav

1016 Simuleringsmodellen må generelt ikke vise egenskaber, der ikke kan påvises for det fysiske produktions-  
1017 anlæg.

1019       3.2.2 Krav til dynamisk simuleringsmodel (RMS-model)

1020 Den dynamiske simuleringsmodel for det samlede produktionsanlæg skal repræsentere anlæggets stati-  
1021 onære og dynamiske egenskaber i nettilslutningspunkttilslutningspunkt, gældende for det definerede

1022 normaldriftsområde [1] og under alle relevante netforhold, hvor produktionsanlægget skal kunne dri-  
 1023 ves.

1024 Anlægsejer har til ansvar at levere en dynamisk simuleringsmodel af produktionsanlægget til Energinet i  
 1025 henhold til specifikationerne i afsnit 3.2.2.1, 3.2.2.2, 3.2.2.3 og 3.2.2.4.

1027 Simuleringsmodellen skal kunne integreres i Energinets samlede net- og systemmodel uden at have en  
 1028 problematisk indvirkning på anvendelsen af denne. Modelkravene specificeret i følgende underafsnit  
 1029 har bl.a. til formål at forebygge dette, men såfremt simuleringsmodellen alligevel giver udfordringer ved  
 1030 integration med Energinets samlede net- og systemmodel, er det anlægsejerens ansvar at finde en løs-  
 1031 ning på dette i samarbejde med Energinet. I praksis vil det foregå således, at modeller testes og godken-  
 1032 des inden tildeling af ION på baggrund af kravene i de følgende underafsnit. Efter udstedelse af ION vil  
 1033 Energinet teste simuleringsmodellens performance ved integration med en større systemmodel, og  
 1034 eventuelle udfordringer skal håndteres, inden endelig modelgodkendelse kan gives, jf. krav til FON.  
 1035

1036 Simuleringsmodellen skal verificeres, som specificeret i afsnit 4.

### 1037 3.2.2.1 Funktionelle modelkrav

1038 Den dynamiske simuleringsmodel skal kunne repræsentere produktionsanlæggets stationære og dyna-  
 1039 miske egenskaber i forbindelse med setpunktsændringer for anlæggets produktion af aktiv og reaktiv  
 1040 effekt, herunder ændring af reguleringsform for dette, samt nedenstående eksterne hændelser, eller  
 1041 kombinationer af disse eksterne hændelser i det kollektive elforsyningsetforsyningssystem:

- 1042 • Generatornære fejl set fra nettislutningspunkt i henhold til den påkrævede  
 1043 FRT-karakteristik [1], hvor en kortslutning her kan antage form som:
  - 1044 ○ En fase-jord kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
  - 1045 ○ En tofaset kortslutning uden eller med jordberøring med en vilkårlig impedans i fejl-  
 1046 stedet.
  - 1047 ○ En trefaset kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
- 1048 • Udkobling af, og mulig efterfølgende automatisk genindkobling af, en vilkårlig fejlrømt netkom-  
 1049 ponent i det kollektive elforsyningsetforsyningssystem, jf. ovenstående fejlforløb, og det  
 1050 afledte vektorspring i nettislutningspunkt.
- 1051 • Manuel ind- eller udkobling (uden forudgående fejl) af en vilkårlig netkomponent i det kollek-  
 1052 tive elforsyningsetforsyningssystem og det afledte vektorspring i nettislutningspunkt.
- 1053 • Spændingsforstyrrelser og tenderende spændingskollaps med en varighed inden for den på-  
 1054 krævede minimumssimuleringstid, jf. nedenstående, og som minimum inden for indsvingnings-  
 1055 forløbet for produktionsanlæggets overgang til en ny stationær tilstand.
- 1056 • Frekvensforstyrrelser med en varighed inden for den påkrævede minimumssimuleringstid, jf.  
 1057 nedenstående, og som minimum inden for indsvingningsforløbet for produktionsanlæggets  
 1058 overgang til en ny stationær tilstand.
- 1059 • Aktivering af et pålagt systemværn (via et eksternt signal) til hurtig regulering af produktions-  
 1060 anlæggets aktive effektproduktion i henhold til en foruddefineret slutværdi og gradient.

1061 Den dynamiske simuleringsmodel skal:

- 1062 1. Indeholde samtlige påkrævede reguleringsfunktioner [1].
- 1063 2. Indeholde en fuld repræsentation af plant-level regulering, herunder parkregulatoren (PPC),  
 1064 som inkluderer tidsforsinkelser, transition til og fra fault ride-through modes mm.

- 1070     3. Indeholde relevant kontrol af produktionsanlæggets passive komponenter, herunder styring af:  
1071        a. Transformer tap-indstillinger.  
1072        a.b. Shunt-komponenter.
- 1073     2. Indeholde relevante beskyttelsesfunktioner, som kan aktiveres ved eksterne hændelser og fejl i  
1074        det kollektive elforsyningssystem implementeret i form af blokdiagrammer med  
1075        angivelse af overføringsfunktioner og sekvensdiagrammer for de enkelte elementer.
- 1076     4. Indeholde samtlige kontrolfunktioner<sup>2</sup>, som kan aktiveres ved alle relevante hændelser og fejl i  
1077        det kollektive elforsyningssystem.
- 1078     4.6. Indeholde produktionsanlæggets effekt- og hastighedsregulator.
- 1079     5.7. Indeholde en samlet mekanisk svingningsmassemodel for produktionsanlæggets drivtog, inklusive dokumentation af inertikonstanter, egenfrekvenser samt fjeder- og dæmpningskonstanter for hvert af drivtogets masseelementer, såfremt dette er relevant for repræsentationen af produktionsanlæggets stationære og dynamiske egenskaber.
- 1080     8. Kunne benyttes til simulering af effektivværdier i de enkelte faser under symmetriske og asymmetriske hændelser og fejl i det kollektive elforsyningssystem.
- 1081     9. For produktionsanlæg med varierende primær energikilde skal det være muligt at justere på den tilgængelige effekt, også under simulering (som fx vindhastighed eller solindstråling).
- 1082     ● Kunne benyttes til simulering af effektivværdier (RMS) i de enkelte faser under symmetriske hændelser og fejl i det kollektive elforsyningssystem.
- 1083     ● Kunne benyttes til simulering af effektivværdier (RMS) i de enkelte faser under asymmetriske hændelser og fejl i det kollektive elforsyningssystem.
- 1084     6.10. 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.
- 1085     7.11. Kunne beskrive produktionsanlæggets dynamiske egenskaber i mindst 60 sekunder efter enhver af ovenstående setpunktsændringer og eksterne hændelser i det kollektive elforsyningssystem.
- 1086     8.12. 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 simuleringensforløbet.
- 1087     9.13. Være numerisk stabil ved et momentant vektorspring på op til 20 grader i nettilslutningspunktet tilslutningspunktet.
- 1088     10.14. 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.
- 1089     11.15. Det accepteres, at simuleringsmodellen i løbet af et gennemført simuleringsforløb giver enkelte fejlmeldelser 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. ~~Såfremt det kan dokumenteres, at simuleringsmodellens konvergensmæssige forhold har negativ indvirkning på anvendelsen af den systemansvarlige virksomhed Energinet Systemansvar A/Ss samlede net- og systemmodel, vil den pågældende simuleringsmodel blive afvist.~~
- 1090     Såfremt simuleringsmodellen anvendes til aggregering af enkeltanlæg til en samlet repræsentation af produktionsanlægget i nettilslutningspunktet, skal modellen kunne repræsentere produktionsanlæggets

<sup>2</sup> Kontrolfunktioner i relation til produktionsanlæggets pålagte fault-ride through-egenskaber, herunder dynamisk spændingsstøtte i forbindelse med et spændingsdyk.

1117 egenskaber i nettilslutningspunktet, jf. ovenstående. Den medfølgende dokumentation skal indeholde  
 1118 beskrivelser af de anvendte principper for aggregering samt eventuelle begrænsninger for anvendelsen  
 1119 af dette. Simuleringsmodellens parametrering skal indeholde komplette datasæt for enkeltanlæg og det  
 1120 aggregerede anlæg.

1121  
 1122 **3.2.2.2 Modelformat**

- 1123 1. Simuleringsmodellen skal leveres implementeret i seneste udgave af simuleringsværktøjet  
 1124 Dlgsilent PowerFactory ved anvendelse af de indbyggede netkomponentmodeller og stan-  
 1125 dardprogrammeringsfunktioner, hvilket skal afspejles i den anvendte modelstruktur m.m. Si-  
1126 muleringsmodellen skal implementeres ved hjælp af Dlgsilent Dlgsilent Simulation Language  
1127 (DSL) i versioner op til DSL level 6, medmindre andet aftales med Energinet Systemansvar  
A/S Energinet.
- 1128 2. Den anvendte modelimplementering må ikke forudsætte anvendelse af særlige funktioner  
Dlgsilent PowerFactory, ud over hvad der er indeholdt i 'Base Package' og 'Stability Analysis  
1129 Functions (RMS)-licenserne.
- 1130 3. Den anvendte modelimplementering må ikke forudsætte anvendelse af særlige indstillinger  
 1131 for, eller afvigelser fra, standardindstillingerne for simuleringsværktøjets numeriske ligningslø-  
 1132 ser eller på anden måde forhindre integration mellem den af anlægsejeren leverede simule-  
 1133 ringsmodel og en større net- og systemmodel, som anvendt af den systemansvarlige virksom-  
1134 hed Energinet Systemansvar A/S Energinet.
- 1135 4. Modellen skal så vidt muligt anvende makroer fra Dlgsilent PowerFactorys 'Global Library'  
1136 samt anvende DSL performance optimerede funktioner.
- 1137 5. Aggregeres som beskrevet i afsnit 3.2.5, hvis produktionsanlægget består af flere identiske  
1138 produktionsenheder.
- 1139 6. For hybride anlæg bestående af flere forskellige typer af produktionsenheder skal RMS-  
1140 modellen korrekt repræsentere hver af disse typer.  
 1141 — Kunne initialiseres i et stabilt arbejdspunkt på baggrund af én enkelt, vilkårlig og gyldig, load-  
 1142 flow-simulering uden efterfølgende iterationer, for både et balanceret og ubalanceret load  
1143 flow, samt initialisere for både balanceret og ubalanceret netværksrepræsentation i dynamisk  
1144 simulering. Ved initialisering skal den afdelte værdi ( $dx/dt$ ) for enhver af simuleringsmodellens  
 1145 tilstandsvariable være mindre end 0,0001.
- 1146 7. Modellen skal så vidt muligt anvende makroer fra PowerFactorys "Global Library" samt an-  
1147 vende DSL performance optimerede funktioner
- 1148 8. Kunne initialiseres i et stabilt arbejdspunkt, som beskrevet i ovenstående, uden yderligere ma-  
1149 nuelle betjeninger af både statisk og dynamisk model. Hvorved modellen skal kunne initialisie-  
1150 res direkte ved brug af load-flow resultat uden anvendelse af programmeringer, herunder  
scripts.
- 1151 9. Alle relevante setpunkter og indstillinger på det virkelig anlæg skal være tilgængelige i den dy-  
1152 namiske simuleringsmodel. Hvert input må ikke kræve justering mere end ét sted, og skal  
1153 kunne justeres både før og under dynamisk simulering, herunder:
  - 1154 a. Aktiv effektregulering.
  - 1155 b. Effektfaktor-regulering ( $\cos \phi$ -regulering).
  - 1156 c. Q-regulering (Mvar-regulering).
  - 1157 d. Spændingsregulering (inklusive parametre for droop/kompontering).
  - 1158 e. Frekvensregulering (statik og dødbånd).
- 1159 10. Yderligere skal alle setpunkter og indstillinger angives med fortegn i henhold til generatorkon-  
1160 vention [4].

- 1165 11. Setpunkter for aktiv effekt, reaktiv effekt og spænding skal angives i per unit, i henhold til pro-  
 1166 duktionsanlæggets nominelle aktive effekt og spænding i nettilslutningspunktet.
- 1167 12. Setpunkt for effektfaktor-regulering skal angives ved  $\cos \phi$ .  
 Det skal være muligt at skifte mellem samtlige påkrævede reguleringsfunktioner for aktiv og  
 reaktiv effekt både før og under dynamisk simulering.
- 1170 13.
- 1171 14. Simuleringsmodellen må ikke kræve, at komponenter, kontrolblokke eller målinger skal sættes  
out of service ved forskellige driftsmønstre og reguleringsformer.
- 1173 15. Kunne simuleres korrekt med udnytte numeriske ligningsløsere med variabelt tidsskridt i inter-  
 1174 vallet 1 til 10 ms.
- 1175 7.16. Kunne simuleres korrekt med udnytte numeriske ligningsløsere med et fikseret tids-  
 1176 skridt på 1 ms.
- 1177 8.17. Ikke indeholde krypterede eller kompilerede dele (accepteres ikke), medmindre andet  
 1178 aftales med Energinet, da den systemansvarlige virksomhed Energinet Systemansvar A/S Ener-  
 1179 ginet skal kunne kvalitetssikre resultaterne fra simuleringsmodellen og vedligeholde denne  
 1180 uden begrænsninger ved softwareopdatering m.m.

1181 For at sikre integration med Energinet Systemansvar A/S Energinets samlede net- og systemmodel, stil-  
 1182 les der desuden krav til strukturen af den dynamiske model. Produktionsanlæggets dynamiske model  
 1183 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 med en overordnet composite model (.ElmComp), som indeholder samtlige:
  - a. Common models (.ElmDsl).
  - b. Anvendte målinger (.ElmPhi, .StaPqmea, .StaVmea, .Stalmea etc.).
5. Have samtlige anvendte block definitions (.BlkDef) liggende i en separat mappe, som inddeltes 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.

### 1199 3.2.2.3 Modelleverancer

1200 RMS-modellen skal ved levering bestå af følgende:

- DigSILENT PowerFactory simuleringsmodel i seneste udgave
  - En funktionel RMS simuleringsmodel, 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 parametrering og gyldige randbetegnelser i form af arbejdspunkter 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.
  - De i simuleringsmodellen implementerede kontrol-, beskyttelses- og reguleringsfunktioner til brug ved evaluering af anlæggets egenskaber i tilslutningspunktet.
  - Modelantagelser og anvendelse af RMS-modellen.

- Modelbegrænsninger og alle de af produktionsanlæggets funktioner, der ikke er inkluderet i RMS-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 Systemansvar A/S/Energinet.
- Opsætning og initialisering af simuleringsmodellen.
- Parametre for de enkelte modelkomponenter, herunder mætning, ulinearitet, døbbånd, tidsforsinkelser samt begrænsarfunktioner (non-wind-up/anti wind-up) samt look-up tabelldata 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 effektrekulering.
    - Effektfaktor-regulering ( $\cos \phi$ -regulering).
    - Q-regulering (Mvar-regulering).
    - Spændingsregulering inklusive parametre for anvendt droop/kom-pounding.
    - Frekvensregulering (statik og dødbånd).
    - Systemværnsindgreb (slutværdi og gradient for regulering af aktiv effekt).
    - 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 RMS-modellen, som specificeret i afsnit 4.

#### Verifikationsrapporter for RMS-modellen som indeholder:

sammenligning af DigiSILENT PowerFactory modellens stationære og dynamiske respons med målinger foretaget på den virkelige forbrugsenhed. Dette omfatter ikke stationære harmoniske forhold.  
en verificering, som specificeret i Afsnit 4.

#### **3.2.2.4 Nøjagtighedskrav til RMS-simuleringsmodeller af asynkrone produktionsanlæg**

RMS-Simuleringsmodellen skal repræsentere det asynkrone produktionsanlæggets stationære og dynamiske egenskaber i nettillslutningspunkt til slutningspunktet tilstrækkeligt nøjagtigt. Simuleringsmodellen skal således reagere tilstrækkeligt nøjagtigt i forhold til det fysiske anlægs stationære svar for et givet stationært arbejdspunkt og tilsvarende for det dynamiske svar i forbindelse med en setpunktændring eller en ekstern hændelse i det kollektive elforsyningssystem.

Anlægsejeren skal, underlagt kravene i dette afsnit, gennem sammenligning af tests af produktionsanlægget og RMS-simuleringsmodellen dokumentere dette.

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

1262 1) Produktionsanlæggets dynamiske respons på momentane spændingsændringer i nettilslut-  
 1263 ningpunktet.

1264 —Produktionsanlæggets dynamiske respons ved ændring af dets stationære arbejdspunkt.

1265 2)

1266  
 1267 Med henblik på design af anlæg og eftervisning af overholdelse af nettilslutningskrav vha. simuleringsmo-  
1268 deller, accepteres ingen tolerancer på simuleringsstudier. Tolerancer er forbeholdt måleusikkerheder og  
1269 mindre uoverensstemmelser imellem det fysiske anlæg og hvad der er designet i et simuleringsmiljø.

1270  
 1271 Anlægsejeren skal sikre, at simuleringsmodellerne er verificeret med resultaterne af de påkrævede  
 1272 overensstemmelsesprøvninger [1] samt relevante test- og verifikationsstandarder [5,6] og fremsende  
 1273 den nødvendige dokumentation herfor.

1274  
 1275  
 1276  
 1277 Eftersom modelverifikationen omfatter produktionsanlæggets stationære og dynamiske egenskaber i  
 1278 forbindelse med eksterne hændelser i det kollektive elforsyningssystem, og tilsvarende i  
 1279 forbindelse med setpunktændringer for anlæggets produktion af aktiv og reaktiv effekt, er det hen-  
 1280 sigtsmæssigt at definere nøjagtighedskrav og behandle verifikationsproceduren for disse forhold sepa-  
 1281 rat, som beskrevet i de efterfølgende afsnit.

#### 1282 3.2.2.4.1 Nøjagtighedskrav ved eksterne hændelser i det kollektive elforsyningssystem 1283 stemmomentane spændingsændringer i nettilslutningspunktet

1284 Begrebet eksterne hændelser omfatter i denne sammenhæng Momentane spændingsændringer målt  
 1285 i produktionsanlæggets nettilslutningspunkt tilslutningspunkt forekommer, fx i forbindelse med kortslut-  
 1286 ning af en netkomponent eller i forbindelse med manuel kobling med en netkomponent i det kollektive  
 1287 elforsyningssystem.

1288  
 1289 Verificering af nøjagtigheden, på RMS den dynamiske simuleringsmodellens repræsentation af produkti-  
 1290 onsanlæggets samlede dynamiske respons, på denne type hændelser, må oftest foretages som en af-  
 1291 ledt nøjagtighedsverifikation med hver enkelt type delanlæg. Det vil sige, at nøjagtighedskravet til pro-  
 1292 duktionsanlæggets samlede RMSdynamiske simuleringsmodel betragtes som værende opfyldt, såfremt  
 1293 RMS de dynamiske simuleringsmodeller af hvert type delanlæg overholder samme nøjagtighedskrav.

1294  
 1295 Test og verifikation Validering af et delanlægs produktionsanlægs stationære og dynamiske egenskaber  
 1296 RMS simuleringsmodel i forbindelse med sådanne eksterne hændelser gennemføres typisk kun i sam-  
 1297 menhæng med certificering og/eller typegodkendelse af det pågældende delanlæg. Denne type tests  
 1298 skal gennemføres og dokumenteres i henhold til definitioner og beskrivelser givet i [6]. produktionsan-  
 1299 læg. Disse standardtests gennemføres normalt for et enkeltanlæg, hvor en veldefineret spændingsprofil  
 1300 påtrykkes produktionsanlægget, typisk på højspændingssiden af den anvendte maskintransformer.

1301  
 1302 Det primære formål med disse standardtests er verifikation og certificering af produktionsanlæggets  
 1303 overholdelse af de påkrævede FRT egenskaber, herunder krav om levering af dynamisk spændings-  
 1304 støtte (reaktiv tillægsstrøm  $I_{q,d}$ ) under fejlførlobet i henhold til den definerede karakteristik [1]. Resulta-  
 1305 terne af disse standardtests anvendes ved den efterfølgende verifikation af de opstillede funktionskrav  
 1306 til, og nøjagtigheden af, den påkrævede simuleringsmodel.

1307  
 1308 De til modelverifikationen anvendte standardtests skal gennemføres og dokumenteres i henhold til defi-  
 1309 nitioner og beskrivelser givet ved [6].

1311  
 1312 Modelverifikationen er baseret på evaluering af simuleringssmodellens statistiske nøjagtighed, hvor  
 1313 Nøjagtigheden fastlægges på baggrund af beregning af afvigelsen mellem modellens simulerede re-  
 1314 sponsvar og den tilsvarende målte værdi, hvormed afvigelsen defineres som:  $X_E(t_f) = X_{sim}(t_f) -$   
 1315  $X_{målt}(t_f)$ . Den beregnede afvigelse evalueres ved anvendelse af nedenstående statistiske størrelser krite-  
 1316 rier defineret i [6] afsnit 6.4.3.

- 1317
- 1318 • MXE – Den maksimale afvigelse (the maximum error).
  - 1319 • ME – Den gennemsnitlige afvigelse (the mean error).
  - 1320 • MAE – Den gennemsnitlige (absolutte) afvigelse (the mean absolute error).

1321  
 1322 Bilag 1 viser, hvilke af produktionsanlæggets elektriske signaler er omfattet af ovenstående nøjagtig-  
 1323 hedskrav.

1324  
 1325 Før at sikre en objektiv vurdering af simuleringssmodellens nøjagtighed skal følgende kvantitative krav  
 1326 være opfyldt for hver af de gennemførte standardtests, idet de for modellen beregnede afigelser skal  
 1327 være mindre end eller lig med de i Tabel 2 angivne tilladelige afigelser for hver af de i [6] definerede  
 1328 tidsperioder (pre fault, fault og post fault).

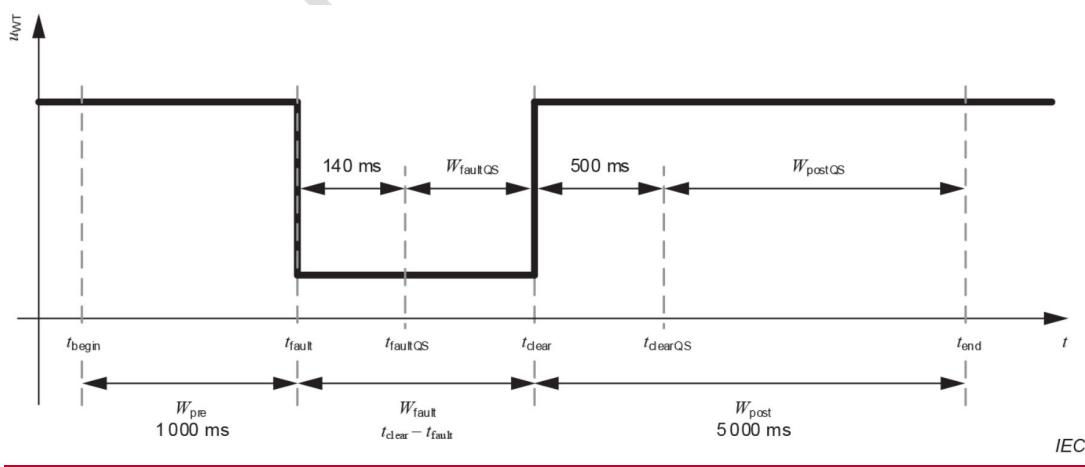
1330  
 1331 Nøjagtighedskrav til hver af disse størrelser, fastsættes i henhold til tidsvinduerne defineret i [6] afsnit  
 1332 6.4.4, se Figur 1 (figuren viser spændingsfald, men gælder også spændingsstigning). Tidsvinduerne er:

- 1333
- 1334 •  $W_{pre}$  er tidsvinduet før spændingsændring ( $t_{begin}$  to  $t_{fault}$ ).
  - 1335 •  $W_{fault}$  er tidsvinduet under spændingsændringen ( $t_{fault}$  to  $t_{clear}$ ).
  - 1336 •  $W_{post}$  er tidsvinduet efter spændingsændringen ( $t_{clear}$  to  $t_{end}$ ).

1337  
 1338 Det samlede tidsvindue for spændingsændringen er afgrænset af  $t_{begin}$  og  $t_{end}$ , hvor disse er defineret  
 1339 som:

- 1340
- 1341 •  $t_{begin}$  er 1000 ms før  $t_{fault}$ .
  - 1342 •  $t_{end}$  er 5000 ms efter  $t_{clear}$ .

1343  
 1344 Hermed er nøjagtighedskrav i forbindelse med momentane spændingsændringer afgrænset til  $t_{end}$ , for  
 1345 verificering af nøjagtighed. Efter  $t_{end}$  er det kravene specificeret i afsnit 3.2.2.4.2, som er gældende.



1348  
 1349 Figur 1 – Tidsvindue for momentan spændingsændring if. [6].

1351 Som vist på Figur 1 er der defineret yderligere to tidsvinduer, som dækker de quasi-stationære perioder  
 1352 efter  $t_{faultQS}$  og  $t_{clearQS}$ . Disse tidsvinduer er:

- 1353  
 1354 •  $W_{faultQS}$  er perioden fra 140 ms efter  $t_{fault}$  og indtil  $t_{clear}$ .  
 1355 •  $W_{postQS}$  er perioden fra 500 ms efter  $t_{clear}$  og indtil  $t_{end}$ .

1357 Disse tidsvinduer anvendes for at kunne differentiere mellem krav til de transiente perioder efter  $t_{fault}$   
 1358 og  $t_{clear}$  og de efterfølgende quasi-stationære forløb. Dermed fastsættes tidsvinduerne, hvor hver af  
 1359 størrelserne (MXE, ME og MAE) beregnes for den dynamiske simuleringssmodel, som angivet i Tabel 2.  
 1360 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	$W_{postQS}$	$W_{post}$	$W_{post}$

1361 Tabel 2 – Tidsvinduer for beregning af afvigelse for RMS-modeller.

1363  
 1364 Tabel 3 Tabel 2 angiver de tilladelige tolerancer for hvert relevant signal og hvert kriterie i de definerede  
 1365 tidsperioder [6]. Tolerancerne er opgivet i per unit. For aktiv effekt og reaktiv effekt er basen produkti-  
 1366 onsanlæggets nominelle aktive effekt. For strømmens aktive og reaktive komposant er basen anlæggets  
 1367 nominelle strøm, jf. definitionen i [6].

1368 De i Tabel 2 angivne tilladelige afvigelser for de specificerede elektriske signaler er angivet i forhold til  
 1369 produktionsanlæggets baseværdier i form af nominel aktiv effekt (gældende for evaluering af værdier  
 1370 for aktiv effekt og reaktiv effekt) samt nominel strøm (gældende for evaluering af værdier for aktiv  
 1371 strømkomposant og reaktiv strømkomposant), jf. definitionen i [6].

		Synkron- og inverskomposanter											
		Aktiv effekt			Reaktiv effekt			Strøm (aktiv komposant)			Strøm (reakтив komposант)		
		MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE
Tilladelig afvigelse	Pre-fault	0,100	$\pm 0,050$	0,050	0,100	$\pm 0,050$	0,050	0,100	$\pm 0,050$	0,050	0,100	$\pm 0,050$	0,050
	Fault	0,150	$\pm 0,100$	0,150	0,150	$\pm 0,100$	0,150	0,200	$\pm 0,150$	0,200	0,150	$\pm 0,100$	0,150
	Post-fault	0,100	$\pm 0,050$	0,050	0,100	$\pm 0,050$	0,050	0,100	$\pm 0,050$	0,050	0,100	$\pm 0,050$	0,050

		Synkron- og inverskomposanter											
		Aktiv effekt			Reaktiv effekt			Strøm (aktiv komposant)			Strøm (reakтив композант)		
		MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE	MXE	ME	MAE
Tilladelig afvigelse	Pre-fault	0,150	$\pm 0,100$	0,120	0,150	$\pm 0,100$	0,120	0,150	$\pm 0,100$	0,120	0,150	$\pm 0,100$	0,120
	Fault	0,170	$\pm 0,150$	0,170	0,170	$\pm 0,150$	0,170	0,200	$\pm 0,200$	0,200	0,170	$\pm 0,150$	0,170
	Post-fault	0,170	$\pm 0,150$	0,170	0,170	$\pm 0,150$	0,170	0,170	$\pm 0,150$	0,170	0,170	$\pm 0,150$	0,170

1373 Tabel 3.2 Nøjagtighedskrav - tilladelige afvigelser.

1374 Nøjagtighedskravet til den påkrævede simuleringssmodel betragtes som værende opfyldt, såfremt samt-  
 1375 lige af de definerede tolerancer i forhold til tilladelig afvigelse er opfyldte.

1376 Nøjagtighedskravene specificeret i Tabel 3 gælder for både positive- og negativsekvens værdier i til-  
 1377 fælde af asymmetriske hændelser.

1378 Simuleringsmodellen må generelt ikke vise egenskaber, der ikke kan påvises for det fysiske produktions-  
 1379 anlæg.

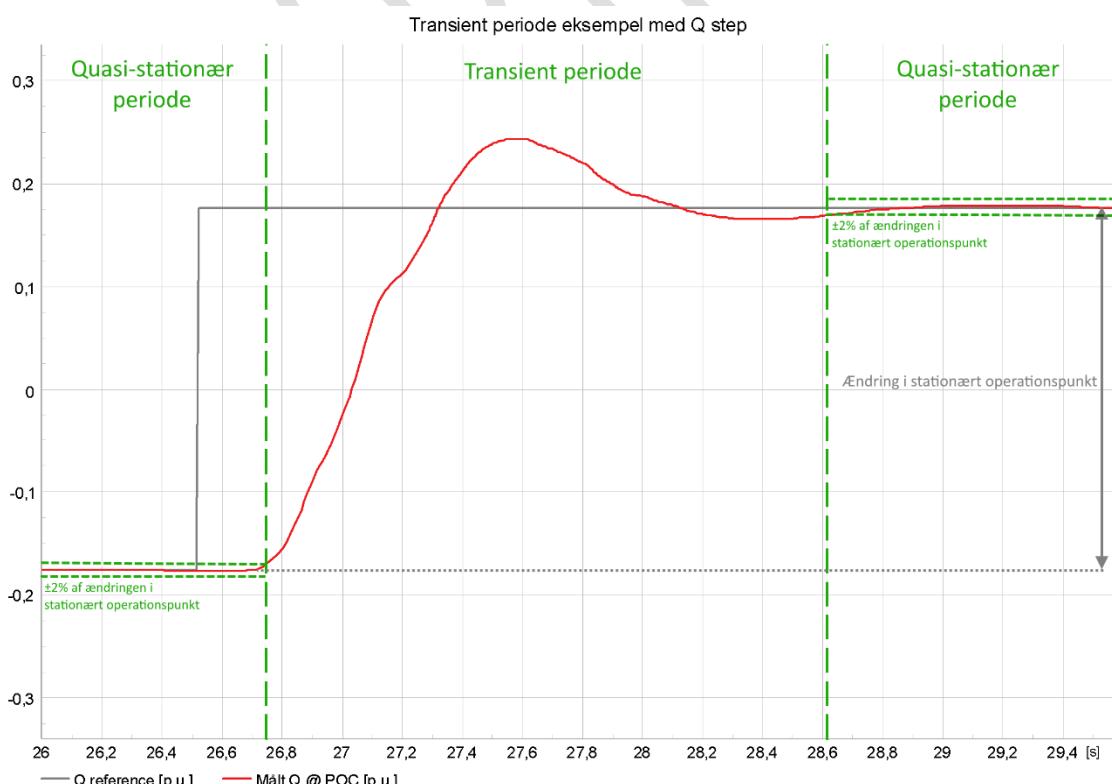
1380 3.2.2.4.2 Nøjagtighedskrav i forbindelse med ændringer af produktionsanlæggets arbejdspunkt  
 1381  
 1382  
 1383

1385 Begrebet ændringer af produktionsanlæggets arbejdspunkt omfatter i denne sammenhæng ændringer  
 1386 af produktionsanlæggets stationære arbejdspunkt, fx:

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

1396 RMSDen dynamiske simuleringssmodelstørstens repræsentation af produktionsanlæggets dynamiske respons på ifm. regulering af ændring i dets arbejdspunkt er underlagt følgende nøjagtighedskrav:

1400 Regulering af produktionsanlæggets arbejdspunktProduktionsanlæggets respons er inddelt i to perioder. Den transiente periode og den quasi-stationære periode, se Figur 2. I den transiente periode foregår hovedparten af produktionsanlæggets regulering til det nye stationære operationspunkt.  
 1401 Den transiente periode begynder første gang, at differencen mellem produktionsanlæggets responsregulering og den forrige stationære værdi overstiger  $\pm 2\%$  af ændringen i det stationære operationspunkt.  
 1402 Den transiente periode slutter, når produktionsanlægget forbliver reguleret inden for  $\pm 2\%$  af ændringen i stationært operationspunkt fra den endelige stationære værdi.  
 1403 Den del af responset, der ikke er i en transient-periode, er i en quasi-stationær periode.

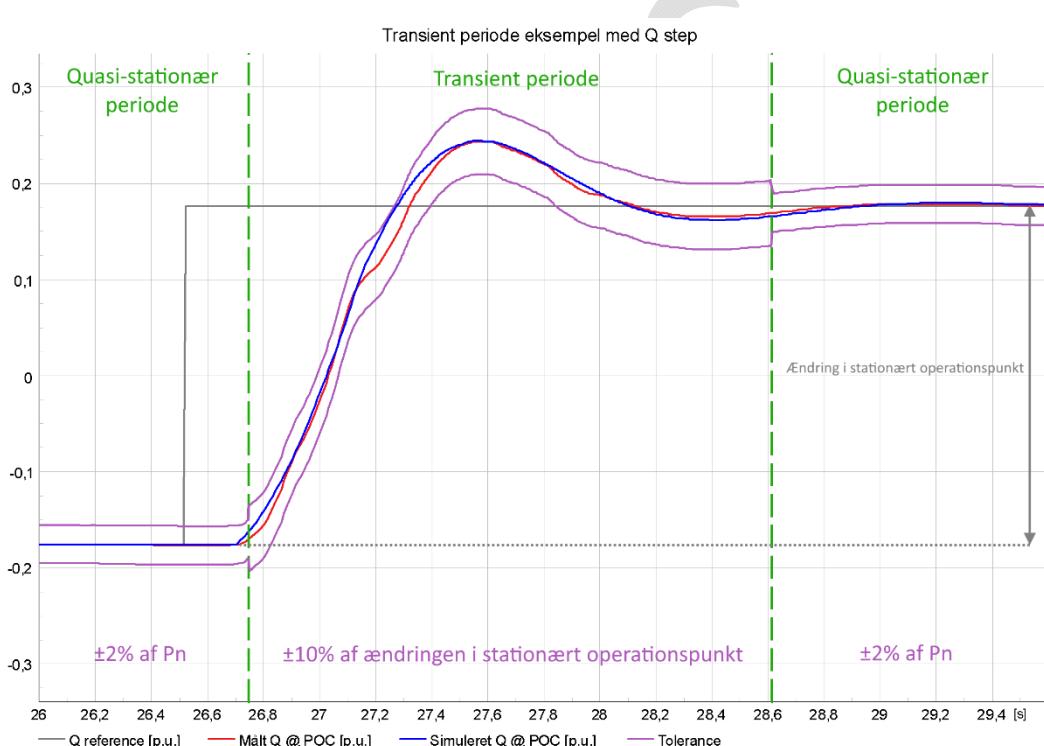


1410 Figur 2 – Eksempel på den transiente periode, som den skal defineres fra den målte respons (rød).

1411

- 1412  
1413 For signalerne aktiv og reaktiv -effektudveksling i nettilslutningspunktet gælder:  
1414  
1415 1) I den transiente periode skal den absolute difference mellem produktionsanlæggets respons  
1416 og RMSden dynamiske simuleringsmodellsens korresponderende respons til enhver tid være  
1417 inden for den **mindst** restriktive af følgende tolerancer:  
1418     a) 10% af produktionsanlæggets ændring i stationærværdien.  
1419     b) 2% af produktionsanlæggets nominelle effekt.  
1420  
1421     2) I den quasi-stationære periode skal den absolute difference mellem produktionsanlæggets  
1422       respons og RMS-simuleringsmodellens korresponderende respons være inden for en tolerance  
1423       på 2% af produktionsanlæggets nominelle effekt.

1424  
1425 Ovenstående nøjagtighedskrav er illustreret på Figur 3.



1427  
1428 Figur 3 – Samme eksempel som- Figur 2, hfigur 2er med den simulerede respons overlejet (blå) og tol-  
1429 erancerne påtegnet (lilla). Ændringen i det stationære operationspunkt er på 0,35 p.u., og der-  
1430 ved bliver tolerancen i den transiente periode ±0,035 p.u.

1431  
1432 Anlægsejeren skal planlægge, udføre og dokumentere en modelverificering på det specifikke anlæg for  
1433 at dokumentere, at overstående nøjagtighedskrav er opfyldt.

1434  
1435  
1436  
1437  
1438  
1439  
1440     Reaktiv effekt udveksling i nettilslutningspunktet.

1441 Begrebet ændringer af produktionsanlæggets arbejdspunkt omfatter i denne sammenhæng manuelle  
 1442 ændringer af produktionsanlæggets stationære arbejdspunkt, fx  
 1443 i forbindelse med en setpunktsændring for anlæggets produktion af aktiv effekt eller tilsvarende æn-  
 1444 dring af setpunktet for de øvrige påkrævede reguleringsfunktioner. Test og verifikation af et produkti-  
 1445 onsanlægs stationære og dynamiske egenskaber i forbindelse med sådanne setpunktsændringer gen-  
 1446 nemføres typisk i sammenhæng med de påkrævede overensstemmelsesprøvninger [1].  
 1447

1448 Det primære formål med disse standardtests er verifikation af produktionsanlæggets overholdelse af de  
 1449 påkrævede stationære og dynamiske egenskaber i nettilslutningspunkt tilslutningspunktet, herunder  
 1450 overholdelse af de definerede krav i forhold til fx reaktionstid og reguleringsgradienter, aktiveringsni-  
 1451 veauer for regulerings- og begrænsarfunktioner samt verifikation af produktionsanlæggets arbejdsom-  
 1452 råde m.m.

1453  
 1454 Resultaterne af disse standardtests anvendes ved den efterfølgende verifikation af de opstillede funkti-  
 1455 onskrav til, og nøjagtigheden af, den påkrævede simuleringssmodel.

1456  
 1457 De til modelverifikationen anvendte standardtests skal gennemføres og dokumenteres i henhold til defi-  
 1458 nitioner og beskrivelser givet ved [6].

1459  
 1460 Som minimum skal følgende af simuleringssmodellens reguleringsfunktioner inkluderes i modelverifikati-  
 1461 onen:

- 1463 • Aktiv effektregulering.
- 1464 • Reaktiv effektregulering:
  - 1465 ○ Effektfaktor regulering (cos φ regulering).
  - 1466 ○ Q regulering (Mvar regulering).
- 1467 • Spændingsregulering (spændingsreferencepunkt i nettilslutningspunkt tilslutningspunktet).
- 1468 • Frekvensregulering (påkrævede reguleringsfunktioner).
- 1469 • Systemværnsindgreb (slutværdi og gradient for nedregulering af aktiv effekt) – hvis pålagt.

1470  
 1471 Simuleringsmodellens nøjagtighed i forhold til de påkrævede reguleringsfunktioner skal verificeres på  
 1472 baggrund af beregning af afvigelsen i modellens simulerede svar i forhold til den tilsvarende målte  
 1473 værdi.

1474  
 1475 Bilag 1 viser, hvilke af produktionsanlæggets elektriske signaler der er omfattet af ovenstående nøjag-  
 1476 tighedskrav.

1477  
 1478 For at sikre en objektiv vurdering af simuleringssmodellens nøjagtighed skal følgende kvantitative krav,  
 1479 som er gældende for produktionsanlæggets steprespons, jf. definitionen i [6], være opfyldt for hver af  
 1480 de gennemførte standardtests, idet de for modellen beregnede afvigelser skal være mindre end eller lig  
 1481 med de i Tabel 3 angivne tilladelige afvigelser.

	Rise time	Reaction time	Settling time	Overshoot	Steady state
	$X_E = X_{sim} - X_{målt}$				
Tilladelig afvigelse	<50 ms	<50 ms	<100 ms	<15 %	<2 % af P <sub>nominel</sub>

1483 Tabel 3 Nøjagtighedskrav tilladelige afvigelse

1484 Nøjagtighedskravet til den påkrævede simuleringssmodel betragtes som værende opfyldt, såfremt sam-  
 1485 lige af de definerede tolerancer i forhold til tilladelig afvigelse er opfyldte.

1486  
1487  
1488  
1489

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

HØRING

1490 3.2.3 Krav til transient simuleringsmodel (EMT-model)

1491 PSCAD-modellen Den transiente simuleringsmodel leveret af anlægsejeren skal være en nøjagtig repræsentation af det samlede anlæg såvel som specifikke komponenter. Modellen skal være testet mod faktisk godkendelsestestdata imod fældedata efter midlertidig idriftsaftelse. 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 transiente på systemniveau, hvor frekvensområdet kan være i størrelsesordenen få Hz til få kHz. Anlægsejer skal levere en modelbrugervejledning, der beskriver forskellige model detaljer, inputparametre og outputparametre.

1500  
1501 Anlægsejer har til ansvar at levere en transient simuleringsmodel af produktionsanlægget til den syd  
1502 stemansvarlige virksomheder Energinet Systemansvar A/S Energinet i henhold til nedenstående-specifikationerne i afsnit 3.2.3.1, 3.2.3.2, 3.2.3.3 og 3.2.3.4.:

1504  
1505 Simuleringsmodellen skal kunne integreres i Energinets samlede net- og systemmodel uden at have en  
1506 problematisk indvirkning på anvendelsen af denne. Modelkravene specificeret i følgende underafsnit  
1507 har bl.a. til formål at forebygge dette, men såfremt simuleringsmodellen alligevel giver udfordringer ved  
1508 integration i Energinets samlede net- og systemmodel, er det anlægsejers ansvar at finde en løsning  
1509 på dette i samarbejde med Energinet. I praksis vil det foregå således, at modeller testes og godkendes  
1510 inden tildeling af ION på baggrund af kravene i de følgende underafsnit. Efter udstedelse af ION vil Ener-  
1511 ginet teste simuleringsmodellens performance ved integration i en større systemmodel, og eventuelle  
1512 udfordringer skal håndteres, inden endelig modelgodkendelse kan gives, jf. krav til FON.

1513  
1514 Simuleringsmodellen skal verificeres, som specificeret i afsnit 4.

1515  
1516 3.2.3.1 Funktionelle modelkrav

1517 Den transiente simuleringsmodel skal kunne repræsentere produktionsanlæggets stationære og dyna-  
1518 miske egenskaber i forbindelse med setpunktsændringer for anlæggets produktion af aktiv og reaktiv  
1519 effekt, herunder ændring af reguleringsform for dette, samt nedenstående eksterne hændelser, eller  
1520 kombinationer af disse eksterne hændelser i det kollektive elforsyningssystem:

- 1521 • Generatornære fejl set fra nettilslutningspunkt tilslutningspunktet i henhold til den påkrævede  
1522 FRT-karakteristik [1], hvor en kortslutning her kan antage form som:
  - 1523 ○ En fase-jord kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
  - 1524 ○ En tofaset kortslutning uden eller med jordberøring med en vilkårlig impedans i fejl-  
1525 stedet.
  - 1526 ○ En trefaset kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
- 1527 • Udkobling af, og mulig efterfølgende automatisk genindkobling af, en vilkårlig fejlråmt netkom-  
1528 ponent i det kollektive elforsyningssystem, jf. ovenstående fejlføløb, og det  
1529 afledte vektorspring i nettilslutningspunkt tilslutningspunktet.
- 1530 • Manuel ind- eller udkobling (uden forudgående fejl) af en vilkårlig netkomponent i det kollek-  
1531 tive elforsyningssystem og det afledte vektorspring i nettilslutningspunkt tilslut-  
1532 ningpunktet.
- 1533 • Spændingsforstyrrelser og tenderende spændingskollaps med en varighed inden for den på-  
1534 krævede minimumssimuleringstid, jf. nedenstående, og som minimum inden for indsvingnings-  
1535 forløbet for produktionsanlæggets overgang til en ny stationær tilstand.

- 1536 • Frekvensforstyrrelser med en varighed inden for den påkrævede minimumssimuleringstid, jf.  
 1537 nedenstående, og som minimum inden for indsvingningsforløbet for produktionsanlæggets  
 1538 overgang til en ny stationær tilstand.
- 1539 • Aktivering af et pålagt systemværn (via et eksternt signal) til hurtig regulering af produktions-  
 1540 anlæggets aktive effektproduktion i henhold til en foruddefineret slutværdi og gradient.

1541 Den leverede transiente simuleringsmodel skal:

- 1543 1. Det er anlægsejerens ansvar at sikre, at den leverede EMT model indeholder alle relevante  
 1544 regulerings-, kontrol og beskyttelsesfunktioner. Dette inkluderer fx:
  - 1545 a. En fuld repræsentation af de indre og ydre reguleringsløjfer for effektelektronik-ba-  
 1546 serede anlæg, herunder bl.a. spændingskontrol, phase-locked loop, fault ride-  
 1547 through-logik, dæmpningskontrol, begrænservunctioner. Dette gælder også alle rele-  
 1548 vante fysiske elektriske og mekaniske komponenter som fx filtre, transformere, shunt-  
 1549 komponenter, gearbox, pitch controller, generatorer, DC-link chopper mm.
  - 1550 a.
  - 1551 b. En fuld repræsentation af plant-level regulerering, herunder Power Plant Controller  
 1552 parkregulatoren (PPC), som inkluderer tidsforsinkelser, transition til og fra fault ride-  
 1553 through modes mm.
  - 1554 b.
  - 1555 c. Samtlige påkrævede reguleringsfunktioner [1].
  - 1556 d. Modellen skal omfatte alle kontrol- og beskyttelsesfunktioner på anlægsniveau og in-  
 1557 yerterniveau, som implementeret i det faktiske udstyr, heriblandt
    - 1558 i. Indstillinger for spændings- og frekvensbeskyttelse,
    - 1559 ii. Fault ride-through-aktiverings og deaktivieringsindstillinger,
    - 1560 iii. Indstillinger for injektion af aktive og reaktive strømme under en fejl.
- 1561 2.1. Simuleringspunkt for påbegyndelse af EMT-modellens injektion af tilsvneladende effekt  
 1562 skal kunne indstilles af brugeren.
- 1563 2.2. Simuleringspunkt for aktivering af produktionsanlæggets beskyttelsessystemer i EMT-  
 1564 modellen skal kunne indstilles af brugeren.
- 1565 • For produktionsenheder med en nettilsluttet konverter skal anlægsejer i deres EMT-model re-  
 1566 præsentere konverterens skiftedydynamikker enten på transistorniveau eller som en styret  
 1567 spændingskilde-/strømkildeapproksimation ('average' model). Såfremt modellen er baseret på  
 1568 en 'average' modelrepræsentation, skal anlægsejer verificere, at kontrol- og beskyttelsesfunk-  
 1569 tionaliteterne ikke er forenklede, og modellen er velegnet til dynamisk responsanalyse i områ-  
 1570 det fra Hz-kHz. Ved brug af average model skal denne lave et gennemsnit med skiftefrekven-  
 1571 sen for anlæggets dynamikker, så hurtige reguleringsløjfer bevares, og det udelukkende er  
 1572 skiftedydynamikken og eventuel pulsbreddemodulation, der udelades. Denne average modelre-  
 1573 præsentation skal stadig kunne korrekt repræsentere de dynamikker, der er imellem DC-siden  
 1574 og AC-siden af anlægget (fx DC-link-dynamik, vindmøllers mekaniske dynamik eller solcellers  
 1575 dynamik), hvilket skal dokumenteres af anlægsejer.
- 1576 2.
- 1577 3. Modellen skal ikke kunne initialiseres på maksimalt 3 sekunders simuleringstid. Ydermere skal det  
 1578 være muligt at specificere ved hvilket simuleringstidspunkt modellen påbegynder initialisering.
- 1579 4. Simuleringspunkt for påbegyndelse af EMT-modellens injektion af tilsvneladende effekt  
 1580 skal kunne indstilles af brugeren.
- 1581 5. Simuleringspunkt for aktivering af produktionsanlæggets beskyttelsessystemer i EMT-  
 1582 modellen skal kunne indstilles af brugeren.
- 1583 5.

- 1584     6. Som minimum kunne benyttes i frekvensområdet fra 47,5 Hz til 51,5 Hz og i spændingsområ-  
 1585     det fra 0,0 pu til 1,4 pu.
- 1586     7. Kunne beskrive produktionsanlæggets dynamiske egenskaber i mindst 60 sekunder efter en-  
 1587     hver af ovenstående setpunktsændringer og eksterne hændelser i det kollektive elforsyningss-  
 1588     system.
- 1589     8. Være numerisk stabil ved gennemførelse af en simulering på minimum 60 sekunder uden på-  
 1590     trykning af et hændelsesforløb eller ændring af randbetingelser, hvor de simulerede værdier  
 1591     for aktiv effekt, reaktiv effekt, spænding og frekvens skal forblive konstante under hele simule-  
 1592     ringsforløbet.
- 1593     4.—
- 1594     5.9. EMT-modellen skal repræsentere alle komponenter, reguleringssystemer og beskyttelsessyste-  
 1595     mer relevante for EMT-analyser, herunder også det samlede anlægs parkregulator.
- 1596     6.10. Netkomponenter og øvrige dele, som indgår i anlægsinfrastrukturen, skal implemente-  
 1597     res i EMT-modellen i et omfang og et detaljeringsniveau, der er gyldig for EMT-studier. Dette  
 1598     inkluderer opsamlingskabler, transformere, filtre m.m. Omfanget af leverancen godkendes af  
 1599     den systemansvarlige virksomhed Energinet Systemansvar A/S Energinet. Hvis kabler er model-  
 1600     leret med PI-sektioner, skal deres frekvensafhængige karakteristikker valideres mod geometri-  
 1601     ske modeller.
- 1602     11. For produktionsenheder med mekanisk drivtog skal EMT-modellen indeholde en mekanisk  
 1603     svingningsmassemødel for produktionsanlæggets drivtog inklusive dokumentation af inertikon-  
 1604     stanter, egenfrekvenser samt fjeder- og dæmpningskonstanter, såfremt dette er relevant for  
 1605     repræsentationen af produktionsanlæggets stationære og dynamiske egenskaber.
- 1606     Som minimum kunne benyttes i frekvensområdet fra 47,5 Hz til 51,5 Hz og i spændingsområ-  
 1607     det fra 0,0 pu til 1,4 pu.
- 1608     7.—
- 1609     8.12. EMT-modellen skal repræsentere produktionsenheds-produktionsanlæggets FRT-  
 1610     egenskaber [1].
- 1611     9.13. Hvis produktionsanlægget har særlige funktioner, som eksempel et reguleringsregime  
 1612     for særligt svagt net, skal disse funktioner inkluderes i EMT-modellen. En relevant modeltek-  
 1613     nisk beskrivelse af de særlige funktioner og disses begrænsninger skal inkluderes i EMT-  
 1614     modellens brugervejledning.
- 1615     10.14. Modellen skal være gyldig for stationære driftsforhold.
- 1616     15. EMT-modellen skal være anvendelig for EMT-simuleringer af balancede samt ubalancede  
 1617     fejl og afbrydelse af produktionsanlæggets forbindelse til det kollektive elforsyningssnetelforsy-  
 1618     ningssystem.
- 1619     16. For produktionsanlæg med varierende primær energikilde skal det være muligt at justere på  
 1620     den tilgængelige effekt, også under simulering (som fx vindhastighed eller solindstråling).
- 1621     11.17. Såfremt produktionsanlægget indeholder eksterne komponenter, fx af hensyn til over-  
 1622     holdelse af nettilslutningskravene eller til levering af kommercielle systemydelser, skal simule-  
 1623     ringsmodellen indeholde den nødvendige repræsentation af disse komponenter, som krævet i  
 1624     afsnit 2.
- 1625
- 1626     **3.2.3.2 Modelformat**
- 1627     1. EMT-modellen skal udvikles og leveres til PSCAD/EMTDC og være kompatibel med PSCAD ver-  
 1628     sion 4.6.3 og nyere, i softwareversionen fastsat af den systemansvarlige virksomhed.
- 1629     2. Hvis produktionsanlægget består af flere identiske produktionsenheder, skal EMT-modellen  
 1630     aggregeres som beskrevet i afsnit 3.2.5. Den aggregerede model skal være skalerbar ved hjælp  
 1631     af en indbygget funktion eller ved hjælp af en ekstern PSCAD 'skalerings'-komponent.

- 2.3. For hybride anlæg bestående af flere forskellige typer af produktionsenheder skal EMT-modellen korrekt repræsentere hver af disse typer.
4. EMT-modellen skal kunne anvendes med et tidsskridt på 10 mikrosekunder. Hvis anlægsejer ønsker at anvende et andet tidsskridt end 10 mikrosekunder, skal dette godkendes af systemoperatøren Energinet.
5. EMT-modellen skal valideres for simuleringer ved forskellige simuleringstidsskridt. Modellen skal give tilnærmelsesvis samme resultater ved transiente simuleringer med ethvert tidsskridt i det gyldige interval.
- Højeste mulige tidsskridt skal angives i brugervejledningen.
- 3.6. 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.
- 4.8. EMT-modellen skal understøtte brug af PSCAD/EMTDCs 'multiple run'-funktion.
- 5.9. Alle for EMT-analyser relevante funktionsindstillinger i produktionsanlæggets reguleringssystem, der kan ændres enten lokalt eller ved fjernkontrol, skal være tilgængelige parametre i simuleringsmodellen. Omfanget af leverancen godkendes af den systemansvarlige virksomhed Energinet Systemansvar A/S.
10. Alle relevante setpunkter og indstillinger på det virkelig anlæg skal være tilgængelige i den transiente simuleringsmodel. Hvert 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 φ-regulering).
  - c. Q-regulering (Mvar-regulering).
  - d. Spændingsregulering (inklusive parametre for droop/kompondering).
  - e. Frekvensregulering (statik og dødbånd).
11. Yderligere skal alle setpunkter og indstillinger angives med fortegn i henhold til generatorkonvention [4].
12. Setpunkter for aktiv effekt, reaktiv effekt -og spænding skal angives i per unit i henhold til produktionsanlæggets nominelle aktive effekt og spænding i nettilslutningspunktet.  
Setpunkt for effektfaktor-regulering skal angives ved cos φ.
- 13.
- 6.14. Det skal være muligt at skifte mellem samtlige påkrævede reguleringsfunktioner for aktiv og reaktiv effekt både før og under dynamisk simulering.
15. Alle elektriske, mekaniske, regulerings og beskyttelsesignaler relevante for EMT-analyser af det kollektive elforsyningens netelforsyningssystem skal være tilgængelige i EMT-modellen. Omfanget af leverancen godkendes af Energinet. Særligt fremhæves herunder:
- a. -Delen interne kontrolls reference for måling af spændinger og strømme i dq-domænet (Vd/Vq og Id/Iq) for anlæg-effektelektronik-baserede anlæg med PLL funktion. Omfanget af leverancen godkendes af den systemansvarlige virksomhed Energinet Systemansvar A/S.
  - b. PLL udgangssignal, for anlæg som anvender phase-locked-loop (PLL) til synkronisering.
- EMT-modellen må indeholde prækompilerede og krypterede dele. EMT-modellens kompilerede krypterede dele skal være DLL-baseret. EMT-modellen skal være kompatibel med systemoperatørens simuleringsmiljø, hvor kompiler-indstillinger (version og kompatibelt versionsinterval af Intel Fortran og MS Visual Studio) aftales mellem anlægsejer og systemoperatøren.

1680 7.16. EMT-modellen må indeholde prækompilerede og krypterede dele. EMT-modellen skal  
 1681 være DLL baseret og kunne benyttes med Intel Fortran fra version 12 til og med senest ud  
 1682 givne på datoen for kontraktunderskrivning mellem anlægsejer og producenten af produkti  
 1683 onsenheden. Afhængighed af PSCAD versionsopdatering accepteres, under forudsætning af at  
 1684 EMT-modellen benytter standardkomponenter, der er tilgængelige for brugeren.

1685 17. EMT-modellen må ikke bruge eller være afhængig af global variable i PSCAD.

1686 8.18. EMT-modellen må ikke gøre brug af flere lag i PSCAD-værktøjet, inklusiv 'disabled' lag.

### 1689 3.2.3.3 Modelleverancer

1690 EMT-modellen skal ved levering bestå af følgende:

- 1692 • PSCAD/EMTDC-simuleringsmodel, version efter aftale med den systemansvarlige virksomhed  
Energinet Systemansvar A/S Energinet.
  - 1693 ○ 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.
  - 1697 ○ Identificer tydeligt producentens EMT-modeludgivelsesversion og den relevante tilhørende hardware-firmwareversion.
  - 1699 ○
- 1700 • Brugervejledning med beskrivelse af:
  - 1701 ○ modellernes strukturelle opbygning samt beskrivelser af simuleringsmodellernes parametrering og gyldige randbetingelser i form af arbejdspunkter 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.
  - 1706 ○ Brugervejledning med beskrivelse af modelbegrensninger.
  - 1707 ○ Brugervejledningen skal beskrive modelantagelser og anvendelse af EMT-modellen.
  - 1708 ○ En detaljeret beskrivelse af modelbegrensninger skal leveres, med beskrivelse af alle modelbegrensninger 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.
  - 1712 ○ den anvendte modelaggregering, jf. kravene i afsnit 3.2.5.
  - 1713 ○ hvorledes simuleringsmodellen kan integreres i en større net- og systemmodel, som anvendt af Energinet Systemansvar A/S Energinet.
  - 1715 ○ højeste mulige tidsskridt.
  - 1716 ○ hvor mange 'definitions' og 'instances', der kan oprettes af modellen.
  - 1717 ○ opsætning og initialisering af simuleringsmodellen.
  - 1718 ○ Pænliggende parametre for de enkelte modelkomponenter, herunder mætning, ulinearitet, dødbånd, tidsforsinkelser samt begrænsarfunktioner (non-wind-up/anti wind-up) samt look-up tabedata og anvendte principper for interpolation m.m.
  - 1721 ○ simuleringsmodellens indgangs- og udgangssignaler, hvor dette som minimum skal omfatte følgende:
    - 1723 ■ Aktiv effekt.
    - 1724 ■ Reaktiv effekt.
    - 1725 ■
    - 1726 ■ Setpunkter for:
      - 1727 • Aktiv effektregulering.
      - 1728 • Effektfaktor-regulering ( $\cos \phi$ -regulering).

- 1729     • Q-regulering (Mvar-regulering).
1730     • Spændingsregulering inklusive parametre for anvendt droop/kom-  
1731         pounderung.
1732     • Frekvensregulering (statik og dødbånd).
1733     • Systemværnsindgreb (slutværdi og gradient for regulering af aktiv  
1734         effekt).
1735         ■ Signal for aktivering af systemværn.
1736         ■ Styresignaler for eventuelle eksterne netkomponenter, fx STATCOMs eller  
1737         energilagringenheder m.m.
1738         ■ 
1739     • Data for netkomponenter og øvrige dele, som indgår i anlægsinfrastrukturen. Data skal have et  
1740         omfang og et detaljeringsniveau, som muliggør opbygning af en komplet, fuldt funktionsdygtig  
1741         simuleringsmodel, som krævet i afsnit 2.
1742     • 
1743     • Verifikationsrapporter for EMT-modellen som indeholder:  
1744         en sammenligning af EMT-modellens stationære og dynamiske respons med målinger foreta-  
1745         get på den virkelige forbrugsenhed.
1746     • en verificering, som specificeret i afsnit 4.

#### 1747     3.2.3.4 Nøjagtighedskrav

1748     Nøjagtigheden af den påkrævede transiente simuleringsmodel fastlægges på samme måde som for den  
1749     dynamiske simuleringsmodel (RMS-model), jf. afsnit 3.2.2.4 3.2.2.13.2.1.1, ved anvendelse af passende  
1750     filtrering til beregning af grundtonekomposanten af målte og simulerede værdier. Metoden anvendt til  
1751     filtrering aftales mellem anlægsejeren og den systemansvarlige virksomhed Energinet Systemansvar A/S-E-  
1752     nerginet. Nøjagtighedskravet til den transiente simuleringsmodel og den anvendte evalueringsmetode  
1753     er dermed identisk med krav for den påkrævede dynamiske simuleringsmodel, dog med undtagelse af  
1754     tidsvinduerne for hvilke størrelserne (MXE, ME og MAE) beregnes, jf. krav til momentane spændingsæn-  
1755     dringer. For den transiente simuleringsmodel skal størrelserne beregnes som angivet i Tabel 4.

Periode	X <sub>MXE</sub>	X <sub>ME</sub>	X <sub>MAE</sub>
Pre-fault	W <sub>pre</sub>	W <sub>pre</sub>	W <sub>pre</sub>
Fault	W <sub>fault</sub>	W <sub>fault</sub>	W <sub>fault</sub>
Post-fault	W <sub>post</sub>	W <sub>post</sub>	W <sub>post</sub>

1756     Tabel 4 – Tidsvinduer for beregning af afvigelse for EMT-modeller.

1757     Yderligere for asynkrone anlæg, som er nettilsluttet via en konverter (effektelektronik-baserede anlæg),  
1758     gælder nøjagtighedskravene til aktiv og reaktiv strømkomposant også for den interne kontrolls omreg-  
1759     ning af måleværdier til dq-domænet ( $I_d$  og  $I_q$ ), når relevant for både positiv- og negativsekvens.

1760     Derudover anvendes sammenligning af øjebliksværdier for strøm og spænding til verificering af simule-  
1761     ringsmodellens nøjagtighed i forbindelse med de transiente forløb ved spændingsændringer. Dette gæl-  
1762     der kun ved verificering af enkeltanlæg, og omfang er beskrevet i afsnit 4.3.3. Sammenligning af øje-  
1763     bliksværdier er ikke underlagt kvantitative nøjagtighedskrav, men verificering er baseret på en visuel  
1764     inspektion og ingeniørfaglig vurdering. Ved vurdering af øjebliksværdierne er fokus på amplitude og  
1765     oscillationsfrekvens før, under og efter spændingsforstyrrelsen, antallet af perioder for at opnå ny  
1766     steady state, fase-asymmetri samt størrelsen af et eventuelt fasehop.

- 1773    3.2.4 Krav til harmonisk simuleringsmodel
- 1774    3.2.4.1 Funktionelle modelkrav
- 1775    Simuleringsmodellen for det samlede produktionsanlæg skal repræsentere anlæggets emission af har-  
1776    moniske overtoner og passive harmoniske respons (harmoniske impedans) i tilslutningspunktet, gæl-  
1777    dende for det definerede normaldriftsområde [1] og under alle relevante stationære netforhold, hvor  
1778    produktionsanlægget skal kunne drives.
- 1779
- 1780    Enkeltanlægsmodel skal leveres som en Théveninækvivalent repræsentativ for produktionsanlæggets  
1781    emission af heltals-harmoniske, angivet som RMS-spændinger, samt anlæggets passive respons i fre-  
1782    kvensområdet 50 Hz til 2500 Hz. Modellen skal indeholde de relevante synkron-, invers- og nul-se-  
1783    kvensimpedanser i det specificerede frekvensområde med frekvensopløsningen på 1 Hz.
- 1784
- 1785    Hvis anlægget består af flere produktionsanlæg, skal der foruden enkeltanlægsmodellen leveres en ag-  
1786    gregeret simuleringsmodel repræsentativ for den samlede emission samt det samlede passive harmoni-  
1787    ske respons i tilslutningspunktet. Krav til frekvensområde og oplosning er identisk med enkeltanlægs-  
1788    modellen.
- 1789
- 1790    Hvis produktionsanlæggets emission eller impedanser er afhængige af anlæggets arbejdspunkt, skal  
1791    modellen leveres ved tre effektorråder ved nominel spænding og nul reaktiv effekt;  $P = 0,0 \text{ pu}$ ,  $P = 0,5$   
1792     $\text{pu}$  og  $P = 1,0 \text{ pu}$ . Derudover skal det beskrives, hvordan reaktiv effekt påvirker den harmoniske emission  
1793    og impedans. Desuden skal anlægsejeren levere en model opsat med højeste emission per harmoniske;  
1794    hvor dette er gældende både for den aggregerede samt enkeltanlægsmodellen. Det er anlægsejerns  
1795    ansvar at dokumentere afhængighed af arbejdspunktet samt at sikre korrekt implementering i model-  
1796    lerne.
- 1797
- 1798    Det er anlægsejerns ansvar at specificere en metode for summering af emission fra flere produktions-  
1799    anlæg. Dette kan enten gøres ved at specificere krav til fastsættelse af vinklen på Théveninspændingen  
1800    for hver harmonisk frekvens givet specifikt for hvert produktionsanlæg. Alternativt benyttes en summe-  
1801    ringslov, som eksempelvis angivet i [7]. Benyttes en summeringslov, skal  $\alpha$ -koefficienterne fastsættes af  
1802    anlægsejeren. Der skal redegøres for valg af  $\alpha$ -koefficienterne for alle harmoniske. Det er for begge me-  
1803    toder anlægsejerns ansvar at redegøre for, at den anvendte metode giver et korrekt respons for pro-  
1804    duktionsanlæggets samlede emission.
- 1805
- 1806    Data for netkomponenter og øvrige dele, som indgår i anlægsinfrastrukturen, skal have et omfang og et  
1807    detaljeringsniveau, som muliggør opbygning af en komplet frekvensafhængig simuleringsmodel i fre-  
1808    kvensområdet 50 Hz til 2500 Hz. Dette inkluderer opsamlingskabler, transformere, filtre mm. Omfanget  
1809    af leverancen godkendes af [Energinet Systemansvar A/S Energinet](#).
- 1810
- 1811    3.2.4.2 Modelformat
- 1812    Den harmoniske enkeltanlægsmodel og aggregeret simuleringsmodel opsat til højeste emission per har-  
1813    moniske orden skal leveres enten som tabelldata i EXCEL eller som DlgSILENT PowerFactory model, i Po-  
1814    werFactory version, som aftales med [Energinet Systemansvar A/S Energinet](#). En fulddetaljeret harmonisk  
1815    model kan udgøre leverance af data for netkomponenter og øvrige dele. En fulddetaljeret harmonisk  
1816    model skal i så fald leveres i DlgSILENT PowerFactory.
- 1817

1818 Harmoniske emissioner og/eller impedanser, der angiver anlæggets afhængighed af arbejdspunkt skal  
1819 leveres som tabelldata i EXCEL. Hertil skal relevante data, der muliggør opbygning af en komplet fre-  
1820 kvensafhængig simuleringsmodel, leveres i EXCEL. Dette omfatter bl.a. elektriske data for anlægskom-  
1821 ponenter og kabellængder internt i anlægget.

1822

### 1823 3.2.4.3 Modelleverancer

1824 Leverance af den harmoniske simuleringsmodel skal indeholde:

- 1825 • Harmonisk enkeltanlægsmodel opsat med højeste emission per harmoniske orden.
- 1826 • Harmonisk aggregeret simuleringsmodel opsat med højeste emission per harmoniske orden.
- 1827 • Teknisk dokumentation og data for
  - 1829 ○ Relevante synkron-, invers- og nul-sekvensimpedanser i frekvensområdet 50 Hz til  
1830 2500 Hz med frekvensopløsningen på 1 Hz.
  - 1831 ○ Dokumentation for produktionsanlæggets emission og/eller impedancers afhængig-  
1832 hed af anlæggets arbejdspunkt.
  - 1833 ○ Netkomponenter og øvrige dele af anlægsinfrastrukturen i omfang og detaljeringsni-  
1834 veau, som muliggør opbygning af en komplet frekvensafhængig simuleringsmodel.
- 1835 • Modelvejledning med beskrivelse af
  - 1837 ○ Modelantagelser og opbygning.
  - 1838 ○ Metode for summering af emission fra flere produktionsanlæg.
  - 1839 ○ Den anvendte modelaggregering og overensstemmelse af denne med komplet har-  
1840 monisk simuleringsmodel.

1841

### 1842 3.2.4.4 Nøjagtighedskrav

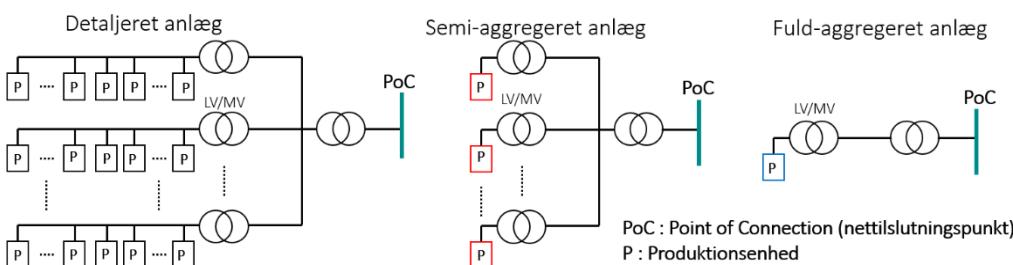
1843 Metoden anvendt til opstilling af modellen for den enkelte produktionsenhed skal specificeres og god-  
1844 kendes af Energinet Systemansvar A/S Energinet. Bestemmes modelparametre ved måling, skal en måle-  
1845 rapport vedlægges som dokumentation. Desuden skal der redegøres for, hvordan modelparametre fast-  
1846 sættes ud fra målerapportens resultater. Fastsættes modelparametre ved beregning eller simulering,  
1847 skal metoden anvendt specificeres, samt eksempler på resultatbehandling for udledning af modelpara-  
1848 metre gives.

### 1850 3.2.5 Aggregering af modeller for produktionsanlæg

1851 Produktionsanlægget kan bestå af adskillige mindre enheder, som tilsammen udgør mærkeeffekten af  
 1852 produktionen i tilslutningspunktet. For analyser i det kollektive elforsyningssystem implementerer sy-  
 1853 stemoperatøren en fuld-aggregeret eller semi-aggregeret model af anlægget afhængig af anlæggets in-  
 1854 terne komponenter, symmetri set fra tilslutningspunktet, den elektriske afstand imellem tilslutningspunk-  
 1855 tet og interne komponenter og enheder mm.

1856  
 1857 Anlægsejer har til ansvar at levere aggregerede simuleringsmodeller af produktionsanlægget til Energi-  
 1858 net i henhold til nedenstående specifikation:

- 1860 • Krav om model aggregering gælder for de krævede stationære, dynamiske og transiente mo-  
 1861 deller.
- 1862 • Det er anlægsejers ansvar at sikre, at den aggregerede dynamiske model er en retvisende re-  
 1863 præsentation for det samlede produktionsanlæg i tilslutningspunktet, både under statiske og  
 1864 dynamiske forhold, jf. de krav der er nedsat for stationære, dynamiske og transiente modeller i  
 1865 afsnit 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3.
- 1866 • Anlægsejer skal i brugervejledningen for modellen inkludere
  - 1867 o beskrivelser af de anvendte principper for aggregering samt eventuelle begrænsnin-  
 1868 ger for anvendelsen af dette. Simuleringsmodellens parametrering skal indeholde  
 1869 komplette datasæt for enkeltanlæg og det aggregerede anlæg.
  - 1870 o et verifikationsafsnit, der dokumenterer, at den fuld-aggregerede model er repræsen-  
 1871 tativ for en detaljeret repræsentation af anlægget. Hvorvidt dette gøres gennem en  
 1872 sammenligning af den fuld-aggregerede model med en detaljeret repræsentation af  
 1873 anlægget eller gennem analytiske tiltag, aftales imellem anlægsejer og systemopera-  
 1874 tøren.
  - 1875 o en beskrivelse af det fulde parklayout.
- 1876 • For de statiske og dynamiske RMS-simuleringsmodeller accepteres kun en fuld-aggregeret mo-  
 1877 del af anlægget.
- 1878 • For den transiente EMT-simuleringsmodel, accepteres en semi-aggregeret model af anlægget,  
 1879 såfremt anlægsejer kan påvise at en fuld-aggregeret model ikke er tilstrækkelig for retvisende  
 1880 at bevare anlæggets dynamiske og transiente egenskaber.
- 1881 • Ved hybride anlæg med flere forskellige typer af produktionsenheder skal der foretages en fuld-  
 1882 aggregering af hver enhedstype for sig. Dette gælder både for RMS- og EMT-modeller.



1886 Figur 4 - Etstregsdigrammenstregsdigram, der visualiserer forskellige aggregeringsni-  
 1887 veauer omtalt i nærværende dokument.

### 1888 3.2.5

1891

## 1892 4. Verifikation af simuleringsmodel

1893 Anlægsejeren skal sikre, at simuleringsmodellerne er verificeret [1]. Anlægsejeren er ansvarlig for al ud-  
 1894 førelse af test til modelverifikation, herunder fremskaffelse af nødvendigt måleudstyr, dataloggere og  
 1895 personel. Anlægsejeren er desuden ansvarlig for gennemførelse og dokumentation af den påkrævede  
 1896 modelverifikation, herunder dokumentation af overholdelse af de definerede nøjagtighedskrav til simu-  
 1897 leringsmodellen.

1898

1899 Omfangen af modelverifikationen fastlægges i samarbejde med Energinet efter oplæg fra anlægsejeren.

1900

### 1901 4.1 Dokumentationskrav

1902 Anlægsejeren skal dokumentere verifikationen af simuleringsmodeller for produktionsanlægget i form  
 1903 af rapporter i henhold til testprocedure fastsat i afsnit 4.2 og/eller 4.3. Måleresultater sammenholdes  
 1904 med de tilsvarende simulerede resultater, og simuleringsmodellens nøjagtighed dokumenteres. Model-  
 1905 verifikationsproceduren betragtes først som afsluttet, når Energinet har godkendt de af anlægsejeren  
 1906 fremsendte modelverifikationsrapporter.

1907

1908 Rapporter for modelverifikation skal indeholde:

1. Beskrevelser af de udførte tests, herunder:
  - a. Størrelse på sætpunktsændring eller fejlkarakteristik.
  - b. Aktiv effekt setpunkt ved start.
  - c. Reaktiv effekt setpunkt ved start.
  - d. Anvendt net-ækvivalent (impedans) og systemstyrke (SCR).
  - e. Relevante anlægsindstillinger såsom droops, eller FRT K-faktor.
2. Beskrevelser 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. Randbetingelser (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 overskridt 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).

1932

#### 1933 4.1.1 Evalueringskriterier

1934 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.

1937

1938 Energinet har så vidt muligt fastsat kvantitative nøjagtighedskrav for at sikre en objektiv vurdering af  
 1939 simuleringsmodellers nøjagtighed. Men med henblik på at verificere modellers dynamiske respons (særlig for EMT-modeller) er de kvantitative nøjagtighedskrav ikke tilstrækkelige. Det er muligt, at en model  
 1940 overholder de kvantitative nøjagtighedskrav, men tendenserne i det simulerede dynamiske respons er  
 1941 forskellig fra det målte. Og da det ikke er hensigtsmæssigt at fastsætte de kvantitative krav så skrapt, at  
 1942 ens dynamik sikres, er der brug for en visuel inspektion og ingenørormæssig vurdering i forbindelse med  
 1943 modelverifikation.

1945 Energinet laver derfor en ingenørormæssig vurdering med udgangspunkt i forventet nøjagtighed for den  
 1946 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  
 1947 godkendt modelverifikationen, så frem resultaterne viser væsentlige forskelle i dynamik. Omvendt set  
 1948 kan enkelte overskridelser af de kvantitative nøjagtighedskrav accepteres, såfremt der kan redegøres  
 1949 for disse, og tendenserne i det dynamisk respons er ensartede.

#### 1951 4.1.2 Testoplæg for modelverifikation

1953 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:

1956 1. Testbeskrivelse

- 1957 a. Formål med testen.
- 1958 b. Hvad er involveret i testen.
- 1959 c. Hvilke dele af modellen er i fokus.

1960 2. Forudsætninger

- 1961 a. Krav til driftssituationen under test, eksempelvis minimum produktionsniveau under testen.
- 1963 b. Særlig testopsætning, afvigelse fra normale driftsindstillinger, fx anden tuning af aktiv eller reaktiv effektkontrol.
- 1964 c. Sammenhæng med andre tests.

1965 3. Måling

- 1967 a. Hvilke signaler bliver målt.
- 1968 b. Hvor på anlægget foretages målingen.
- 1969 c. Hvilket udstyr anvendes til måling.

1970 4. Modelverifikation

- 1971 a. Hvordan sammenlignes testresultaterne med simuleret resultat.
- 1972 b. Succeskriterier for modelverifikation.

#### 1973 4.2 Synkrone anlæg verificeringsprocedure

##### 1975 4.2.1 Verifikationskrav til stationær simuleringsmodel

1976 Verifikation er ikke påkrævet.

1977 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.

1981 Dette gøres i forbindelse med de krævede overensstemmelsessimuleringer [1]. Resultater fra statiske  
 1982 kortslutningsberegninger skal sammenlignes med resultater fra dynamisk simulering for udvalgte fejl-  
 1983 hændelser. Omfang aftales med Energinet.

1986	<b>4.2.2 Verifikationskrav til dynamisk simuleringsmodel (RMS-model)</b>
1987	<u>Simuleringsmodellen for det samlede produktionsanlæg skal verificeres af anlægsejeren, omfattende</u>
1988	<u>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 i det kollektive elforsyningssystem.</u>
1989	
1990	
1991	
1992	<u>For synkronne produktionsanlæg består modelverifikationen af følgende:</u>
1993	<ul style="list-style-type: none"><li>● <u>Sammenligning af overensstemmelsessimuleringer [1] udført med den transiente simuleringsmodel (EMT-model). Omfang aftales med Energinet.</u></li></ul>
1994	
1995	<u>Dokumentation herfor afleveres og godkendes forud for tildeling af ION.</u>
1996	
1997	<ul style="list-style-type: none"><li>● <u>Sammenligning med måleresultater optaget i forbindelse med gennemførelsen af de påkrævede overensstemmelsesprøvninger [1] ved produktionsanlæggets idriftsættelse.</u></li></ul>
1998	<ul style="list-style-type: none"><li><ul style="list-style-type: none"><li>○ <u>Sammenligningen skal dokumenteres i henhold til kravene i afsnit 4.1.</u></li></ul></li></ul>
1999	
2000	<u>Dokumentation herfor afleveres og godkendes forud for tildeling af FON.</u>
2001	
2002	<u>For synkronne produktionsanlæg bestående af flere enkeltanlæg skal modelverifikationen gennemføres for hvert af disse enkeltanlæg.</u>
2003	
2004	
2005	<b>4.2.2.1 Påkrævet signalomfang ved verifikation af synkronne produktionsanlæg</b>
2006	<u>Som minimum skal følgende målesignaler optages i forbindelse med de gennemførte overensstemmelsesprøvninger ved produktionsanlæggets idriftsættelse til brug for den efterfølgende modelverifikation:</u>
2007	
2008	<ul style="list-style-type: none"><li>● <u>Aktiv effekt – målt i tilslutningspunktet.</u></li></ul>
2009	<ul style="list-style-type: none"><li>● <u>Reaktiv effekt – målt i tilslutningspunktet.</u></li></ul>
2010	<ul style="list-style-type: none"><li>● <u>Fasespændinger – målt i tilslutningspunktet.</u></li></ul>
2011	<ul style="list-style-type: none"><li>● <u>Fasestrømme – målt i tilslutningspunktet.</u></li></ul>
2012	<ul style="list-style-type: none"><li>● <u>Netfrekvens – målt i tilslutningspunktet.</u></li></ul>
2013	<ul style="list-style-type: none"><li>● <u>Aktiv effekt – målt ved generatorklemmerne.</u></li></ul>
2014	<ul style="list-style-type: none"><li>● <u>Reaktiv effekt – målt ved generatorklemmerne.</u></li></ul>
2015	<ul style="list-style-type: none"><li>● <u>Fasespændinger – målt ved generatorklemmerne.</u></li></ul>
2016	<ul style="list-style-type: none"><li>● <u>Fasestrømme – målt ved generatorklemmerne.</u></li></ul>
2017	<ul style="list-style-type: none"><li>● <u>Feltstrøm – målt ved generatorklemmerne (eller for magnetiseringsmaskine, hvis anvendt).</u></li></ul>
2018	<ul style="list-style-type: none"><li>● <u>Feltpænding – målt ved generatorklemmerne (eller for magnetiseringsmaskine, hvis anvendt).</u></li></ul>
2019	<ul style="list-style-type: none"><li>● <u>AVR-udgangssignaler fra dæmpetilsats (PSS) (hvis et separat signal er til rådighed).</u></li></ul>
2020	<ul style="list-style-type: none"><li>● <u>AVR-signaler (alarmer) for aktivering af begrænsarfunktioner.</u></li></ul>
2021	<ul style="list-style-type: none"><li>● <u>Generatorens omløbshastighed.</u></li></ul>
2022	<ul style="list-style-type: none"><li>● <u>Frekvensrespons for magnetiseringssystemet og dæmpetilsats (PSS) (Vt/Vref).</u></li></ul>
2023	<ul style="list-style-type: none"><li>● <u>Setpunkter for:</u></li></ul>
2024	<ul style="list-style-type: none"><li><ul style="list-style-type: none"><li>○ <u>Aktiv effektregulering.</u></li></ul></li></ul>
2025	<ul style="list-style-type: none"><li><ul style="list-style-type: none"><li>○ <u>Effektfaktor-regulering (cos φ-regulering).</u></li></ul></li></ul>
2026	<ul style="list-style-type: none"><li><ul style="list-style-type: none"><li>○ <u>Q-regulering (Mvar-regulering).</u></li></ul></li></ul>
2027	<ul style="list-style-type: none"><li><ul style="list-style-type: none"><li>○ <u>Spændingsregulering.</u></li></ul></li></ul>
2028	<ul style="list-style-type: none"><li><ul style="list-style-type: none"><li>○ <u>Frekvens- eller hastighedsregulering.</u></li></ul></li></ul>
2029	<ul style="list-style-type: none"><li>● <u>Signal for aktivering af systemværn.</u></li></ul>
2030	
2031	<b>4.2.3 Verifikationskrav til transient simuleringsmodel (EMT-model)</b>
2032	<u>Identisk med verifikationskrav til RMS-model, jf. afsnit 4.2.2.</u>

2033  
2034 **4.3 Asynkrone anlæg verificeringsprocedure**  
2035 **4.3.1 Verifikationskrav til stationær simuleringsmodel**  
2036 Verifikation er ikke påkrævet.  
2037 Dog skal det dokumenteres, at den stationære simuleringsmodel er repræsentativ for produktionsan-  
2038 læggets stationære og quasi-stationære egenskaber, hvor et særligt fokus skal rettes mod anlæggets  
2039 subtransiente og transiente kortslutningsbidrag i forbindelse med en vilkårlig fejl i det kollektive elforsy-  
2040 ningssystem.

2041  
2042 Dette gøres i forbindelse med de krævede overensstemmelsessimuleringer. Resultater fra statiske kort-  
2043 slutningsberegninger skal sammenlignes med resultater fra dynamisk simulering for udvalgte fejlhæn-  
2044 delser. Omfang aftales med Energinet.

2045  
2046 **4.3.2 Verifikationskrav til dynamisk simuleringsmodel (RMS-model)**  
2047 Simuleringsmodellen for det samlede produktionsanlæg skal verificeres af anlægsejeren, omfattende  
2048 samtlige påkrævede reguleringsformer og eftervisning af produktionsanlæggets stationære og dynami-  
2049 ske egenskaber ved påtrykning af de i afsnit 3.2.2.1 beskrevne setpunktsændringer og eksterne hændel-  
2050 ser i det kollektive elforsyningssystem.

2051  
2052 Modelverifikationen sker på baggrund af måleresultater optaget i forbindelse med prøvninger på det  
2053 samlede produktionsanlæg. Men da det ikke er muligt at teste alle egenskaber i forhold til robusthed og  
2054 eksterne hændelser, accepteres det, at dele af modelverifikationen for det samlede produktionsanlæg  
2055 foregår via verifikation af modeller for hver type enkeltanlæg indeholdt i produktionsanlægget. Verifi-  
2056 kation af modeller for enkeltanlæg foregår normalt via standardtest udført i forbindelse med certificering  
2057 og/eller typegodkendelse af det pågældende delanlæg. Ved enkeltanlæg forstås alle produktionsenhe-  
2058 der (fx én model for hver af de anvendte vindmølletyper eller solcelleinvertere) og eksterne komponen-  
2059 ter (fx én model for hver af de anvendte energilagringsenheder, eller STATCOMs etc.).

2060  
2061 For asynkrone produktionsanlæg består modelverifikationen af følgende to steps:  
2062     

- Typeverificering af modeller for enkeltanlæg. Se afsnit 4.3.2.1.

  
2063 Skal afleveres og godkendes forud for tildeling af ION.  
2064     

- Parkmodelverificering for det samlede produktionsanlæg. Se afsnit 4.3.2.2.

  
2065 Skal afleveres og godkendes forud for tildeling af FON.

2066  
2067 **4.3.2.1 Enkeltanlæg typeverificering**  
2068 Simuleringsmodel for alle typer af aktive komponenter (produktionsenheder og eksterne komponenter  
2069 som STATCOMs) skal verificeres via sammenligning med fabriks-/typetest. Det primære formål er at ve-  
2070 rificere simuleringsmodellens nøjagtighed i forhold til forstyrrelser og robusthed samt evnen til korrekt  
2071 at eftervise komponentens FRT-egenskaber. Verificering af simuleringsmodeller for enkeltanlæg skal  
2072 foregå forud for tildeling af ION, da dette er en forudsætning for at sikre validiteten af de krævede over-  
2073 ensstemmelsessimuleringer [1] af det samlede produktionsanlægs robusthed og FRT-egenskaber.

2074  
2075 For verificering af enkeltanlæg gælder følgende:  
2076     

1. Det er anlægsejers ansvar at udarbejde et oplæg for test og modelverifikation, som skal god-  
2077         kendes af Energinet.
2. Test af FRT skal overholde krav fastsat i [5] for at være gyldige.
3. Testomfang skal opfylde minimumskrav fastsat i afsnit 4.3.2.1.1.
4. Signaler inkluderet i modelverifikationen skal opfylde minimumskrav fastsat i afsnit 4.3.2.1.3.

2081  
 2082 Det kan accepteres, at typetest og verifikation af modeller for enkeltanlæg udføres i henhold til anden  
 2083 standard end kravene specificeret i dette dokument, såfremt der kan redegøres for, at standarden som  
 2084 minimum sikrer tilsvarende test af egenskaber if. afsnit 4.3.2.1.1, og at nøjagtighedskrav som minimum  
 2085 opfylder krav specificeret i afsnit 3.2.

2086  
**4.3.2.1.1 Minimum test omfang**

2088 Modelverificeringsproceduren skal som minimum dække følgende scenarier/kontrolfunktioner:

- 2089 1. Aktiv effekt setpunktsregulering.
- 2090 2. Funktioner for regulering af reaktiv effekt som anvendes på det samlede produktionsanlæg
  - 2091 a. Effektfaktor-regulering ( $\cos \phi$ -regulering).
  - 2092 b. Q-regulering (Mvar-regulering).
  - 2093 c. Spændingsregulering.
- 2094 3. LVRT.
- 2095 4. HVRT.
- 2096 5. ROCOF-robusthed.
- 2097 6. FSM (hvis funktionen anvendes på det samlede produktionsanlæg).
- 2098 7. LFSM-O (hvis funktionen anvendes på det samlede produktionsanlæg).
- 2099 8. LFSM-U (hvis funktionen anvendes på det samlede produktionsanlæg).

2100 Alle overstående tests er underlagt nøjagtighedskravene fremsat i afsnit 3.2.2.4.

2102  
**4.3.2.1.2 Enkeltanlæg testprocedure**

2104 For modelverificering af aktiv effekt setpunktsregulering gælder følgende:

- 2105 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:
  - 2106 a. Én test med opregulering på mindst 0.2 p.u.
  - 2107 b. Én test med nedregulering på mindst 0.2 p.u.
- 2108 2) Test kan udføres som en sammenhængende kørsel.
- 2109 3) Sammenligning af reaktiv effekt respons under aktiv effekt reguleringen skal være en del af modelverificeringen.
- 2110 4) Såfremt der udføres test med frekvensregulering af aktiv effekt, udgår krav om separat test af setpunktsregulering.

2114 For modelverificering af reaktiv effekt regulering gælder følgende:

- 2116 1) Der skal som minimum udføres to test, hvor disse er:
  - 2117 a. Én test med regulering af reaktiv effekt fra 0 p.u til over 0.2 p.u.
  - 2118 b. Én test med regulering af reaktiv effekt fra 0 p.u til under (-0.2) p.u.
- 2119 2) Test kan udføres med en vilkårlig af de 3 reguleringsformer:
  - 2120 a. Effektfaktor-regulering ( $\cos \phi$ -regulering).
  - 2121 b. Q-regulering (Mvar-regulering).
  - 2122 c. Spændingsregulering.
- 2123 3) Såfremt spændingsreguleringsfunktionen på enkeltanlægget anvendes i det samlede produktionsanlægs spændingsregulering, skal modelverifikation af reaktiv effekt regulering omfatte denne reguleringsform.
- 2126 4) Test skal udføres med aktiv effekt setpunkt større end 0.8 p.u.
- 2127 5) Test kan udføres som en sammenhængende kørsel.

2129 For modelverifikation af LVRT gælder følgende:

- 2130 1) Alle test starter med en spænding på 1 p.u.
- 2131 2) Test skal udføres for flere spændingsfald, hvor der varieres på størrelsen og tidsperioden for  
spændingsdykket. Som minimum skal følgende test inkluderes:
  - 2133 a. Spændingsfald til 0 p.u. (<0.05 p.u.) og tidsperiode mellem 100-150ms.
  - 2134 b. Spændingsfald til mellem 0.20 p.u. og 0.30 p.u. og tidsperiode mellem 250-500ms.
  - 2135 c. Spændingsfald til mellem 0.4 p.u. og 0.6 p.u. og tidsperiode større end 750ms.
  - 2136 d. Spændingsfald til mellem 0.8 p.u. og den valgte grænse for FRT-aktivivering, tidsperiode  
større end 1250 ms.
- 2138 3) Test specificeret i punkt 1) skal som minimum udføres for 3-fasede og 2-fasede spændingsdyk
- 2139 4) Som minimum skal alle test af 3-fasede spændingsdyk udføres for aktiv effekt reference  $P_{ref}$  på:
  - 2140 a.  $P_{ref} = 1$  p.u.
  - 2141 b.  $P_{ref} < 0.5$  p.u.
- 2142 5) Som minimum skal alle test af 2-fasede spændingsdyk udføres for aktiv effekt reference  $P_{ref}$  på:
  - 2143 a.  $P_{ref} = 1$  p.u.
- 2144 6) For anlæg, der skal levere reaktiv fejlstrøm under FRT, skal disse indstillinger anvendes:
  - 2145 a. FRT-aktivivering mellem 0.85-0.90 p.u spænding.
  - 2146 b. K-factor for indstilling af  $I_0(U)$  skal være mellem 2 – 3.
- 2147 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 si-  
muleringsmodellen er valid. Testen for validering af laveste SCR skal være med et 3-faset  
spændingsdyk under 0.5 p.u.

2152 For modelverifikation af HVRT gælder følgende:

- 2153 1) Alle test starter med en spænding på 1 p.u.
- 2154 2) Test skal udføres for flere spændingsstigninger hvor der varieres på størrelsen og tidsperioden  
for spændingsstigningen. Som minimum skal følgende test inkluderes:
  - 2155 a. Spændingsstigning til mellem 1.05 p.u. og 1.10 p.u. og tidsperiode større end 500ms.
  - 2156 b. Spændingsstigning til mellem 1.10 p.u. og 1.20 p.u. og tidsperiode større end 500ms.
- 2158 3) Test specificeret i punkt 1) skal som minimum udføres for 3-fasede og 2-fasede spændingsstig-  
ninger.
- 2159 4) Som minimum skal test alle test af 3- og 2-fasede spændingsstigninger udføres for aktiv effekt  
reference  $P_{ref}$  på:
  - 2161 a.  $P_{ref} = 1$  p.u.

2164 For modelverifikation af ROCOF-robusthed gælder følgende:

- 2165 1) Test skal udføres med frekvensændring svarende til en ROCOF på mindst 2,0 Hz/s.
- 2166 2) Test skal forgå ved at ændre den faktiske systemfrekvens.
- 2167 3) Der skal som minimum udføres 2 test, hvor disse er:
  - 2168 a. Frekvensstigning på minimum 0.5 Hz.
  - 2169 b. Frekvensfald på minimum -0.5 Hz.
- 2170 4) Det er tilladeligt at lave testen i én kontinuerlig optagelse af de påkrævede signaler.
- 2171 5) Såfremt der udføres test af frekvensregulering (FSM/LFSM), som opfylder minimumskrav til  
ROCOF, udgår krav om separat ROCOF-test.

- 2174 For modelverificering af FSM gælder følgende:
- 2175    1) LFSM-O- og LFSM-U-funktionerne må ikke aktivere under testen.
- 2176    2) Produktionsanlægget skal være indstillet i reaktiveffekt setpunktsregulering, med reaktiv set-  
        punkt = 0 p.u. i nettilslutningspunktet.
- 2177    3) Testen skal forgå ved at påtrykke produktionsanlægget step-inputs på dets frekvensfeedback-  
        signal eller ændre den faktiske systemfrekvens med alle følgende resulterende manøvreringer  
        af aktiv effekt i forhold til setpunktet ( $P_{ref}$ ):
- 2178        a. +0.1 p.u.
- 2179        b. -0.1 p.u.
- 2180        c. +0.05 p.u.
- 2181        d. -0.05 p.u.
- 2182    4) Det er tilladeligt at lave testen i én kontinuerlig optagelse af de påkrævede signaler.
- 2183
- 2184
- 2185 For modelverificering af LFSM-O gælder følgende:
- 2186    1) FSM-funktionen må ikke aktivere under testen.
- 2187    2) Produktionsanlægget skal være indstillet i reaktiveffekt setpunktsregulering, med reaktiv set-  
        punkt = 0 p.u. i nettilslutningspunktet.
- 2188    3) Testen skal forgå ved at påtrykke produktionsanlægget stepinputs på dets frekvens feedback-  
        signal eller ændre den faktiske systemfrekvens, med alle følgende resulterende manøvreringer  
        af aktiv effekt i forhold til setpunktet ( $P_{ref}$ ):
- 2189        a. -0.1 p.u.
- 2190        b. -0.2 p.u.
- 2191    4) Det er tilladeligt at lave testen i én kontinuerlig optagelse af de påkrævede signaler.
- 2192
- 2193
- 2194
- 2195
- 2196
- 2197
- 2198 For modelverificering af LFSM-U gælder følgende:
- 2199    1) FSM funktionen må ikke aktivere under testen.
- 2200    2) Produktionsanlægget skal være indstillet i reaktiv effekt setpunktsregulering, med reaktiv set-  
        punkt = 0 p.u.
- 2201    3) Testen skal forgå ved at påtrykke produktionsanlægget stepinputs på dets frekvensfeedback-  
        signal eller ændre den faktiske systemfrekvens med alle følgende resulterende manøvreringer  
        af aktiv effekt i forhold til setpunktet ( $P_{ref}$ ):
- 2202        a. +0.1 p.u.
- 2203        b. +0.2 p.u.
- 2204    4) Det er tilladeligt at lave testen i én kontinuerlig optagelse af de påkrævede signaler.
- 2205
- 2206
- 2207
- 2208

2209 4.3.2.1.3 Påkrævet signalomfang

2210 Som minimum skal følgende målesignaler optages i forbindelse med de gennemførte typetest til brug  
 2211 for den efterfølgende modelverifikation:

- 2212 • Aktiv effekt – målt ved anlæggets terminaler.
- 2213 • Reaktiv effekt – målt ved anlæggets terminaler.
- 2214 • Fasespændinger – målt ved anlæggets terminaler.
- 2215 • Fasestrømme (resulterende) – målt ved anlæggets terminaler.
- 2216 • Fasestrømme (aktiv komposant) – målt ved anlæggets terminaler.
- 2217 • Fasestrømme (reakтив komposant) – målt ved anlæggets terminaler.
- 2218 • Netfrekvens – Hvor dette er relevant.
- 2219 • Generatorens omløbshastighed – hvor dette er relevant.
- 2220 • Setpunkter for:
  - 2221 ○ Aktiv effektregulering.
  - 2222 ○ Effektfaktor-regulering (cos φ-regulering).
  - 2223 ○ Q-regulering (Mvar-regulering).
  - 2224 ○ Spændingsregulering.
  - 2225 ○ Frekvens- eller hastighedsregulering.

2227 Måling af signaler og omregning til RMS-værdier for positiv-, negativ- og nusekvens skal udføres i hen-  
 2228 hold til [5]. For asymmetriske test skal verificeringsrapporten indeholde resultater for både positiv og  
 2229 negativ sekvens.

2230 4.3.2.2 Parkmodelverificering for det samlede produktionsanlæg

2233 RMS-simuleringsmodellen for det samlede produktionsanlæg skal verificeres. Formålet med verifikatio-  
 2234 n af at eftervise simuleringsmodellens nøjagtighed i forbindelse med ændring af setpunkter for aktiv  
 2235 og reaktiv effekt, herunder også ændringer i forbindelse med spændings- og frekvenskontrol.

2237 Det er anlægsejerens ansvar at udarbejde et oplæg for test og modelverifikation, som skal godkendes af  
 2238 Energinet Systemansvar A/S/Energinet. Verificeringstestproceduren og dokumentationen er underlagt  
 2239 følgende:

2242 4.3.2.2.1 Minimum testomfang

2243 Modelverificeringsproceduren skal minimum dække følgende scenarier/kontrolfunktioner:

- 2244 1. Aktiveeffekt setpunktsregulering.
- 2245 2. FSM.
- 2246 3. FSM med overgang til LFSM-O.
- 2247 4. LFSM-O.
- 2248 5. LFSM-U.
- 2249 6. Aktiveeffekt anti-windup.
- 2250 7. Reaktiv effekt setpunktsregulering.
- 2251 8. Reaktiv effekt setpunktsregulering med samtidig aktivering af LFSM-O.
- 2252 9. Parkregulator FRT-håndtering.

2254 Energinet kan, men er ikke begrænset til, yderligere at kræve verificering af spændingsregulering, po-  
 2255 wer factor-regulering, skifte mellem reguleringsformer for reaktiv effekt, kontrolbåndsbrede og sy-  
 2256 stemværnsindgreb.

2257  
2258 Alle overstående tests er underlagt nøjagtighedskravene fremsat i afsnit 3.2.2.4.2.  
2259  
2260

#### 2261 4.3.2.2.2 AnlægsParkmodel Testprocedure-krav

2262 Generelt for modelverificering testproceduren gælder følgende:

- 2264 1. Testene skal forgå ved at påtrykke produktionsanlægget step-inputs på dets referenceind-gange eller feedbacksignaler.
- 2265 2. 95% af anlæggets samlede installerede kapacitet skal være i drift under alle tests.
- 2266 3. Energinet har ret til at foreskrive parametreringen for både parkregulator og delanlæg under parkmodelverificeringen.
- 2267 4. Alle tests skal kunne eksekveres inden for normaldriftsområdet defineret ved spændingen og frekvensen i netslutningspunktet, og inden for SCR spændetminimum og maksimum kortslutningsniveauer angivet i nettilslutningsaftalen.
- 2268 5. Ingen tests må stille særlige krav til driften af det kollektive elforsyningssystem el-nettet, med mindre dette aftales med TSO'en eller DSO'en Energinet eller den relevante systemoperatør.
- 2269 6. Alle testforløb skal påbegyndes og afsluttes med minimum tre sekunder, hvor anlægget er i en stationær tilstand.
- 2270 7. Alle tests skal som minimum udføres og dokumenteres to gange.
- 2271 8. Ved efterfølgende sammenligning af målt og simuleret respons skal simuleringsmodellen parameteres identisk med det faktiske produktionsanlæg.
- 2272 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.

2273 For modelverificering af aktiv effekt setpunktsregulering gælder følgende:

- 2274 1) Testen skal foretages med den aktiv effekt gradientbegrænsning, der forventes ved normal-drift.
- 2275 2) Produktionsanlægget skal være indstillet i reaktiveffekt setpunktsregulering med reaktiv set-punkt = 0 p.u. i nettilslutningspunktet.
- 2276 3) Testen skal forgå ved at påtrykke produktionsanlægget et eller flere step-input på dets aktiv effekt referenceindgangssignal.
- 2277 4) Testen skal minimum manøvrere med 20% af Pn.
- 2278 5) Aktiv effekt referencen skal til enhver tid forblive 10% af Pn under den tilrådelige effekt.

2279 For modelverificering af FSM gælder følgende:

- 2280 5) Parametreringen af FSM-funktionen skal for alle parametre være inden for spændet angivet i [8PFG REFERENCE].
- 2281 6) LFSM-O- og LFSM-U-funktionerne må ikke aktivere under testen.
- 2282 7) Produktionsanlægget skal være indstillet i reaktiv effekt setpunktsregulering med reaktiv set-punkt = 0 p.u. i nettilslutningspunktet.
- 2283 8) Testen skal forgå ved at påtrykke produktionsanlægget step-inputs på dets frekvensreference eller frekvensfeedbacksignal med alle følgende resulterende manøvringer af aktiv effekt i forhold til setpunktet ( $P_{ref}$ ): +10%Pn, -10%Pn, +5%Pn og -5%Pn.
- 2284 9) Det er tilladeligt at lave testen i én kontinuerlig optagelse af de påkrævede signaler.
- 2285 10) Aktiv effekt setpunktet (internt, som funktion af frekvensen) skal til enhver tid forblive 10% af Pn under den tilrådelige effekt.

2306 For modelverificering af FSM med overgang til LFSM-O gælder følgende:

- 2307 1) Parametreringen af FSM-funktionen og LFSM-O-funktionen skal for alle parametre være inden  
2308 for spændet angivet i [8RFG REFERENCE].
- 2309 2) Produktionsanlægget skal være indstillet i reaktiveffekt setpunktsregulering, med reaktiv set-  
2310 punkt = 0 p.u. i nettilslutningspunktet.
- 2311 3) Testen skal forgå ved at påtrykke produktionsanlægget et eller flere step-input på dets fre-  
2312 kvensreference eller frekvensfeedbacksignal, så der minimum manøvreres med -10%Pn af  
2313 FSM-funktionen og -10%Pn af LFSM-O-funktionen. Dvs. en samlet minimum manøvrering  
2314 på -20%Pn.
- 2315 4) Det er tilladeligt at lave testen i én kontinuerlig optagelse af de påkrævede signaler.
- 2316 5) Aktiv effekt setpunktet (internt, som funktion af frekvensen) skal til enhver tid forblive 10% af  
2317 Pn under den tilrådelige effekt.

2318

2319 For modelverificering af LFSM-O gælder følgende:

- 2320 5) Parametreringen af LFSM-O-funktionen skal for alle parametre være indenfor spændet angivet  
2321 i [8RFG REFERENCE].
- 2322 6) FSM-funktionen må ikke aktivere under testen.
- 2323 7) Produktionsanlægget skal være indstillet i reaktiveffekt setpunktsregulering med reaktiv set-  
2324 punkt = 0 p.u. i nettilslutningspunktet.
- 2325 8) Testen skal forgå ved at påtrykke produktionsanlægget step-inputs på dets frekvensreference  
2326 eller frekvensfeedbacksignal med alle følgende resulterende manøvringer af aktiv effekt i  
2327 forhold til setpunktet ( $P_{ref}$ ): -10%Pn og -20%Pn.
- 2328 9) Det er tilladeligt at lave testen i én kontinuerlig optagelse af de påkrævede signaler.
- 2329 10) Aktiv effekt setpunktet (internt, som funktion af frekvensen) skal til enhver tid forblive 10% af  
2330 Pn under den tilrådelige effekt.

2331

2332 For modelverificering af LFSM-U gælder følgende:

- 2333 5) Parametreringen af LFSM-U-funktionen skal for alle parametre være inden for spændet angivet  
2334 i [8RFG REFERENCE].
- 2335 6) FSM-funktionen må ikke aktivere under testen.
- 2336 7) Produktionsanlægget skal være indstillet i reaktiveffekt setpunktsregulering med reaktivset-  
2337 punkt = 0 p.u. i nettilslutningspunktet.
- 2338 8) Testen skal forgå ved at påtrykke produktionsanlægget step-inputs på dets frekvensreference  
2339 eller frekvensfeedbacksignal, med alle følgende resulterende manøvringer af aktiv effekt i  
2340 forhold til setpunktet ( $P_{ref}$ ): 10%Pn og 20%Pn.
- 2341 9) Det er tilladeligt at lave testen i én kontinuerlig optagelse af de påkrævede signaler.
- 2342 10) Aktiv effekt setpunktet (internt, som funktion af frekvensen) skal til enhver tid forblive 10% af  
2343 Pn under den tilrådelige effekt.

2344

2345 For modelverificering af aktiv effekt anti-wind-up gælder følgende:

- 2346 1) Parametreringen af LFSM-O-funktionen skal for alle parametre være inden for spændet angivet i [8RFG REFERENCE].
- 2347 2) Den tilrådige effekt skal være mellem 20%Pn og 80% Pn.
- 2348 3) Produktionsanlægget skal være indstillet i reaktiv effekt setpunktsregulering med reaktiv setpunkt = 0 p.u. i nettilslutningspunktet.
- 2349 4) Produktionsanlægget skal i minimum fem minutter inden teststart og under hele testen være konstant påtrykt 100% Pn på aktiv effekt-referencen.
- 2350 5) Testen skal forgå ved at påtrykke produktionsanlægget step-inputs på dets frekvensreference eller frekvensfeedbacksignal, så der manøvreres med -20%Pn.
- 2351 6) Under sammenligningen er det tilladeligt at tilbagespille det målte aktiv -effekt feedbacksignal til park-regulatoren, som syntetisk feedbacksignal til park-regulatormodellen i den samlede RMS-simuleringsmodel.

2352 For modelverificering af reaktiv effekt setpunktsregulering gælder følgende:

- 2353 1) Testen skal forgå ved at påtrykke produktionsanlægget minimum fem step-input på dets reaktiv effekt referenceindgangsignal.
- 2354 2) Minimum to påtrykte steps skal manøvrere med mellem  $\pm 10\%$  og  $\pm 15\%$  af Pn. Det er tilladeligt at gå fra over-eksiteret til under-eksiteret med ét step.
- 2355 3) Minimum tre påtrykte steps skal manøvrere med minimum  $\pm 30\%$  af Pn. Det er tilladeligt at gå fra over-eksiteret til under-eksiteret med ét step.
- 2356 4) Det er tilladeligt at lave testen i én kontinuerlig optagelse af de påkrævede signaler.

2357 For modelverificering af reaktiveffekt setpunktsregulering med samtidig aktivering af LFSM-O gælder følgende:

- 2358 1) Parametreringen af LFSM-O-funktionen skal for alle parametere være inden for spændet angivet i [8RFG REFERENCE].
- 2359 2) Testen skal forgå 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.
- 2360 3) Reaktiv effekt referenceindgangssignalet skal minimum manøvrere med  $\pm 30\%$  af Pn. Det er tilladeligt at gå fra over-eksiteret til under-eksiteret.
- 2361 4) Aktiveringens af LFSM-O skal mindst resultere i en manøvrering af aktiv effekt på -20%Pn.
- 2362 5) Aktiv effekt setpunktet (internt, som funktion af frekvensen) skal til enhver tid forblive 10% af Pn under den tilrådelige effekt.

2363 For modelverificering af Parkregulatorens FRT-håndtering gælder følgende:

- 2364 1) Parametreringen af eventuelle FRT-dtekterings-/håndteringsfunktioner skal være som forventet ved normaldrift.
- 2365 2) Testen skal foretages med den aktiv effekt gradientbegrænsning, der forventes ved normal-drift.
- 2366 3) Testen skal forgå ved at påtrykke produktionsanlægget et step-input på dets aktiv effekt referenceindgangssignal, der manøvrerer anlægget fra 0%Pn til 20%Pn. Idet anlægget er 50% indreguleret, skal parkregulator-FRT-håndteringen aktiveres i fem sekunder.
- 2367 4) Denne test kan udføres enten ved idriftsættelse af produktionsanlægget eller via hardware-in-loop test på den anvendte parkregulator.

2392  
2393 For modelverificering af kontrolbåndbrede gælder følgende:  
2394 Modelvalideringsproceduren skal indeholde tests der dækker hele anlæggets kontrol båndbrede for  
2395 både aktiv effekt og reaktiv effekt kontrol funktioner.  
2396 Det er anlægsejers ansvar at designe sådan test, og bevise dynamisk økvivalens med anlæggets hurtige  
2397 ste reaktion på en setpunktsændring (manuel eller automatisk).  
2398 Eksempel: Et anlæg har absolut den hurtigste kontrol reaktion når park regulatoren er indstillet til spændingskontrol og anlægget operere i svageste net tilstand (laveste SCR). Da en test af dette er praktisk  
2399 umuligt, indstilles parkregulatoren under testen med kontrol forstærkninger der giver anlægget en ligeså  
2400 stor båndbrede ved reaktiv setpunkts regulering. Derefter foretages samme testprocedure som for model-  
2401 validering af reaktiveffekt setpunktsregulering.

2402 **4.3.2.2.3 Påkrævet signalomfang ved verifikation af asynkrone produktionsanlæg**

2403 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:

2404     1. Aktiv effekt-udveksling i nettislutningspunktet.  
2405     2. Reaktiv effekt i nettislutningspunktet.  
2406     3. RMS-strømmen i hver af de tre faser.  
2407     4. RMS-spændingen i nettislutningspunktet (alle tre fase-fase-spændinger).  
2408     5. Netfrekvensen.  
2409     6. Tap-positionen for samtlige af anlæggets online-tap-changere.  
2410         Samtlige indgangssignaler til den centrale parkregulator.  
2411     7. Efter aftale med Energinet kan irrelevante signaler udelades. Er definitionen af det præcise signal uklar, fx ved atypiske kontrol-strukturer, skal det afklares med Energinet.  
2412         Samtlige udgangssignaler fra den centrale parkregulator.  
2413     8. Efter aftale med Energinet kan irrelevante signaler udelades. Er definitionen af det præcise signal uklar, fx ved atypiske kontrol-strukturer, skal det afklares med Energinet.

2414 For punkt 7 og 8 kan signaler undlades for reguleringsfunktioner, der styres af park-regulatoren, såfremt der foreligger en modelvalidering/erificering på parkregulatorniveau, og denne kan accepteres efter en ingenør-teknisk gennemgang foretaget af Energinet.

2415 Ethvert signal og enhver parameter, der manipuleres under testene, skal optages med en sampletid på maksimum 10ms. Dette gælder fx produktionsanlæggets referenceindgange. Alle andre signaler og parametre skal indgå i en parameterudskrift, der vedlægger hver test.

2416 Måleudstyr, resultatbehandling og testopstilling skal leve op til kravene defineret i 61400-21-1-[5].

2417  
2418  
2419  
2420  
2421  
2422  
2423  
2424  
2425  
2426  
2427  
2428  
2429  
2430  
2431  
2432  
2433  
2434 Nævn standard for måling 61400-21-2 skal tilføjes som kilde (måske vi kun skal henvise til 61400-21-1.)  
2435 den anden er ikke udgivet.

2436 **4.3.3 Verifikationskrav til transient simuleringsmodel (EMT-model)**

2437 Identisk med verifikationskrav til RMS-model, jf. afsnit 4.3.2.

2438

2439 På nær krav til signalomfang ved typeverificering af enkeltanlæg (afsnit 4.3.2.1.3) er udvidet til også at  
 2440 gælde følgende signaler, hvis relevant:

- 2441 • Spændingsmåling i dq-domænet fra anlæggets interne kontrol opdelt i  $U_d$  og  $U_q$ .
- 2442 • Strømmåling i dq-domænet fra anlæggets interne kontrol opdelt i  $I_d$  og  $I_q$ . Disse er underlagt  
 2443 nøjagtighedskrav som fastsat i afsnit 3.2.3.4.
- 2444 • Øjebliksfasespændinger – målt ved anlæggets terminaler.
  - 2445 ○ Skal kun inkluderes for LVRT-test.
  - 2446 ○ Øjebliksværdierne skal inkluderes for vinduerne:
    - 2447 ■ To perioder før spændingsfald ( $t_{fault}$  jf. [6]) til fem perioder efter.
    - 2448 ■ To perioder før spændingsstigning ( $t_{clear}$  jf. [6]) til fem perioder efter.
- 2449 • Øjebliksfasestrømme – målt ved anlæggets terminaler.
  - 2450 ○ Skal kun inkluderes for LVRT-test.
  - 2451 ○ Øjebliksværdierne skal inkluderes for vinduerne:
    - 2452 ■ To perioder før spændingsfald ( $t_{fault}$  jf. [6]) til fem perioder efter.
    - 2453 ■ To perioder før spændingsstigning ( $t_{clear}$  jf. [6]) til fem perioder efter.

#### 2454 4.3.4 Verifikationskrav til harmonisk simuleringsmodel

2455 Intet krav om modelverifikation.

2456 Gammel tekst: Anlægsejeren skal sikre, at simuleringsmodellerne er verificeret [1]. Anlægsejeren er an-  
 2457 svarlig for al udførelse af test til modelverifikation, herunder fremskaffelse af nødvendigt måleudstyr,  
 2458 dataloggere og personel. Anlægsejeren er desuden ansvarlig for gennemførelse og dokumentation af  
 2459 den påkrævede modelverifikation, herunder dokumentation af overholdelse af de definerede nøjagtig-  
 2460 hedskrav til simuleringsmodellen.

2461 Den praktiske udførelse af overensstemmelsesprøvninger skal ske som specificeret i [1], hvor omfanget  
 2462 af modelverifikationen fastlægges i samarbejde med den systemansvarlige virksomhed Energinet Sy-  
 2463 stemansvar A/S, efter oplæg fra anlægsejeren.

2464 Anlægsejeren skal dokumentere målingerne anvendt til verifikation af simuleringsmodellen for produk-  
 2465 tionsanlægget i form af en rapport indeholdende beskrivelser af hvert datasæt, herunder det anvendte  
 2466 måleudstyr og den efterfølgende databehandling, samt randbetingelser for de gennemførte overens-  
 2467 stemmelsesprøvninger og årsag til eventuelle afvigelser i forhold til de specificerede randbetingelser.  
 2468 Måleresultater sammenholdes med de tilsvarende simulerede resultater og simuleringsmodellens nøj-  
 2469 agtighed dokumenteres i form af en verifikationsrapport. Modelverifikationsproceduren betragtes først  
 2470 som afsluttet, når den systemansvarlige virksomhed Energinet Systemansvar A/S har godkendt den af  
 2471 anlægsejeren fremsendte modelverifikationsrapport.

2472 Tidsseriemålingerne anvendt til verifikation af simuleringsmodellen skal vedlægges verifikationsrappor-  
 2473 ten i CSV format (comma-separated values).

##### 2474 4.1.1 Verifikationskrav til stationær simuleringsmodel (stationære og kortslutningsforhold)

2475 Verifikation er ikke påkrævet; dog skal det dokumenteres, at den stationære simuleringsmodel er re-  
 2476 præsentativ for produktionsanlæggets stationære og quasi stationære egenskaber, hvor et særligt fo-  
 2477 kus skal rettes mod anlæggets subtransiente og transiente kortslutningsbidrag i forbindelse med en vil-  
 2478 kårlig fejl i det kollektive elforsyningssystemelforsyningssystem.

2485 **4.1.2 Verifikationskrav til dynamisk simuleringsmodel (RMS model)**

2486 Simuleringsmodellen skal verificeres af anlægsejeren for det samlede produktionsanlæg omfattende  
 2487 samtlige påkrævede reguleringsformer og eftervisning af produktionsanlæggets stationære og dynami-  
 2488 ske egenskaber ved påtrykning af de i Afsnit 3.1.2 og Afsnit 3.2.2 beskrevne setpunktsændringer og eks-  
 2489 terne hændelser i det kollektive elforsyningssystem.

2490  
 2491 Mødelverifikationen sker på baggrund af måleresultater optaget i forbindelse med gennemførelsen af  
 2492 typetest eller de påkrævede overensstemmelsesprøvninger ved produktionsanlæggets idriftsættelse  
 2493 eller ved kombination af disse, således de opstillede funktionskrav til, og nøjagtigheden af, den påkra-  
 2494 vede simuleringsmodel kan verificeres.

2495  
 2496 For synkrone produktionsanlæg bestående af flere enkeltanlæg skal mødelverifikationen gennemføres  
 2497 for hvert at disse enkeltanlæg.

2498  
 2499 For asynkrone produktionsanlæg, der består af flere enkeltanlæg, indeholder centrale kontrol, beskyt-  
 2500 telses, og reguleringsfunktioner eller anvender eventuelle eksterne komponenter, og dermed fremstår  
 2501 som et aggregeret produktionsanlæg i nettilslutningspunkt tilslutningspunktet, skal mødelverifikationen  
 2502 gennemføres på aggregeret niveau og dermed repræsentere produktionsanlæggets samlede egenska-  
 2503 ber i nettilslutningspunkt tilslutningspunktet. For denne type produktionsanlæg kræves, jf. Afsnit 2, indi-  
 2504 viduelle simuleringsmodeller for hver type enkeltanlæg (fx én model for hver af de anvendte vindmølle-  
 2505 typer) og eksterne komponenter (fx én model for hver af de anvendte energilagringenheder etc.),  
 2506 hvorfor mødeldannelsen af disse enkeltanlæg og eksterne komponenter skal verificeres enkeltvis.

2507  
 2508 **4.1.2.1 Særlige forhold vedrørende mødelverifikation af asynkrone produktionsanlæg (Type C)**

2509 For asynkrone produktionsanlæg (Type C) er der som udgangspunkt ikke krav om mødelverifikation på  
 2510 aggregeret niveau i nettilslutningspunkt tilslutningspunktet. Modelverifikationen for denne type produk-  
 2511 tionsanlæg kan ske i form af en (certificeret) typetest af et enkeltanlæg eller ved gennemførelse af de  
 2512 påkrævede overensstemmelsesprøvninger ved produktionsanlæggets idriftsættelse.

2513  
 2514 For asynkrone produktionsanlæg (Type C), hvor der anvendes eksterne komponenter, fx STATCOMs el-  
 2515 ler energilagringenheder, eller hvor der anvendes site specifikke funktioner for produktionsanlæggets  
 2516 kontrol, beskyttelses, og reguleringsfunktioner, herunder parkregulator, skal mødelverifikationen gen-  
 2517 nemføres på aggregeret niveau og dermed repræsentere produktionsanlæggets samlede egenskaber i  
 2518 nettilslutningspunkt tilslutningspunktet, jf. Afsnit 4.1.2.

2519  
 2520 **4.1.2.2 Påkrævet signalomfang ved verifikation af synkrone produktionsanlæg**

2521 Som minimum skal følgende målesignaler optages i forbindelse med de gennemførte overensstemmel-  
 2522 sesprøvninger ved produktionsanlæggets idriftsættelse til brug for den efterfølgende mødelverifikation:

- 2523  
 2524 • Aktiv effekt – målt i nettilslutningspunkt tilslutningspunktet.  
 2525 • Reaktiv effekt – målt i nettilslutningspunkt tilslutningspunktet.  
 2526 • Fasespændinger – målt i nettilslutningspunkt tilslutningspunktet.  
 2527 • Fasestrømme – målt i nettilslutningspunkt tilslutningspunktet.  
 2528 • Netfrekvens – målt i nettilslutningspunkt tilslutningspunktet.  
 2529 • Aktiv effekt – målt ved generatorklemmerne.  
 2530 • Reaktiv effekt – målt ved generatorklemmerne.  
 2531 • Fasespændinger – målt ved generatorklemmerne.  
 2532 • Fasestrømme – målt ved generatorklemmerne.

- 2533 • ~~Feltstrøm~~ – målt ved generatorklemmerne (eller for magnetiseringsmaskine, hvis anvendt).
- 2534 • ~~Feltspænding~~ – målt ved generatorklemmerne (eller for magnetiseringsmaskine, hvis anvendt).
- 2535 • ~~AVR udgangssignaler fra dæmpetilsats (PSS)~~ (hvis et separat signal er til rådighed).
- 2536 • ~~AVR signaler (alarmer) for aktivering af begrænsarfunktioner.~~
- 2537 • ~~Generatorens omløbshastighed.~~
- 2538 • ~~Frekvensrespons for magnetiseringssystemet og dæmpetilsats (PSS) ( $V_t/V_{ref}$ ).~~
- 2539 • ~~Setpunkter for:~~
  - 2540     ○ ~~Aktiv effektregulering.~~
  - 2541     ○ ~~Effektfaktor regulering ( $\cos \phi$  regulering).~~
  - 2542     ○ ~~Q regulering (Mvar regulering).~~
  - 2543     ○ ~~Spændingsregulering.~~
  - 2544     ○ ~~Frekvens eller hastighedsregulering.~~
- 2545 • ~~Signal for aktivering af systemværn.~~

#### **4.1.2.3 Påkrævet signalomfang ved verifikation af asynkrone produktionsanlæg**

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

- 2551 • ~~Aktiv effekt~~ – målt i nettilslutningspunkt~~tilslutningspunktet~~.
- 2552 • ~~Reaktiv effekt~~ – målt i nettilslutningspunkt~~tilslutningspunktet~~.
- 2553 • ~~Fasespændinger~~ – målt i nettilslutningspunkt~~tilslutningspunktet~~.
- 2554 • ~~Fasestrømme~~ – målt i nettilslutningspunkt~~tilslutningspunktet~~.
- 2555 • ~~Netfrekvens~~ – målt i nettilslutningspunkt~~tilslutningspunktet~~.
- 2556 • ~~Aktiv effekt~~ – målt ved primærsiden af maskintransformer.
- 2557 • ~~Reaktiv effekt~~ – målt ved primærsiden af maskintransformer.
- 2558 • ~~Fasespændinger~~ – målt ved primærsiden af maskintransformer.
- 2559 • ~~Fasestrømme (resulterende)~~ – målt ved primærsiden af maskintransformer.
- 2560 • ~~Fasestrømme (aktiv komposant)~~ – målt ved primærsiden af maskintransformer.
- 2561 • ~~Fasestrømme (reakтив komposant)~~ – målt ved primærsiden af maskintransformer.
- 2562 • ~~Kontrolsignaler (alarmer) for aktivering af *fault ride through* funktioner.~~
- 2563 • ~~Generatorens omløbshastighed~~ – hvor dette er relevant.
- 2564 • ~~Setpunkter for:~~
  - 2565     ○ ~~Aktiv effektregulering.~~
  - 2566     ○ ~~Effektfaktor regulering ( $\cos \phi$  regulering).~~
  - 2567     ○ ~~Q regulering (Mvar regulering).~~
  - 2568     ○ ~~Spændingsregulering.~~
  - 2569     ○ ~~Frekvens eller hastighedsregulering.~~
- 2570 • ~~Signal for aktivering af systemværn.~~
- 2571 • ~~Andre specifikke krav for signaler identificeret af systemoperatøren.~~

#### **4.1.3 Verifikationskrav til transient simuleringsmodel (EMT model)**

Identisk med verifikationskrav til RMS model, jf. Afsnit 4.1.2.

#### **4.1.4 Verifikationskrav til harmonisk simuleringsmodel**

Intet krav om modelverifikation.

2580 5. Referencer

2581

- 2582 1. Kommissionens Forordning (EU) 2016/631 af 14. april 2016 om fastsættelse af netregler om  
2583 krav til produktionsanlæg.
- 2584 2. IEEE Standard 421.5: Recommended Practice for Excitation System Models for Power System  
2585 Stability Studies.
- 2586 3. IEEE Dynamic Models for Turbine-Governors in Power System Studies PES-TR1.
- 2587 4. P. Kundur, Power System Stability and Control, McGraw-Hill, 1994.
- 2588 5. IEC 61400-21: Wind turbines - Part 21: Measurement and assessment of power quality charac-  
2589 teristics of grid connected wind turbines.
- 2590 6. IEC 61400-27-2: Wind turbines – Part 27-2: Electrical simulation models – Model validation.
- 2591 7. IEC 61000-3-6: Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-6: Limits - Assessment of emission  
2592 limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems.
- 2593 7.8. RFG-Bilag 1, Krav fastsat i henhold til EU-forordning 2016/631 (RFG).

2594

HØRNING

## 2595 Bilag 1

2596

### 2597 Synkrone produktionsanlæg

2598 Signaler omfattet af modelverifikationskravet:

2599

- 2600 • Aktiv effekt – målt i nettilslutningspunkt~~tilslutningspunkt~~tet.
- 2601 • Reaktiv effekt – målt i nettilslutningspunkt~~tilslutningspunkt~~tet.
- 2602 • Fasespændinger – målt i nettilslutningspunkt~~tilslutningspunkt~~tet.
- 2603 • Fasestrømme – målt i nettilslutningspunkt~~tilslutningspunkt~~tet.
- 2604 • Feltstrøm – målt ved generatorklemmerne (eller for magnetiseringsmaskine, hvis anvendt).
- 2605 • Feltspænding - målt ved generatorklemmerne (eller for magnetiseringsmaskine, hvis anvendt).
- 2606 • Generatorens omløbshastighed.
- 2607 • Frekvensrespons for kontrol- og reguleringssystemmodeller.

2608

### 2609 Asynkrone produktionsanlæg

2610 Signaler omfattet af modelverifikationskravet:

2611

- 2612 • Aktiv effekt – målt i nettilslutningspunkt~~tilslutningspunkt~~tet (eller ved primærsiden af maskintransformer ved typetest).
- 2614 • Reaktiv effekt – målt i nettilslutningspunkt~~tilslutningspunkt~~tet (eller ved primærsiden af maskintransformer ved typetest).
- 2616 • Fasestrømme (aktiv komposant) – målt i nettilslutningspunkt~~tilslutningspunkt~~tet (eller ved primærsiden af maskintransformer ved typetest). Kun relevant for nøjagtighedskrav i forbindelse med momentane spændingsændringer.
- 2619 •
- 2620 • Fasestrømme (reakтив komposant) – målt i nettilslutningspunkt~~tilslutningspunkt~~tet (eller ved primærsiden af maskintransformer ved typetest). Kun relevant for nøjagtighedskrav i forbindelse med momentane spændingsændringer.
- 2623 •