

1
2
3
4
5
6
7

BILAG 1B

REQUIREMENTS FOR GENERATORS (RFG)

- KRAV TIL SIMULERINGSMODEL

ENERGINET
Elsystemansvar

Energinet
Tonne Kjærsvvej 65
DK-7000 Fredericia

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

Dato:
3. juni 2022

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

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

9
10
11

AFSNIT	TEKST	REVISION	DATO
Alle	Krav om levering af simuleringmodeller til Energinet for C-anlæg mellem 10-25 MW fjernet for synkrone og asynkrone produktionsanlæg. Krav til levering af simuleringmodeller til Energinet for D-anlæg fastholdt, udvidet og præciseret. Krav for D-anlæg udvidet med levering af EMT-simuleringmodel for synkrone produktionsanlæg. Øvrige præciseringer og opdateringer samt strukturodateringer.	3	25.05.2022
2 Alle	Tabel 1: produktionsanlægstype C nærmere specificeret Redaktionelle rettelser, krydshenvisninger klikbare	2	22.10.2020
3.2.2.1.1	Opdatering ifm. Forsyningstilsynets godkendelse af indsendte krav (beskrivelse af anvendelsen af per unit værdier, Tabel 2)	1	13.11.2018

12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26

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

Dokumentet beskriver:

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

27	Indhold	
28	1. Baggrund	3
29	2. Generelle krav til simuleringsmodel	3
30	2.1 Overordnet dokumentationskrav	4
31	2.2 Proces for levering af simuleringsmodeller og relateret dokumentation.	5
32	3. Modeltekniske krav	6
33	3.1 Synkrone produktionsanlæg	6
34	3.1.1 Krav til stationær simuleringsmodel	
35	(stationære forhold og kortslutningsforhold)	6
36	3.1.2 Krav til dynamisk simuleringsmodel (RMS-model)	7
37	3.1.3 Krav til transient simuleringsmodel (EMT-model)	14
38	3.1.4 Krav til harmonisk simuleringsmodel	18
39	3.2 Asynkrone produktionsanlæg	19
40	3.2.1 Krav til stationær simuleringsmodel	
41	(stationære forhold og kortslutningsforhold)	19
42	3.2.2 Krav til dynamisk simuleringsmodel (RMS-model)	20
43	3.2.3 Krav til transient simuleringsmodel (EMT-model)	29
44	3.2.4 Krav til harmonisk simuleringsmodel	34
45	3.2.5 Aggregering af modeller for produktionsanlæg	36
46	4. Verifikation af simuleringsmodel	37
47	4.1 Dokumentationskrav	37
48	4.1.1 Evalueringskriterier	37
49	4.1.2 Testoplæg for modelverifikation	38
50	4.2 Synkrone anlæg verificeringsprocedure	38
51	4.2.1 Verifikationskrav til stationær simuleringsmodel	38
52	4.2.2 Verifikationskrav til dynamisk simuleringsmodel (RMS-model)	39
53	4.2.3 Verifikationskrav til transient simuleringsmodel (EMT-model)	39
54	4.3 Asynkrone anlæg verificeringsprocedure	40
55	4.3.1 Verifikationskrav til stationær simuleringsmodel	40
56	4.3.2 Verifikationskrav til dynamisk simuleringsmodel (RMS-model)	40
57	4.3.3 Verifikationskrav til transient simuleringsmodel (EMT-model)	48
58	4.3.4 Verifikationskrav til harmonisk simuleringsmodel	48
59	5. Referencer	49
60	Bilag 1	50
61		
62		
63		

64 1. Baggrund

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

69
70 Til analyseformål vedrørende planlægning, design og drift af det kollektive elforsyningssystem har Ener-
71 ginet behov for at kunne gennemføre net- og systemanalyser. For at dette kan gøres retvisende, kræves
72 opdaterede og validerede simuleringsmodeller af alle større anlæg tilsluttet det kollektive elforsynings-
73 system. De krævede simuleringsmodellers anvendelse kan opsummeres til tre formål: anlægscompli-
74 ance, systemintegrationsstudier og løbende systemevaluering. **Anlægscompliance** verificeres via simule-
75 ring forud for idriftsættelse af ny produktionsanlæg, således at anlæggets robusthed eftervises, og det
76 sikres, at produktionsanlægget ikke har en negativ påvirkning på forsyningssikkerheden af det kollektive
77 elforsyningssystem. **Systemintegrationsstudier** udføres af Energinet i forbindelse med idriftsættelse af
78 nye produktionsanlæg og skal sikre korrekt funktionalitet mellem alle anlæg i det kollektive elforsy-
79 ningssystem. **Systemevaluering** giver løbende kontrol af elsystemet som en helhed og bliver realiseret
80 ved, at alle produktionsanlæg inkluderet i Energinets net- og systemmodel automatisk indgår i diverse
81 systemkritiske analyser. Dermed sikres den løbende kontrol af anlæggets compliance over hele produk-
82 tionsanlæggets levetid.

83
84 Simuleringsmodellerne benyttes til analyse af transmissions- og distributionsnettets stationære og dy-
85 namiske forhold, herunder spændings-, frekvens- og rotorvinkelstabilitet, kortslutningsforhold, transi-
86 ente fænomener samt harmoniske forhold.

87
88 Hjemlen til at fastsætte krav til simuleringsmodeller er givet i EU-forordningen om fastsættelse af net-
89 regler om krav til produktionsanlæg [1]. Energinet har ved kravfastsættelsen i størst muligt omfang refe-
90 reret til internationale standarder, så anvendte definitioner og procedurer er i overensstemmelse med
91 internationale standarder.

92

93 2. Generelle krav til simuleringsmodel

94 Anlægssejeren skal stille simuleringsmodeller til rådighed for Energinet [1], hvor disse simuleringsmodel-
95 ler på korrekt vis skal afspejle produktionsanlæggets egenskaber både i stationær og quasi-stationær
96 tilstand. Til brug ved tidsdomæneanalyser skal anlægssejeren desuden stille en dynamisk simuleringsmo-
97 del (RMS-model) og en transient simuleringsmodel (EMT-model) til rådighed for Energinet. Til analyse af
98 harmoniske forhold i det kollektive elforsyningssystem, herunder produktionsanlæggets bidrag til har-
99 monisk emission i tilslutningspunktet, skal anlægssejeren ligeledes stille en harmonisk simuleringsmodel
100 til rådighed.

101

102 Kravet til simuleringsmodeller og leveringsomfang for de enkelte typer af produktionsanlæg [1] fremgår
103 af Tabel 1. Anlægssejeren er ansvarlig for, at en sådan modelfremsendelse finder sted til rette tid i hen-
104 hold til den gældende procedure for nettilslutning af produktionsanlæg og under iagttagelse af gæl-
105 dende lovgivning og regulering i øvrigt.

106

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

107 *Tabel 1 Krav til simuleringmodeller for de enkelte typer af produktionsanlæg.*

108
109 Anlægssejeren skal sikre, at simuleringmodellerne er verificeret med resultaterne af de definerede
110 overensstemmelsesprøvninger [1] samt relevante test- og verifikationsstandarder, og skal fremsende
111 den nødvendige dokumentation herfor.

112
113 Såfremt produktionsanlægget indeholder eksterne komponenter, fx af hensyn til overholdelse af nettil-
114 slutningskravene eller til levering af kommercielle systemydelser, skal simuleringmodellen indeholde
115 den nødvendige repræsentation af disse komponenter gældende for alle påkrævede modeltyper.

116
117 Anlægssejeren skal, fra produktionsanlæggets designfase til tidspunktet for Energinets udstedelse af en-
118 delig driftstilladelse (FON), løbende holde Energinet orienteret, hvis de foreløbige anlægs- og model-
119 data ikke længere kan antages at repræsentere det endeligt idriftsatte produktionsanlæg.

120
121 For et eksisterende produktionsanlæg, hvor der foretages *væsentlige ændringer* [1] af produktionsan-
122 læggets egenskaber, skal anlægssejeren stille en opdateret¹ og dokumenteret simuleringmodel til rådigh-
123 ed for det ombyggede anlæg.

124
125 Modelleverancen betragtes først som afsluttet, når Energinet har godkendt de af anlægssejeren frem-
126 sendte simuleringmodeller og den påkrævede dokumentation.

127

128 2.1 Overordnet dokumentationskrav

129 For at sikre korrekt modelanvendelse, skal de påkrævede simuleringmodeller dokumenteres i form af en
130 brugervejledning. Krav for brugervejledningen er inkluderet i de respektive afsnit for modeltype i inde-
131 værende dokument. Der skal være entydig versionsstyring af simuleringmodellen og den tilhørende do-
132 kumentation.

133
134 Foruden simuleringmodel og brugervejledning skal følgende dokumentation leveres:

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

141

¹ Den nødvendige modelopdatering omfatter kun de udskiftede anlægskomponenter eller systemer til kontrol, regulering eller anlægsbeskyttelse, idet det antages, at Energinet i udgangspunktet har en gyldig simuleringmodel for det pågældende produktionsanlæg. Hvor dette ikke er tilfældet, vil en væsentlig ændring af produktionsanlægget medføre krav om en komplet og fuldt dokumenteret simuleringmodel i henhold til denne modelkravspecifikation.

142 2.2 Proces for levering af simuleringsmodeller og relateret dokumentation.

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

146

147 Inden tildeling af EON:

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

149

150 Inden tildeling af ION:

- 151 • Harmonisk model for enkeltenheder og aggregeret anlægsmodel samt:

- 152 ○ Modelvejledning.
- 153 ○ Modelbeskrivelse og datablade for komponenter for det fulde anlæg.
- 154 ○ Studie, der påviser, at elkvalitetskrav overholdes.
- 155 ○ Valideringsrapport for harmonisk emission og impedanser for aktive komponenter
156 (typetest).

- 157 • Modelverifikationsrapport for typetest på enkeltanlæg med sammenligning mellem målinger
158 og simuleringresultater fra tilhørende RMS- og EMT-model af komponenten, se afsnit 4 (ikke
159 relevant for synkron anlæg).

- 160 • Statisk simuleringsmodel af det aggregerede anlæg samt tilhørende modeldokumentationsrap-
161 port. (Såfremt den stationære simuleringsmodel er identisk med den dynamiske simulering-
162 model, bortfalder kravet om en separat stationær simuleringsmodel).

- 163 • Dynamisk RMS-simuleringmodel af det aggregerede anlæg samt tilhørende modeldokumenta-
164 tionsrapport.

- 165 • Transient EMT-simuleringmodel af det aggregerede anlæg samt tilhørende modeldokumenta-
166 tionsrapport.

- 167 • Compliance-simuleringrapport, der sammenligner RMS- og EMT-model af anlægget samt veri-
168 ficerer, at anlægget overholder gældende krav til anlægsegenskaber (*).

169

170 Inden tildeling af FON:

- 171 • Overensstemmelsesprøvninger på elkvalitet foretaget af Energinet (*).

- 172 • Testrapport, der igennem overensstemmelsesprøvninger dokumenterer, at det fysiske anlæg
173 overholder gældende krav (*).

- 174 • Modelverifikationsrapport, der i overensstemmelse med afsnit 4 påviser, at de leverede RMS-
175 og EMT-modeller overholder relevante nøjagtighedskrav.

- 176 • Udbedring af eventuelle problematikker forbundet med simuleringmodellernes integration
177 med Energinets samlede net- og systemmodel.

178

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

181

182 Modelspecifikke dokumentationskrav er beskrevet i de efterfølgende afsnit.

183

184 3. Modeltekniske krav

185 3.1 Synkrone produktionsanlæg

186 3.1.1 Krav til stationær simuleringsmodel (stationære forhold og kortslutningsforhold)

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

190
191 Quasi-stationære egenskaber omfatter i denne sammenhæng produktionsanlæggets egenskaber i for-
192 bindelse med en kortslutning i tilslutningspunktet eller et vilkårligt sted i det kollektive elforsyningssy-
193 stem. En kortslutning kan her antage følgende former:

- 194
- 195 • En fase-jord kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
- 196 • En tofaset kortslutning uden eller med jordberøring med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
- 197 • En trefaset kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.

198
199 Anlægsejer har ansvaret for at levere en stationær simuleringsmodel af produktionsanlægget til
200 Energinet i henhold til specifikationerne i afsnit 3.1.1.1, 3.1.1.2, 3.1.1.3 og 3.1.1.4.

201
202 Simuleringsmodellen skal kunne integreres i Energinets samlede net- og systemmodel uden at have en
203 problematisk indvirkning på anvendelsen af denne. Modelkravene specificeret i følgende underafsnit
204 har bl.a. til formål at forebygge dette, men såfremt simuleringsmodellen alligevel giver udfordringer ved
205 integration med Energinets samlede net- og systemmodel, er det anlægsejers ansvar at finde en løsning
206 på dette i samarbejde med Energinet. I praksis vil det foregå således, at modeller testes og godkendes
207 inden tildeling af ION på baggrund af kravene i de følgende underafsnit. Efter udstedelse af ION vil Ener-
208 ginet teste simuleringsmodellens performance ved integration i en større systemmodel, og eventuelle
209 udfordringer skal håndteres, inden endelig modelgodkendelse kan gives, jf. krav til FON.

210
211 Simuleringsmodellen skal verificeres som specificeret i afsnit 4.

212
213 Såfremt den stationære simuleringsmodel er identisk med den i afsnit 3.1.2 beskrevne dynamiske simu-
214 leringsmodel, bortfalder kravet om en separat stationær simuleringsmodel.

215

216 3.1.1.1 Funktionelle modelkrav

217 Den stationære simuleringsmodel skal:

- 218 1. Indeholde karakteristikker for produktionsanlæggets stationære driftsområder for aktiv og re-
219 aktiv effekt, således simuleringsmodellen ikke fejlagtigt drives i et ugyldigt arbejds punkt.
- 220 2. Muliggøre anvendelse af samtlige påkrævede reguleringsfunktioner for reaktiv effekt:
 - 221 I. Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering) med angivelse af referencepunktet.
 - 222 II. Q-regulering (Mvar-regulering) med angivelse af referencepunktet.
 - 223 III. Spændingsregulering inklusive parametre for anvendt droop/kompondering med angiv-
224 velse af referencepunktet.
- 225 3. Kunne benyttes til simulering af effektivværdier i de enkelte faser under symmetriske og asym-
226 metriske hændelser og fejl i det kollektive elforsyningssystem. Den anvendte metode til stati-
227 ske kortslutningsberegninger skal aftales med Energinet.
- 228 4. Som minimum kunne benyttes i frekvensområdet fra 47,5 Hz til 51,5 Hz og i spændingsområ-
229 det fra 0,0 pu til 1,4 pu.
- 230 5. Indeholde relevant kontrol af produktionsanlæggets passive komponenter, herunder styring af:
 - 231 I. Transformer tap-indstillinger.

II. Shunt-komponenter.

232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279

3.1.1.2 Modelformat

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

3.1.1.3 Modelleverancer

Den stationære simuleringsmodel skal ved levering bestå af følgende:

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

3.1.1.4 Nøjagtighedskrav

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

3.1.2 Krav til dynamisk simuleringsmodel (RMS-model)

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

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

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

288

289 Simuleringsmodellen skal verificeres som specificeret i afsnit 4.

290

291 3.1.2.1 Funktionelle modelkrav

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

- 296 • Generatornære fejl set fra tilslutningspunktet i henhold til den påkrævede FRT-karakteristik
 297 [1], hvor en kortslutning her kan antage følgende former:
 - 298 ○ En fase-jord kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
 - 299 ○ En tofaslet kortslutning uden eller med jordberøring med en vilkårlig impedans i fejl-
 300 stedet.
 - 301 ○ En trefaset kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
- 302 • Udkobling af, og mulig efterfølgende automatisk genindkobling af, en vilkårlig fejlramt netkom-
 303 ponent i det kollektive elforsyningssystem, jf. ovenstående fejlforløb, og det afledte vektor-
 304 spring i tilslutningspunktet.
- 305 • Manuel ind- eller udkobling (uden forudgående fejl) af en vilkårlig netkomponent i det kollek-
 306 tive elforsyningssystem og det afledte vektorspring i tilslutningspunktet.
- 307 • Spændingsforstyrrelser og tenderende spændingskollaps med en varighed inden for den på-
 308 krævede minimumssimuleringsperiode, jf. nedenstående, og som minimum inden for indsvingnings-
 309 forløbet for produktionsanlæggets overgang til en ny stationær tilstand.
- 310 • Frekvensforstyrrelser af en varighed inden for den påkrævede minimumssimuleringsperiode, jf. ne-
 311 denstående, og som minimum inden for indsvingningsforløbet for produktionsanlæggets over-
 312 gang til en ny stationær tilstand.
- 313 • Aktivering af et pålagt systemværn (via et eksternt signal) til hurtig regulering af produktions-
 314 anlæggets aktive effektproduktion i henhold til en foruddefineret slutværdi og gradient.

315

316 Den dynamiske simuleringsmodel skal:

- 317 1. Indeholde samtlige påkrævede reguleringsfunktioner [1].
- 318 2. Indeholde relevant kontrol af produktionsanlæggets passive komponenter, herunder styring af:
 - 319 a. Transformer tap-indstillinger.
 - 320 b. Shunt-komponenter.
- 321 3. Indeholde relevante beskyttelsesfunktioner, som kan aktiveres ved eksterne hændelser og fejl i
 322 det kollektive elforsyningssystem, implementeret i form af blokdiagrammer med angivelse af
 323 overføringsfunktioner og sekvensdiagrammer for de enkelte elementer.
- 324 4. Indeholde magnetiseringssystemet, spændingsregulator, dæmpetilsats (PSS) og eventuel mag-
 325 netiseringsmaskine implementeret i form af standardiserede modeller [2].

- 326 5. Indeholde magnetiseringssystemets begrænserfunktioner (statorstrømsbegrænser, volt/hertz-
327 begrænser samt over- og undermagnetiseringsbegrænser) implementeret i form af blokdia-
328 grammer med angivelse af overføringsfunktioner og sekvensdiagrammer for de enkelte ele-
329 menter.
- 330 6. Indeholde effekt- og hastighedsregulator, drivmaskine eller turbineanlæg implementeret i
331 form af standardiserede modeller [3]. Såfremt det kan dokumenteres, at den påkrævede mo-
332 delnøjagtighed ikke kan opnås med en standardiseret model, kan der efter aftale med Energi-
333 net anvendes anlægsspecifikke modeller for disse anlægskomponenter.
- 334 7. Indeholde en samlet mekanisk svingningsmassemodel for relevante anlægskomponenter (ge-
335 neratoranlæg, drivmaskine, turbineanlæg, gear, koblinger og magnetiseringsmaskine) inklusive
336 dokumentation af inertikonstanter, egenfrekvenser samt fjeder- og dæmpningskonstanter for
337 hvert af drivtogets masselementer.
- 338 8. Kunne benyttes til simulering af effektivværdier i de enkelte faser under symmetriske og asym-
339 metriske hændelser og fejl i det kollektive elforsyningssystem.
- 340 9. Som minimum kunne benyttes i frekvensområdet fra 47,5 Hz til 51,5 Hz og i spændingsområ-
341 det fra 0,0 pu til 1,4 pu.
- 342 10. Kunne eftervise krav til magnetiseringssystemets dynamiske svar, herunder krav til dæmpetil-
343 sats (PSS) med hensyn til dæmpning og fasekompensering [1].
- 344 11. Kunne beskrive produktionsanlæggets dynamiske egenskaber i mindst 60 sekunder efter en-
345 hver af ovenstående setpunktsændringer og eksterne hændelser i det kollektive elforsynings-
346 system.
- 347 12. Være numerisk stabil ved gennemførelse af en simulering på minimum 60 sekunder uden på-
348 trykning af et hændelsesforløb eller ændring af randbetingelser, hvor de simulerede værdier
349 for aktiv effekt, reaktiv effekt, spænding og frekvens skal forblive konstante under hele simule-
350 ringsforløbet.
- 351 13. Være numerisk stabil ved et momentant vektorspring på op til 20 grader i tilslutningspunktet.
- 352 14. Såfremt produktionsanlægget indeholder eksterne komponenter, fx af hensyn til overholdelse
353 af nettilslutningskravene eller til levering af kommercielle systemydelser, skal simuleringssmo-
354 dellen indeholde den nødvendige repræsentation af disse komponenter, som krævet i afsnit 2.
- 355 15. Det accepteres, at simuleringssmodellen i løbet af et gennemført simuleringforløb giver en-
356 kelte fejlmeddelelser om manglende konvergens i forbindelse med påtrykte eksterne hændel-
357 ser. Dette vil dog i udgangspunktet blive opfattet som modelimplementeringsmæssig imper-
358 fektion, hvor årsagen og forslag til afhjælpning af denne skal fremgå af den tilhørende model-
359 dokumentation.

360

361 3.1.2.2 Modelformat

- 362 1. Simuleringsmodellen skal leveres implementeret i seneste udgave af simuleringsværktøjet
363 DlgSILENT PowerFactory ved anvendelse af de indbyggede netkomponentmodeller og stan-
364 dardprogrammeringsfunktioner, hvilket skal afspejles i den anvendte modelstruktur m.m. Si-
365 muleringsmodellen skal implementeres ved hjælp af DlgSILENT Simulation Language (DSL),
366 medmindre andet aftales med Energinet.
- 367 2. Den anvendte modelimplementering må ikke forudsætte anvendelse af særlige funktioner i
368 DlgSILENT PowerFactory, ud over hvad der er indeholdt i 'Base Package'- og 'Stability Analysis
369 Functions (RMS)'-licenserne.
- 370 3. Den anvendte modelimplementering må ikke forudsætte anvendelse af særlige indstillinger for
371 eller afvigelser fra standardindstillingerne for simuleringsværktøjets numeriske ligningsløser
372 eller på anden måde forhindre integration mellem den af anlægsejeren leverede simuleringss-
373 model og en større net- og systemmodel, som anvendt af Energinet.

- 374 4. Modellen skal så vidt muligt anvende makroer fra DlgSILENT PowerFactorys 'Global Library'
375 samt anvende DSL performance-optimerede funktioner.
- 376 5. For at sikre en entydig modelimplementering skal simuleringsmodellens baseværdier for gene-
377 ratorfeltstrøm og generatorfeltspænding angives i henhold til *non-reciprocal per unit*-systemet
378 [4], hvilket skal anvendes som baseværdi for den anvendte model for produktionsanlæggets
379 spændingsregulator. Anvendelse af skaleringsfaktorer skal angives eksplicit for signaler mellem
380 magnetiseringssystemets øvrige funktioner, hvis der anvendes forskellige baseværdier for de
381 pågældende delmodeller.
- 382 6. Såfremt produktionsanlægget indeholder flere parallelle generatoranlæg, skal simuleringsmo-
383 dellens repræsentere produktionsanlæggets egenskaber i tilslutningspunktet, jf. afsnit
384 3.1.2.1. Simuleringsmodellens parametring skal indeholde komplette datasæt for hvert en-
385 keltanlæg.
- 386 7. Simuleringsmodellen skal kunne initialiseres i et stabilt arbejds punkt på baggrund af én enkelt
387 vilkårlig og gyldig loadflow-simulering uden efterfølgende iterationer, for både et balanceret og
388 ubalanceret load flow, samt initialisere for både balanceret og ubalanceret netværksrepræsen-
389 tation i dynamisk simulering. Ved initialisering skal den afledte værdi (dx/dt) for enhver af si-
390 muleringsmodellens tilstandsvariable være mindre end 0,0001.
- 391 8. Simuleringsmodellen skal kunne initialiseres i et stabilt arbejds punkt, som beskrevet i ovenstå-
392 ende, uden yderligere manuel betjening af hverken statisk og dynamisk model, hvorved model-
393 len skal kunne initialiseres direkte ved brug af load-flow resultat uden anvendelse af program-
394 mering, herunder scripts.
- 395 9. Alle relevante setpunkter og indstillinger på det virkelige anlæg skal være tilgængelige i den dy-
396 namiske simuleringsmodel, og hvert input må ikke kræve justering mere end ét sted og skal
397 kunne justeres både før og under dynamisk simulering, herunder:
- 398 a. Aktiv effektregulering.
 - 399 b. Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering).
 - 400 c. Q-regulering (Mvar-regulering).
 - 401 d. Spændingsregulering (inklusive parametre for droop/kompounding).
 - 402 e. Frekvensregulering (statik og dødbånd).
- 403 10. Yderligere skal alle setpunkter og indstillinger angives med fortegn i henhold til generatorkon-
404 ventionen [4].
- 405 11. Setpunkter for aktiv effekt, reaktiv effekt og spænding skal angives i per unit i henhold til pro-
406 duktionsanlæggets nominelle aktive effekt og spænding i nettilslutningspunktet.
- 407 12. Setpunkt for effektfaktor-regulering skal angives ved $\cos \phi$.
- 408 13. Det skal være muligt at skifte mellem samtlige påkrævede reguleringsfunktioner for aktiv og
409 reaktiv effekt både før og under dynamisk simulering.
- 410 14. Simuleringsmodellen må ikke kræve, at komponenter, kontrolblokke eller målinger skal sættes
411 out of service ved forskellige driftsmønstre og reguleringsformer.
- 412 15. Simuleringsmodellen skal kunne simuleres korrekt med numeriske ligningsløserne med variabelt
413 tidsskridt i intervallet 1 til 10 ms.
- 414 16. Simuleringsmodellen skal kunne simuleres korrekt med numeriske ligningsløserne med et fikse-
415 ret tidsskridt på 1 ms.
- 416 17. Simuleringsmodellen må ikke indeholde krypterede eller kompilerede dele (accepteres ikke),
417 medmindre andet aftales med Energinet, da Energinet skal kunne kvalitetssikre resultaterne
418 fra simuleringsmodellen og vedligeholde denne uden begrænsninger ved softwareopdatering
419 m.m.

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

- 423 1. Kun indeholde relevante dele. Dele, der er out of service, må ikke indgå i modellen.
- 424 2. Indeholde en "base case" study case uden aktive operational scenarios eller variations, som
- 425 afspejler produktionsanlæggets påtænkte normaldriftsindstillinger.
- 426 3. Modeldannes i et enkelt net, der indeholder samtlige statistiske komponenter, samt composite
- 427 models.
- 428 4. Modeldannes med en overordnet composite model (.ElmComp), som indeholder samtlige:
- 429 a. Common models (.ElmDsl).
- 430 b. Anvendte målinger (.ElmPhi_pll, .StaPqmea, .StaVmea, .Stalmea etc.).
- 431 5. Have samtlige anvendte block definitions (.BlkDef) liggende i en separat mappe, som inddeles i
- 432 tre forskellige undermapper:
- 433 a. Frames (indeholder signalforbindelser).
- 434 b. Macros (indeholder matematiske udtryk uden grafisk repræsentation).
- 435 c. Model Definitions (indeholder både matematiske udtryk og signalforbindelser).
- 436 6. Have samtlige anvendte komponenttyper liggende i en separat mappe.

437

438 3.1.2.3 Modelleverancer

439 RMS-modellen skal ved levering bestå af følgende:

- 440 • DlgSILENT PowerFactory simuleringsmodel i seneste udgave
- 441 ○ En funktionel RMS-simuleringsmodel, som overholder krav i afsnit 3.1.2, skal leveres
- 442 for produktionsanlægget forbundet til en simpel modelrepræsentation af det kollektive
- 443 elforsyningssystem, fx en Théveninækvivalent model.
- 444 • Brugervejledning med beskrivelse af:
- 445 ○ Modellernes strukturelle opbygning samt beskrivelser af simuleringsmodellernes pa-
- 446 rametrering og gyldige randbetingelser i form af arbejds punkter og eventuelle restriktioner
- 447 i relation til netforhold (kortslutningsforhold og R/X-forhold) i tilslutningspunktet
- 448 og i fejlstedet i forbindelse med simulering af eksterne hændelser i det kollektive
- 449 elforsyningssystem.
- 450 ○ De i simuleringsmodellen implementerede kontrol-, beskyttelses- og reguleringsfunktioner
- 451 til brug ved evaluering af anlæggets egenskaber i tilslutningspunktet.
- 452 ○ Såfremt dele af simuleringsmodellens parametersæt ikke kan genfindes direkte ud fra
- 453 det tilsvarende og påkrævede parameterudtræk fra produktionsanlæggets kontrol-,
- 454 beskyttelses- og reguleringsudstyr, skal modeldokumentationen indeholde beskrivelser
- 455 af de til simuleringsmodellen gennemførte parameteromregninger samt forudsætningerne
- 456 herfor.
- 457 ○ Modelantagelser og anvendelse af RMS-modellen.
- 458 ○ Modelbegrænsninger og alle de af produktionsanlæggets funktioner, der ikke er inkluderet
- 459 i RMS-modellen, som ville kunne antages at have betydning for produktionsanlæggets
- 460 dynamiske egenskaber og performance.
- 461 ○ Hvorledes simuleringsmodellen kan integreres i en større net- og systemmodel, som
- 462 anvendt af Energinet.
- 463 ○ Opsætning og initialisering af simuleringsmodellen
- 464 ○ Parametre for de enkelte modelkomponenter, herunder mætning, ulinearitet, dødbånd,
- 465 tidsforsinkelser samt begrænsningsfunktioner (non-wind-up/anti wind-up) samt look-up
- 466 tabeldata og anvendte principper for interpolation m.m.
- 467 ○ Såfremt produktionsanlægget indeholder hovedkomponenter, fx effekt- og hastighedsregulator,
- 468 drivmaskine eller turbineanlæg, hvor modeldannelsen af disse kræver parametertilpasninger
- 469 som funktion af produktionsanlæggets aktuelle arbejds punkt af hensyn til den påkrævede
- 470 modelnøjagtighed, skal modeldokumentationen, jf. ovenstående, indeholde nødvendige
- 471 modelparametersæt for hvert af nedenstående arbejds punkter:
- 472

- 473 ▪ 25 % af nominel aktiv effektproduktion.
- 474 ▪ 50 % af nominel aktiv effektproduktion.
- 475 ▪ 75 % af nominel aktiv effektproduktion.
- 476 ▪ 100 % af nominel aktiv effektproduktion.
- 477 o Simuleringsmodellens indgangs- og udgangssignaler, hvor dette som minimum skal
- 478 omfatte følgende:
- 479 ▪ Aktiv effekt.
- 480 ▪ Reaktiv effekt.
- 481 ▪ Setpunkter for:
- 482 • Aktiv effektregulering.
- 483 • Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering).
- 484 • Q-regulering (Mvar-regulering).
- 485 • Spændingsregulering inklusive parametre for anvendt droop/kom-
- 486 poundingering.
- 487 • Frekvensregulering (statik og dødbånd).
- 488 • Systemværnsindgreb (slutværdi og gradient for regulering af aktiv
- 489 effekt).
- 490 ▪ Signal for aktivering af systemværn.
- 491 ▪ Styresignaler for eventuelle eksterne netkomponenter, fx STATCOMs eller
- 492 energilagringsenheder m.m.
- 493 • Data for netkomponenter og øvrige dele, som indgår i anlægsinfrastrukturen. Data skal have et
- 494 omfang og et detaljeringsniveau, som muliggør opbygning af en komplet, fuldt funktionsdygtig
- 495 simuleringsmodel, som krævet i afsnit 2.
- 496 • Verifikationsrapporter for RMS-modellen, som specificeret i afsnit 4.

498 3.1.2.4 Nøjagtighedskrav

499 RMS-simuleringsmodellen skal repræsentere det synkrone produktionsanlægs stationære og dynamiske
500 egenskaber i tilslutningspunktet tilstrækkeligt nøjagtigt. Anlægsejeren skal, underlagt kravene i dette
501 afsnit, gennem sammenligning af tests af produktionsanlægget og RMS-simuleringsmodellen dokumen-
502 tere dette.

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

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

512 Som minimum skal følgende af simuleringsmodellens reguleringsfunktioner inkluderes i modelverifikati-
513 onen:

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

521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570

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

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

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

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

- (a) Afvigelsen mellem den simulerede amplitude og den tilsvarende målte amplitude skal være mindre end 10 % for en vilkårlig frekvens inden for det definerede frekvensområde.
- (b) Afvigelsen mellem den simulerede fasevinkel og den tilsvarende målte fasevinkel skal være mindre end 5 grader for en vilkårlig frekvens inden for det definerede frekvensområde.

Gældende for produktionsanlæggets dynamiske egenskaber (tidsdomæne-fænomener) foranlediget af fx setpunktsændringer for anlæggets produktion af reaktiv effekt, herunder ændring af reguleringsform for dette, samt eksterne hændelser i det kollektive elforsyningssystem skal simuleringsmodellens tilsvarende svar opfylde nedenstående nøjagtighedskrav:

1. Afvigelser mellem simulerede gradienter (dx/dt) sammenlignet med tilsvarende målte gradienter skal være inden for følgende tolerance:
 - (a) 10 % afvigelse i amplitude.
 - (b) Tidsforskydning (positiv eller negativ) for gradientens starttidspunkt eller sluttidspunkt skal være mindre end 20 millisekunder.
2. Produktionsanlæggets simulerede svar må ikke indeholde momentane ændringer af amplituden i form af positive eller negative "spikes" på mere end 10 % af den tilsvarende målte værdi. Såfremt der opstår momentane amplitudeændringer over det tilladte niveau, og hvor dette alene kan tilskrives numeriske forhold grundet det anvendte simuleringsværktøj, skal dette forhold dokumenteres i den påkrævede modelverifikationsrapport.
3. Simulerede quasi-stationære oscillationer inden for frekvensområdet 0,1 Hz til 5 Hz i produktionsanlæggets aktive og reaktive effektproduktion samt spænding skal være dæmpede, og frekvensafvigelsen skal være mindre end 10 % af den tilsvarende målte værdi.
4. Under hensyntagen til eventuel forskel i simuleret og målt spænding i tilslutningspunktet skal afvigelsen mellem produktionsanlæggets simulerede aktive og reaktive effektproduktion til enhver tid under simuleringen være mindre end 10 % af den tilsvarende målte værdi.
5. Under hensyntagen til eventuel forskel i simuleret og målt spænding i tilslutningspunktet skal afvigelsen mellem produktionsanlæggets simulerede stationære aktive og reaktive effektproduktion, i forhold til den tilsvarende målte værdi, være mindre end 2 % af produktionsanlæggets nominelle effekt.

571

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

574

575 3.1.3 Krav til transient simuleringsmodel (EMT-model)

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

582

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

585

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

594

595 Simuleringsmodellen skal verificeres, som specificeret i afsnit 4.

596

597 3.1.3.1 Funktionelle modelkrav

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

- 602 • Generatornære fejl set fra tilslutningspunktet i henhold til den påkrævede FRT-karakteristik
603 [1], hvor en kortslutning her kan antage form som:
 - 604 ○ En fase-jord kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
 - 605 ○ En tofaset kortslutning uden eller med jordberøring med en vilkårlig impedans i fejl-
606 stedet.
 - 607 ○ En trefaset kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
- 608 • Udkobling af, og mulig efterfølgende automatisk genindkobling af, en vilkårlig fejlramt netkom-
609 ponent i det kollektive elforsyningssystem, jf. ovenstående fejlforløb, og det afledte vektor-
610 spring i tilslutningspunktet.
- 611 • Manuel ind- eller udkobling (uden forudgående fejl) af en vilkårlig netkomponent i det kollek-
612 tive elforsyningssystem og det afledte vektorspring i tilslutningspunktet.
- 613 • Spændingsforstyrrelser og tenderende spændingskollaps med en varighed inden for den på-
614 krævede minimumssimuleringstid, jf. nedenstående, og som minimum inden for indsvingnings-
615 forløbet for produktionsanlæggets overgang til en ny stationær tilstand.
- 616 • Frekvensforstyrrelser med en varighed inden for den påkrævede minimumssimuleringstid, jf.
617 nedenstående, og som minimum inden for indsvingningsforløbet for produktionsanlæggets
618 overgang til en ny stationær tilstand.

- 619 • Aktivering af et pålagt systemværn (via et eksternt signal) til hurtig regulering af produktions-
620 anlæggets aktive effektproduktion i henhold til en foruddefineret slutværdi og gradient.

621

622 Den leverede transiente simuleringsmodel skal overholde følgende:

- 623 1. Indeholde alle relevante regulerings-, kontrol- og beskyttelsesfunktioner. Dette omfatter fx:
624 a. Samtlige påkrævede reguleringsfunktioner [1].
625 b. Modellen skal omfatte alle kontrol- og beskyttelsesfunktioner på anlægsniveau og ge-
626 neratorniveau som implementeret i det faktiske udstyr, heriblandt
627 i. Indstillinger for spændings- og frekvensbeskyttelse.
- 628 2. Indeholde relevant kontrol af produktionsanlæggets passive komponenter, herunder styring af:
629 a. Transformer tap-indstillinger.
630 b. Shunt-komponenter.
- 631 3. Indeholde magnetiseringssystemet, spændingsregulator, dæmpetilsats (PSS) og eventuel mag-
632 netiseringsmaskine implementeret i form af standardiserede modeller [2].
- 633 4. Indeholde magnetiseringssystemets begrænsfunktioner (statorstrømsbegrænsere, volt/hertz-
634 begrænsere samt over- og undermagnetiseringsbegrænsere) implementeret i form af blokdia-
635 grammer med angivelse af overføringsfunktioner og sekvensdiagrammer for de enkelte ele-
636 menter.
- 637 5. Indeholde effekt- og hastighedsregulator, drivmaskine eller turbineanlæg implementeret i
638 form af standardiserede modeller [3]. Såfremt det kan dokumenteres, at den påkrævede mo-
639 delnøjagtighed ikke kan opnås med en standardiseret model, kan der efter aftale med Energi-
640 net anvendes anlægsspecifikke modeller for disse anlægskomponenter.
- 641 6. Indeholde en samlet mekanisk svingningsmassemodel for relevante anlægskomponenter (ge-
642 neratoranlæg, drivmaskine, turbineanlæg, gear, koblinger og magnetiseringsmaskine) inklusive
643 dokumentation af inertikonstanter, egenfrekvenser samt fjeder- og dæmpningskonstanter for
644 hvert af drivtogets masselementer.
- 645 7. Kunne initialiseres på maksimalt 3 sekunders simuleringstid.
- 646 8. Simuleringstidspunkt for påbegyndelse af EMT-modellens injektion af tilsyneladende effekt
647 skal kunne indstilles af brugeren.
- 648 9. Simuleringstidspunkt for aktivering af produktionsanlæggets beskyttelsessystemer i EMT-
649 modellen skal kunne indstilles af brugeren.
- 650 10. Som minimum kunne benyttes i frekvensområdet fra 47,5 Hz til 51,5 Hz og i spændingsområ-
651 det fra 0,0 pu til 1,4 pu.
- 652 11. Kunne beskrive produktionsanlæggets dynamiske egenskaber i mindst 60 sekunder efter en-
653 hver af ovenstående setpunktsændringer og eksterne hændelser i det kollektive elforsynings-
654 system.
- 655 12. Være numerisk stabil ved gennemførelse af en simulering på minimum 60 sekunder uden på-
656 trykning af et hændelsesforløb eller ændring af randbetingelser, hvor de simulerede værdier
657 for aktiv effekt, reaktiv effekt, spænding og frekvens skal forblive konstante under hele simule-
658 ringsforløbet.
- 659 13. EMT-modellen skal repræsentere alle komponenter, reguleringsystemer og beskyttelsessyste-
660 mer relevante for EMT-analyser.
- 661 14. Netkomponenter og øvrige dele, som indgår i anlægsinfrastrukturen, skal implementeres i
662 EMT-modellen i et omfang og med et detaljeringniveau, der er gyldigt for EMT-studier. Dette
663 inkluderer opsamlingskabler, transformere, filtre m.m. Omfanget af leverancen godkendes af
664 Energinet. Hvis kabler er modelleret med PI-sektioner, skal deres frekvensafhængige karakteri-
665 stikker valideres mod geometriske modeller.

- 666 15. For produktionsenheder med mekanisk drivtøg skal EMT-modellen indeholde en mekanisk
667 svingningsmassemodel for produktionsanlæggets drivtøg inklusive dokumentation af inertikon-
668 stanter, egenfrekvenser samt fjeder- og dæmpningskonstanter.
- 669 16. EMT-modellen skal repræsentere produktionsanlæggets FRT-egenskaber [1].
- 670 17. Modellen skal være gyldig for stationære driftsforhold.
- 671 18. EMT-modellen skal være anvendelig for EMT-simuleringer af balancerede samt ubalancerede
672 fejl og afbrydelse af produktionsanlæggets forbindelse til det kollektive elforsyningssystem.
- 673 19. Såfremt produktionsanlægget indeholder eksterne komponenter, fx af hensyn til overholdelse
674 af nettilslutningskravene eller til levering af kommercielle systemydelser, skal simuleringssmo-
675 dellens indeholde den nødvendige repræsentation af disse komponenter som krævet i afsnit 2.
676

677 3.1.3.2 Modelformat

- 678 1. EMT-modellen skal udvikles og leveres i PSCAD/EMTDC og være kompatibel med PSCAD ver-
679 sion 4.6.3 og nyere.
- 680 2. For at sikre en entydig modelimplementering skal simuleringssmodellens baseværdier for gene-
681 ratorfeltstrøm og generatorfeltspænding angives i henhold til *non-reciprocal per unit*-systemet
682 [4], hvilket skal anvendes som baseværdi for den anvendte model for produktionsanlæggets
683 spændingsregulator. Anvendelse af skaleringsfaktorer skal angives eksplicit for signaler mellem
684 magnetiseringsystemets øvrige funktioner, hvis der anvendes forskellige baseværdier for de
685 pågældende delmodeller.
- 686 3. Såfremt produktionsanlægget indeholder flere parallelle generatoranlæg, skal simuleringssmo-
687 dellens kunne repræsentere produktionsanlæggets egenskaber i tilslutningspunktet, jf. afsnit
688 3.1.2.1. Simuleringssmodellens parametring skal indeholde komplette datasæt for hvert en-
689 keltanlæg.
- 690 4. EMT-modellen skal kunne anvendes med et tidsskridt på 10 mikrosekunder. Hvis anlægsejer
691 ønsker at anvende et andet tidsskridt end 10 mikrosekunder, skal dette godkendes af Energi-
692 net.
- 693 5. EMT-modellen skal valideres for simuleringer ved forskellige simuleringstidskridt. Modellen
694 skal give tilnærmelsesvis samme resultater ved transiente simuleringer med ethvert tidsskridt i
695 det gyldige interval.
- 696 6. EMT-modellen skal kunne optræde funktionelt flere gange i samme PSCAD simuleringssfil, uden
697 at dette leder til, at væsentlige ændringer skal foretages. Derfor skal EMT-modellen kunne
698 indgå som adskillige 'definitions' eller adskillige 'instances'. Hvis modellen indeholder et alter-
699 nativ til brug af adskillige 'definitions' eller 'instances', skal dette beskrives i brugervejlednin-
700 gen.
- 701 7. EMT-modellen skal understøtte brug af PSCAD/EMTDC's 'snapshot'-funktion. Det påkræves, at
702 modellen viser samme svar med og uden brug af snapshot-funktionen.
- 703 8. EMT-modellen skal understøtte brug af PSCAD/EMTDC's 'multiple run'-funktion.
- 704 9. Alle for EMT-analyser relevante funktionsindstillinger i produktionsanlæggets reguleringssy-
705 stem, der kan ændres enten lokalt eller ved fjernkontrol, skal være tilgængelige parametre i
706 simuleringssmodellen. Omfanget af leverancen godkendes af Energinet.
- 707 10. Alle relevante setpunkter og indstillinger på det virkelige anlæg skal være tilgængelige i den
708 transiente simuleringssmodel, hver input må ikke kræve justering mere end ét sted, og skal
709 kunne justeres både før og under dynamisk simulering, herunder:
- 710 a. Aktiv effektregulering.
- 711 b. Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering).
- 712 c. Q-regulering (Mvar-regulering).
- 713 d. Spændingsregulering (inklusive parametre for anvendt droop/komponering).
- 714 e. Frekvensregulering (statik og dødbånd).

- 715 11. Yderligere skal alle setpunkter og indstillinger angives med fortegn i henhold til generatorkon-
716 vention [4].
- 717 12. Setpunkter for aktiv effekt, reaktiv effekt og spænding skal angives i per unit i henhold til pro-
718 duktionsanlæggets nominelle aktive effekt og spænding i nettilslutningspunktet.
- 719 13. Setpunkt for effektfaktor-regulering, skal angives ved $\cos \phi$.
- 720 14. Det skal være muligt at skifte mellem samtlige påkrævede reguleringsfunktioner for aktiv og
721 reaktiv effekt både før og under dynamisk simulering.
- 722 15. Alle elektriske, mekaniske, regulerings- og beskyttelsessignaler relevante for EMT-analyser af
723 det kollektive elforsyningssystem skal være tilgængelige i EMT-modellen. Omfanget af leveran-
724 cen godkendes af Energinet.
- 725 16. EMT-modellen må indeholde prækompilerede og krypterede dele. EMT-modellens kompile-
726 rede dele skal være DLL-baseret. EMT-modellen skal være kompatibel med systemoperatørens
727 simuleringsmiljø, hvor kompiler-indstillinger (version og kompatibelt versionsinterval af Intel
728 Fortran og MS Visual Studio) aftales mellem anlægsejer og systemoperatøren.
- 729 17. EMT-modellen må ikke bruge eller være afhængig af global variable i PSCAD.
- 730 18. EMT-modellen må ikke gøre brug af flere lag i PSCAD-værktøjet inklusiv 'disabled' lag.

731 732 3.1.3.3 Modelleverancer

- 733 • EMT-modellen skal ved levering bestå af følgende: PSCAD-/EMTDC-simuleringsmodel – version
734 efter aftale med Energinet.
 - 735 ○ En funktional PSCAD-simuleringsmodel, der overholder krav i afsnit 3.1.3, skal leveres
736 for produktionsanlægget forbundet til en simpel modelrepræsentation af det kollek-
737 tive elforsyningssystem, fx en Théveninækvivalent model.
 - 738 ○ Identificer tydeligt producentens EMT-modeludgivelsesversion og den relevante tilhø-
739 rende hardware-firmwareversion.
- 740 • Brugervejledning med beskrivelse af:
 - 741 ○ modellernes strukturelle opbygning samt beskrivelser af simuleringsmodellernes pa-
742 rametrering og gyldige randbetingelser i form af arbejds punkter og eventuelle restriktioner
743 i relation til netforhold (kortslutningsforhold og R/X-forhold) i tilslutningspunk-
744 tet og i fejlstedet i forbindelse med simulering af eksterne hændelser i det kollektive
745 elforsyningssystem.
 - 746 ○ modelantagelser og anvendelse af EMT-modellen.
 - 747 ○ modelbegrænsninger og alle de af produktionsanlæggets funktioner, der ikke er inklu-
748 deret i EMT-modellen, som ville kunne antages at have betydning for produktionsan-
749 læggets transiente elektriske egenskaber og performance.
 - 750 ○ hvorledes simuleringsmodellen kan integreres i en større net- og systemmodel, som
751 anvendt af Energinet.
 - 752 ○ højest mulige tidsskridt.
 - 753 ○ hvor mange 'definitions' og 'instances', der kan oprettes af modellen.
 - 754 ○ opsætning og initialisering af simuleringsmodellen.
 - 755 ○ Parametre for de enkelte modelkomponenter, herunder mætning, ulinearitet, død-
756 bånd, tidsforsinkelser samt begrænsningsfunktioner (non-wind-up/anti wind-up) samt
757 look-up tabeldata og anvendte principper for interpolation m.m.

- 759
- 760
- 761
- 762
- 763
- 764
- 765
- 766
- 767
- 768
- 769
- 770
- 771
- 772
- 773
- 774
- 775
- 776
- 777
- 778
- 779
- 780
- 781
- 782
- 783
- 784
- 785
- 786
- 787
- 788
- 789
- Såfremt produktionsanlægget indeholder hovedkomponenter, fx effekt- og hastighedsregulator, drivmaskine eller turbineanlæg, hvor modeldannelsen af disse kræver parametertilpasninger som funktion af produktionsanlæggets aktuelle arbejds- punkt af hensyn til den påkrævede modelnøjagtighed, skal modeldokumentationen, jf. ovenstående, indeholde nødvendige modelparametersæt for hvert af nedenstående arbejds punkter:
 - 25 % af nominel aktiv effektproduktion.
 - 50 % af nominel aktiv effektproduktion.
 - 75 % af nominel aktiv effektproduktion.
 - 100 % af nominel aktiv effektproduktion.
 - simuleringsmodellens indgangs- og udgangssignaler, hvor dette som minimum skal omfatte følgende:
 - Aktiv effekt.
 - Reaktiv effekt.
 - Setpunkter for:
 - Aktiv effektregulering.
 - Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering).
 - Q-regulering (Mvar-regulering).
 - Spændingsregulering inklusive parametre for anvendt droop/kom- poundering
 - Frekvensregulering (statik og dødbånd).
 - Systemværnsindgreb (slutværdi og gradient for regulering af aktiv effekt).
 - Signal for aktivering af systemværn.
 - Styresignaler for eventuelle eksterne netkomponenter, fx energilagringse- heder m.m.
 - Data for netkomponenter og øvrige dele, som indgår i anlægsinfrastrukturen. Data skal have et omfang og et detaljeringniveau, som muliggør opbygning af en komplet, fuldt funktionsdygtig simuleringsmodel, som krævet i afsnit 2.
 - Verifikationsrapporter for EMT-modellen, som specificeret i afsnit 4.

790 3.1.3.4 Nøjagtighedskrav

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

797 3.1.4 Krav til harmonisk simuleringsmodel

798 Ikke påkrævet.

799

800 3.2 Asynkrone produktionsanlæg

801 3.2.1 Krav til stationær simuleringsmodel (stationære forhold og kortslutningsforhold)

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

805

806 Quasi-stationære egenskaber omfatter i denne sammenhæng produktionsanlæggets egenskaber i for-
807 bindelse med en kortslutning i tilslutningspunktet eller et vilkårligt sted i det kollektive elforsyningssy-
808 stem. En kortslutning kan her antage form som:

809

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

813

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

816

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

825

826 Simuleringsmodellen skal verificeres, som specificeret i afsnit 4.

827

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

830

831 3.2.1.1 Funktionelle modelkrav

832 Den stationære simuleringsmodel skal:

833

- 834 1. Indeholde karakteristikker for produktionsanlæggets stationære driftsområder for aktiv og re-
835 aktiv effekt, så simuleringsmodellen ikke fejlagtigt drives i et ugyldigt arbejds punkt.
- 836 2. Muliggøre anvendelse af samtlige påkrævede reguleringsfunktioner for reaktiv effekt:
 - 837 A. Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering) med angivelse af referencepunktet.
 - 838 B. Q-regulering (Mvar-regulering) med angivelse af referencepunktet.
 - 839 C. Spændingsregulering inklusive parametre for anvendt droop/kompondering med
840 angivelse af referencepunktet.
- 841 3. Kunne benyttes til simulering af effektivværdier i de enkelte faser under symmetriske og asym-
842 metriske hændelser og fejl i det kollektive elforsyningssystem. Den anvendte metode til stati-
843 ske kortslutningsberegninger skal aftales med Energinet.
- 844 4. Som minimum kunne benyttes i frekvensområdet fra 47,5 Hz til 51,5 Hz og i spændingsområ-
845 det fra 0,0 pu til 1,4 pu.
- 846 5. Indeholde relevant kontrol af produktionsanlæggets passive komponenter, herunder styring af:
 - 847 A. Transformer tap-indstillinger.
 - B. Shunt-komponenter.

848

849

3.2.1.2 Modelformat

850

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

862

863

3.2.1.3 Modelleverancer

864

Den stationære simuleringsmodel skal ved levering bestå af følgende:

865

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

884

885

3.2.1.4 Nøjagtighedskrav

886

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

888

889

3.2.2 Krav til dynamisk simuleringsmodel (RMS-model)

890

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

893

894

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

895

896

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

905

906 Simuleringsmodellen skal verificeres, som specificeret i afsnit 4.

907

908 3.2.2.1 Funktionelle modelkrav

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

- 913 • Generatornære fejl set fra tilslutningspunktet i henhold til den påkrævede FRT-karakteristik
 914 [1], hvor en kortslutning her kan antage form som:
 - 915 ○ En fase-jord kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
 - 916 ○ En tofasnet kortslutning uden eller med jordberøring med en vilkårlig impedans i fejl-
 917 stedet.
 - 918 ○ En trefaset kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
- 919 • Udkobling af, og mulig efterfølgende automatisk genindkobling af, en vilkårlig fejlramt netkom-
 920 ponent i det kollektive elforsyningssystem, jf. ovenstående fejlforløb, og det afledte vektor-
 921 spring i tilslutningspunktet.
- 922 • Manuel ind- eller udkobling (uden forudgående fejl) af en vilkårlig netkomponent i det kollek-
 923 tive elforsyningssystem og det afledte vektorspring i tilslutningspunktet.
- 924 • Spændingsforstyrrelser og tenderende spændingskollaps med en varighed inden for den på-
 925 krævede minimumssimuleringstid, jf. nedenstående, og som minimum inden for indsvingnings-
 926 forløbet for produktionsanlæggets overgang til en ny stationær tilstand.
- 927 • Frekvensforstyrrelser med en varighed inden for den påkrævede minimumssimuleringstid, jf.
 928 nedenstående, og som minimum inden for indsvingningsforløbet for produktionsanlæggets
 929 overgang til en ny stationær tilstand.
- 930 • Aktivisering af et pålagt systemværn (via et eksternt signal) til hurtig regulering af produktions-
 931 anlæggets aktive effektproduktion i henhold til en foruddefineret slutværdi og gradient.

932

933 Den dynamiske simuleringsmodel skal:

- 934 1. Indeholde samtlige påkrævede reguleringsfunktioner [1].
- 935 2. Indeholde en fuld repræsentation af plant-level regulering, herunder parkregulatoren (PPC),
 936 som inkluderer tidsforsinkelser, transition til og fra fault ride-through modes mm.
- 937 3. Indeholde relevant kontrol af produktionsanlæggets passive komponenter, herunder styring af:
 - 938 a. Transformer tap-indstillinger.
 - 939 b. Shunt-komponenter.
- 940 4. Indeholde relevante beskyttelsesfunktioner, som kan aktiveres ved eksterne hændelser og fejl i
 941 det kollektive elforsyningssystem implementeret i form af blokdiagrammer med angivelse af
 942 overføringsfunktioner og sekvensdiagrammer for de enkelte elementer.

- 943 5. Indeholde samtlige kontrolfunktioner², som kan aktiveres ved alle relevante hændelser og fejl i
944 det kollektive elforsyningssystem.
- 945 6. Indeholde produktionsanlæggets effekt- og hastighedsregulator.
- 946 7. Indeholde en samlet mekanisk svingningsmassemodel for produktionsanlæggets drivtog, inklu-
947 sive dokumentation af inertikonstanter, egenfrekvenser samt fjeder- og dæmpningskonstanter
948 for hvert af drivtogets masselementer, såfremt dette er relevant for repræsentationen af pro-
949 duktionsanlæggets stationære og dynamiske egenskaber.
- 950 8. Kunne benyttes til simulering af effektivværdier i de enkelte faser under symmetriske og asym-
951 metriske hændelser og fejl i det kollektive elforsyningssystem.
- 952 9. For produktionsanlæg med varierende primær energikilde skal det være muligt at justere på
953 den tilgængelige effekt, også under simulering (som fx vindhastighed eller solindstråling).
- 954 10. Som minimum kunne benyttes i frekvensområdet fra 47,5 Hz til 51,5 Hz og i spændingsområ-
955 det fra 0,0 pu til 1,4 pu.
- 956 11. Kunne beskrive produktionsanlæggets dynamiske egenskaber i mindst 60 sekunder efter en-
957 hver af ovenstående setpunktsændringer og eksterne hændelser i det kollektive elforsynings-
958 system.
- 959 12. Være numerisk stabil ved gennemførelse af en simulering på minimum 60 sekunder uden på-
960 trykning af et hændelsesforløb eller ændring af randbetingelser, hvor de simulerede værdier
961 for aktiv effekt, reaktiv effekt, spænding og frekvens skal forblive konstante under hele simule-
962 ringsforløbet.
- 963 13. Være numerisk stabil ved et momentant vektorspring på op til 20 grader i tilslutningspunktet.
- 964 14. Såfremt produktionsanlægget indeholder eksterne komponenter, fx af hensyn til overholdelse
965 af nettilslutningskravene eller til levering af kommercielle systemydelser, skal simuleringssmo-
966 dellens indeholde den nødvendige repræsentation af disse komponenter, som krævet i afsnit 2.
- 967 15. Det accepteres, at simuleringssmodellen i løbet af et gennemført simuleringforløb giver en-
968 kelte fejlmeddelelser om manglende konvergens i forbindelse med påtrykte eksterne hændel-
969 ser. Dette vil dog i udgangspunktet blive opfattet som modelimplementeringsmæssig imper-
970 fektion, hvor årsagen og forslag til afhjælpning af denne skal fremgå af den tilhørende model-
971 dokumentation.

972

973 **3.2.2.2 Modelformat**

974

975

976

977

978

979

980

981

982

983

984

985

986

987

988

989

1. Simuleringsmodellen skal leveres implementeret i seneste udgave af simuleringsværktøjet DlgSILENT PowerFactory ved anvendelse af de indbyggede netkomponentmodeller og standardprogrammeringsfunktioner, hvilket skal afspejles i den anvendte modelstruktur m.m. Simuleringsmodellen skal implementeres ved hjælp af DlgSILENT Simulation Language (DSL), medmindre andet aftales med Energinet.
2. Den anvendte modelimplementering må ikke forudsætte anvendelse af særlige funktioner i DlgSILENT PowerFactory, ud over hvad der er indeholdt i 'Base Package' og 'Stability Analysis Functions (RMS)'-licenserne.
3. Den anvendte modelimplementering må ikke forudsætte anvendelse af særlige indstillinger for, eller afvigelse fra, standardindstillingerne for simuleringsværktøjets numeriske ligningsløser eller på anden måde forhindre integration mellem den af anlægsejeren leverede simuleringssmodel og en større net- og systemmodel, som anvendt af Energinet.
4. Modellen skal så vidt muligt anvende makroer fra DlgSILENT PowerFactorys 'Global Library' samt anvende DSL performance optimerede funktioner.
5. Aggregeres som beskrevet i afsnit 3.2.5, hvis produktionsanlægget består af flere identiske produktionsenheder.

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

- 990 6. For hybride anlæg bestående af flere forskellige typer af produktionsenheder skal RMS-
991 modellen korrekt repræsentere hver af disse typer.
- 992 7. Kunne initialiseres i et stabilt arbejds punkt på baggrund af én enkelt, vilkårlig og gyldig, load-
993 flow-simulering uden efterfølgende iterationer, for både et balanceret og ubalanceret load
994 flow, samt initialisere for både balanceret og ubalanceret netværksrepræsentation i dynamisk
995 simulering. Ved initialisering skal den afledte værdi (dx/dt) for enhver af simuleringens
996 tilstandsvariable være mindre end 0,0001.
- 997 8. Kunne initialiseres i et stabilt arbejds punkt, som beskrevet i ovenstående, uden yderligere ma-
998 nuelle betjening af både statisk og dynamisk model. Hvorved modellen skal kunne initialise-
999 res direkte ved brug af load-flow resultat uden anvendelse af programmeringer, herunder
1000 scripts.
- 1001 9. Alle relevante setpunkter og indstillinger på det virkelige anlæg skal være tilgængelige i den dy-
1002 namiske simuleringens model. Hvert input må ikke kræve justering mere end ét sted, og skal
1003 kunne justeres både før og under dynamisk simulering, herunder:
- 1004 a. Aktiv effektregulering.
- 1005 b. Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering).
- 1006 c. Q-regulering (Mvar-regulering).
- 1007 d. Spændingsregulering (inklusive parametre for droop/komponering).
- 1008 e. Frekvensregulering (statik og dødbånd).
- 1009 10. Yderligere skal alle setpunkter og indstillinger angives med fortegn i henhold til generatorkon-
1010 vention [4].
- 1011 11. Setpunkter for aktiv effekt, reaktiv effekt og spænding skal angives i per unit, i henhold til pro-
1012 duktionsanlæggets nominelle aktive effekt og spænding i nettilslutningspunktet.
- 1013 12. Setpunkt for effektfaktor-regulering skal angives ved $\cos \phi$.
- 1014 13. Det skal være muligt at skifte mellem samtlige påkrævede reguleringsfunktioner for aktiv og
1015 reaktiv effekt både før og under dynamisk simulering.
- 1016 14. Simuleringsmodellen må ikke kræve, at komponenter, kontrolblokke eller målinger skal sættes
1017 out of service ved forskellige driftsmønstre og reguleringsformer.
- 1018 15. Kunne simuleres korrekt med numeriske ligningsløser med variabelt tidsskridt i intervallet 1 til
1019 10 ms.
- 1020 16. Kunne simuleres korrekt med numeriske ligningsløser med et fikseret tidsskridt på 1 ms.
- 1021 17. Ikke indeholde krypterede eller kompilerede dele (accepteres ikke), medmindre andet aftales
1022 med Energinet, da Energinet skal kunne kvalitetssikre resultaterne fra simuleringens model og
1023 vedligeholde denne uden begrænsninger ved softwareopdatering m.m.

1024
1025 For at sikre integration med Energinets samlede net- og systemmodel, stilles der desuden krav til struk-
1026 turen af den dynamiske model. Produktionsanlæggets dynamiske model skal:

- 1027 1. Kun indeholde relevante dele. Dele, der er out of service, må ikke indgå i modellen.
- 1028 2. Indeholde en 'base case' study case uden aktive operational scenarios eller variations, som af-
1029 spejler produktionsanlæggets påtænkte normaldriftsindstillinger.
- 1030 3. Model dannes i et enkelt grid, der indeholder samtlige statiske komponenter, samt composite
1031 models.
- 1032 4. Model dannes med en overordnet composite model (.ElmComp), som indeholder samtlige:
- 1033 a. Common models (.ElmDsl).
- 1034 b. Anvendte målinger (.ElmPhi_pll, .StaPqmea, .StaVmea, .Stalmea etc.).
- 1035 5. Have samtlige anvendte block definitions (.BlkDef) liggende i en separat mappe, som inddeles i
1036 tre forskellige undermapper:
- 1037 a. Frames (indeholder signalforbindelser).
- 1038 b. Macros (indeholder matematiske udtryk, uden grafisk repræsentation).
- 1039 c. Model definitions (indeholder både matematiske udtryk og signalforbindelser).
- 1040 6. Have samtlige anvendte komponenttyper liggende i en separat mappe.

1041 3.2.2.3 Modelleverancer

1042 RMS-modellen skal ved levering bestå af følgende:

- 1043 • DlgSILENT PowerFactory simuleringsmodel i seneste udgave
 - 1044 ○ En funktionel RMS simuleringsmodel, som overholder krav i afsnit 3.2.2, skal leveres
 - 1045 ○ for produktionsanlægget forbundet til en simpel modelrepræsentation af det kollektive
 - 1046 ○ elforsyningsystem, fx en Théveninækvivalent model.
- 1047 • Brugervejledning med beskrivelse af:
 - 1048 ○ Modellernes strukturelle opbygning samt beskrivelser af simuleringsmodellernes pa-
 - 1049 ○ rametrering og gyldige randbetingelser i form af arbejds punkter og eventuelle restriktioner
 - 1050 ○ i relation til netforhold (kortslutningsforhold og R/X-forhold) i tilslutningspunktet og i
 - 1051 ○ fejlstedet i forbindelse med simulering af eksterne hændelser i det kollektive elforsynings-
 - 1052 ○ system.
 - 1053 ○ De i simuleringsmodellen implementerede kontrol-, beskyttelses- og reguleringsfunktioner
 - 1054 ○ til brug ved evaluering af anlæggets egenskaber i tilslutningspunktet.
 - 1055 ○ Modelantagelser og anvendelse af RMS-modellen.
 - 1056 ○ Modelbegrænsninger og alle de af produktionsanlæggets funktioner, der ikke er inkluderet
 - 1057 ○ i RMS-modellen, som ville kunne antages at have betydning for produktionsanlæggets
 - 1058 ○ dynamiske egenskaber og performance.
 - 1059 ○ Den anvendte modelaggregeringsmetode jf. kravene i afsnit 3.2.5.
 - 1060 ○ Hvorledes simuleringsmodellen kan integreres i en større net- og systemmodel, som
 - 1061 ○ anvendt af Energinet.
 - 1062 ○ Opsætning og initialisering af simuleringsmodellen.
 - 1063 ○ Parametre for de enkelte modelkomponenter, herunder mætning, ulinearitet, dødbånd,
 - 1064 ○ tidsforsinkelser samt begrænsningsfunktioner (non-wind-up/anti wind-up) samt look-up
 - 1065 ○ tabeldata og anvendte principper for interpolation m.m.
 - 1066 ○ Simuleringsmodellens indgangs- og udgangssignaler, hvor dette som minimum skal omfatte
 - 1067 ○ følgende:
 - 1068 ■ Aktiv effekt.
 - 1069 ■ Reaktiv effekt.
 - 1070 ■ Setpunkter for:
 - 1071 • Aktiv effektregulering.
 - 1072 • Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering).
 - 1073 • Q-regulering (Mvar-regulering).
 - 1074 • Spændingsregulering inklusive parametre for anvendt droop/kompounding.
 - 1075 • Frekvensregulering (statik og dødbånd).
 - 1076 • Systemværnsindgreb (slutværdi og gradient for regulering af aktiv effekt).
 - 1077 ■ Signal for aktivering af systemværn.
 - 1078 ■ Styresignaler for eventuelle eksterne netkomponenter, fx STATCOMs eller energilagringssystemer m.m.
- 1079 • Data for netkomponenter og øvrige dele, som indgår i anlægsinfrastrukturen. Data skal have et
- 1080 • omfang og et detaljeringsniveau, som muliggør opbygning af en komplet, fuldt funktionsdygtig
- 1081 • simuleringsmodel, som krævet i afsnit 2.
- 1082 • Verifikationsrapporter for RMS-modellen, som specificeret i afsnit 4.
- 1083
- 1084
- 1085
- 1086

1087 3.2.2.4 Nøjagtighedskrav til RMS-simuleringsmodeller af asynkrone produktionsanlæg

1088 RMS-simuleringsmodellen skal repræsentere det asynkrone produktionsanlægs stationære og dynami-
1089 ske egenskaber i tilslutningspunktet tilstrækkeligt nøjagtigt. Anlægsejeren skal, underlagt kravene i
1090 dette afsnit, gennem sammenligning af tests af produktionsanlægget og RMS-simuleringsmodellen do-
1091 kumentere dette.

1092
1093 Produktionsanlæggets dynamiske respons er inddelt i to kategorier, hvortil der er separate nøjagtig-
1094 hedskrav og krav til de udførte tests:

- 1095
- 1096 1) Produktionsanlæggets dynamiske respons på momentane spændingsændringer i nettilslut-
 - 1097 ningspunktet.
 - 1098 2) Produktionsanlæggets dynamiske respons ved ændring af dets stationære arbejds punkt.
- 1099

1100 3.2.2.4.1 Nøjagtighedskrav ved momentane spændingsændringer i nettilslutningspunktet

1101 Momentane spændingsændringer i produktionsanlæggets tilslutningspunkt forekommer fx i forbindelse
1102 med kortslutning af en netkomponent eller i forbindelse med manuel kobling med en netkomponent i
1103 det kollektive elforsynings system.

1104
1105 Verificering af nøjagtigheden, på den dynamiske simuleringsmodels repræsentation af produktionsan-
1106 læggets samlede dynamiske respons, på denne type hændelser, må oftest foretages som en afledt nøj-
1107 agtighedsverifikation med hver enkelt type delanlæg. Det vil sige, at nøjagtighedskravet til produktions-
1108 anlæggets samlede dynamiske simuleringsmodel betragtes som værende opfyldt, såfremt de dynamiske
1109 simuleringsmodeller af hvert type delanlæg overholder samme nøjagtighedskrav.

1110
1111 Nøjagtigheden fastlægges på baggrund af beregning af afvigelsen mellem modellens simulerede re-
1112 spons og den tilsvarende målte værdi. Afvigelsen defineres som: $X_E(t) = X_{sim}(t) - X_{målt}(t)$. Den beregnede
1113 afvigelse evalueres ved anvendelse af nedenstående størrelser defineret i [6] afsnit 6.4.3.

- 1114
- 1115 • MXE - Den maksimale afvigelse (the maximum error).
 - 1116 • ME – Den gennemsnitlige afvigelse (the mean error).
 - 1117 • MAE – Den gennemsnitlige absolutte afvigelse (the mean absolute error).
- 1118

1119 Bilag 1 viser, hvilke af produktionsanlæggets elektriske signaler er omfattet af ovenstående nøjagtig-
1120 hedskrav.

1121
1122 Nøjagtighedskrav til hver af disse størrelser, fastsættes i henhold til tidsvinduerne defineret i [6] afsnit
1123 6.4.4, se Figur 1 (figuren viser spændingsfald, men gælder også spændingsstigning). Tidsvinduerne er:

1124

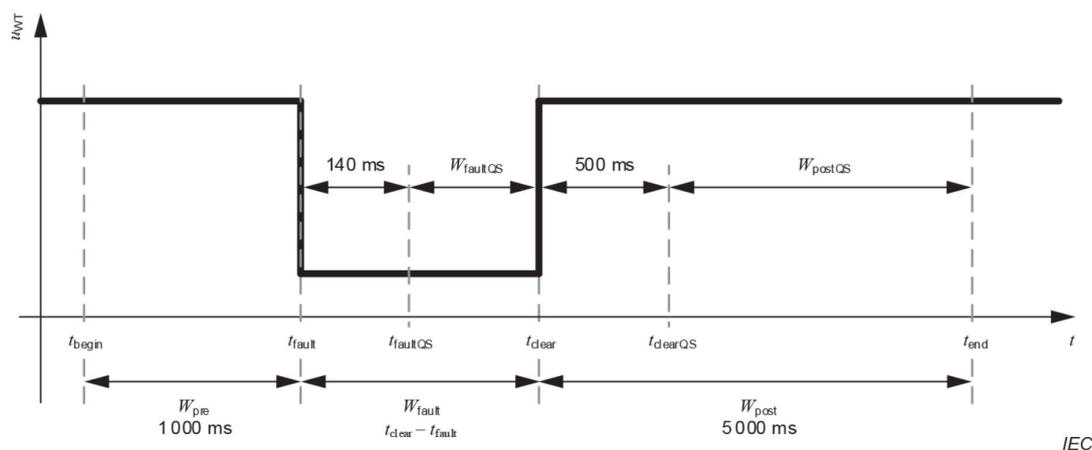
- 1125 • W_{pre} er tidsvinduet før spændingsændring (t_{begin} to t_{fault}).
 - 1126 • W_{fault} er tidsvinduet under spændingsændringen (t_{fault} to t_{clear}).
 - 1127 • W_{post} er tidsvinduet efter spændingsændringen (t_{clear} to t_{end}).
- 1128

1129 Det samlede tidsvindue for spændingsændringen er afgrænset af t_{begin} og t_{end} , hvor disse er defineret
1130 som:

1131

- 1132 • t_{begin} er 1000 ms før t_{fault} .
 - 1133 • t_{end} er 5000 ms efter t_{clear} .
- 1134

1135 Hermed er nøjagtighedskrav i forbindelse med momentane spændingsændringer afgrænset til t_{end} , for
 1136 verificering af nøjagtighed. Efter t_{end} er det kravene specificeret i afsnit 3.2.2.4.2, som er gældende.
 1137



1138

1139 *Figur 1 – Tidsvindue for momentan spændingsændring jf. [6].*

1140

1141 Som vist på Figur 1 er der defineret yderligere to tidsvinduer, som dækker de quasi-stationære perioder
 1142 efter $t_{faultQS}$ og $t_{clearQS}$. Disse tidsvinduer er:

1143

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

1145

1146

1147 Disse tidsvinduer anvendes for at kunne differentiere mellem krav til de transiente perioder efter t_{fault}
 1148 og t_{clear} og de efterfølgende quasi-stationære forløb. Dermed fastsættes tidsvinduerne, hvor hver af
 1149 størrelserne (MXE, ME og MAE) beregnes for den dynamiske simuleringens model, som angivet i Tabel 2.
 1150 Bemærk, at Tabel 2 afviger fra specifikationen i [6], og at det er Tabel 2, som er gældende.

1151

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}

1152 *Tabel 2 – Tidsvinduer for beregning af afvigelse for RMS-modeller.*

1153

1154 Tabel 3 angiver de tilladelige tolerancer for hvert relevant signal og hvert kriterie i de definerede tidspe-
 1155 rioder [6]. Tolerancerne er opgivet i per unit. For aktiv effekt og reaktiv effekt er basen produktionsan-
 1156 læggets nominelle aktive effekt. For strømmens aktive og reaktive komponent er basen anlæggets nomi-
 1157 nelle strøm, jf. definitionen i [6].

1158

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

1159 *Tabel 3 Nøjagtighedskrav - tilladelige afvigelser.*

1160 Nøjagtighedskravene specificeret i Tabel 3 gælder for både positive- og negativsekvens værdier i til-
 1161 fælde af asymmetriske hændelser.

1162

1163 Simuleringsmodellen må generelt ikke vise egenskaber, der ikke kan påvises for det fysiske produktions-
 1164 anlæg.

1165

1166 3.2.2.4.2 Nøjagtighedskrav i forbindelse med ændringer af produktionsanlæggets arbejds punkt

1167 Begrebet *ændringer af produktionsanlæggets arbejds punkt* omfatter i denne sammenhæng ændringer
 1168 af produktionsanlæggets stationære arbejds punkt, fx:

- 1169 - Manuelle setpunktsændringer af aktiv eller reaktiv effektudveksling i nettilslutningspunktet.
- 1170 - Returnering til stabilt arbejds punkt efter forstyrrelse af aktiv eller reaktiv effektudveksling i
 1171 nettilslutningspunktet. Fx ved udkobling af delanlæg.
- 1172 - Automatisk ændring af anlæggets reaktive effekt setpunkt som følge af en ændring i spændin-
 1173 gen i nettilslutningspunktet.
- 1174 - Automatisk ændring af anlæggets aktive effekt setpunkt som følge af aktivering af FSM, LFSM-
 1175 O eller LFSM-U.
- 1176 - Returnering til stabilt arbejds punkt efter fejl og resulterende FRT-forløb.
- 1177 - Ændring af anlæggets arbejds punkt som følge af en ændring i den tilrådelige effekt.

1178

1179 Den dynamiske simuleringsmodells repræsentation af produktionsanlæggets dynamik ifm. regulering af
 1180 dets arbejds punkt er underlagt følgende nøjagtighedskrav:

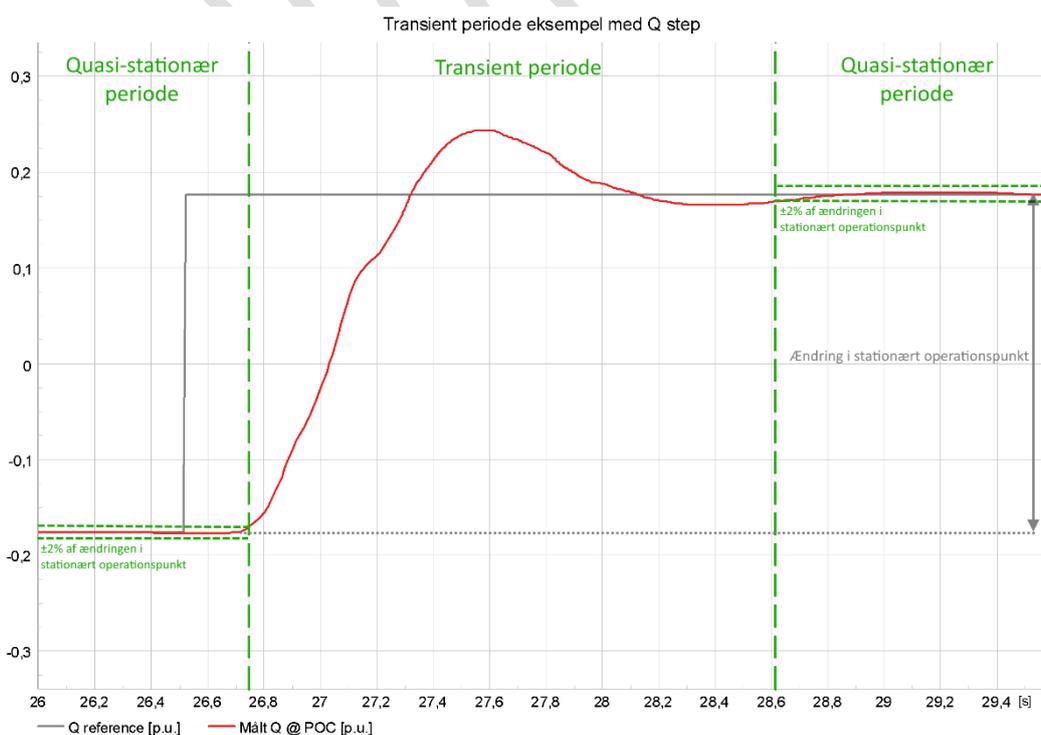
1181

1182 Regulering af produktionsanlæggets arbejds punkt er inddelt i to perioder. Den transiente periode og
 1183 den quasi-stationære periode, se Figur 2. I den transiente periode foregår hovedparten af produktions-
 1184 anlæggets regulering til det nye stationære operationspunkt.

1185 Den transiente periode begynder første gang, at differencen mellem produktionsanlæggets regulering
 1186 og den forrige stationære værdi overstiger $\pm 2\%$ af ændringen i det stationære operationspunkt. Den
 1187 transiente periode slutter, når produktionsanlægget forbliver reguleret inden for $\pm 2\%$ af ændringen i
 1188 stationært operationspunkt fra den endelige stationære værdi.

1189 Den del af responset, der ikke er i en transient-periode, er i en quasi-stationær periode.

1190



1191

1192 *Figur 2 – Eksempel på den transiente periode, som den skal defineres fra den målte respons (rød).*

1193 For signalerne aktiv og reaktiv effektudveksling i nettilslutningspunktet gælder:

1194

1195 1) I den transiente periode skal den absolutte difference mellem produktionsanlæggets respons
1196 og den dynamiske simuleringsmodells korresponderende respons til enhver tid være inden for
1197 den **mindst** restriktive af følgende tolerancer:

1198 a) 10% af produktionsanlæggets ændring i stationærværdien.

1199 b) 2% af produktionsanlæggets nominelle effekt.

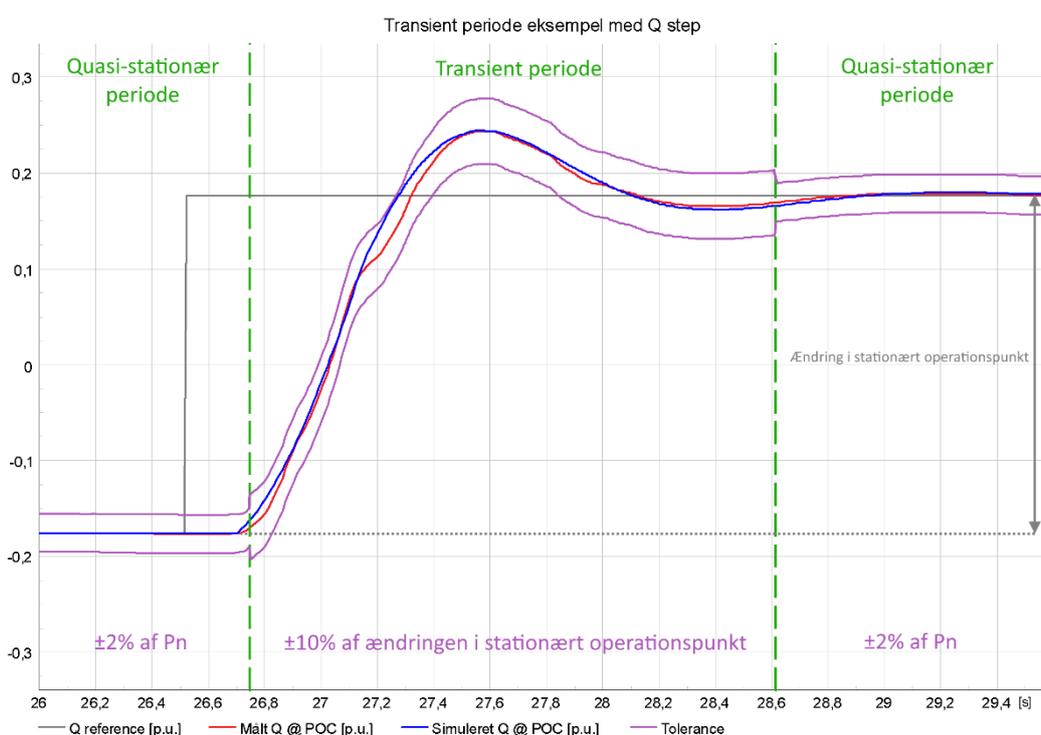
1200

1201 2) I den quasi-stationære periode skal den absolutte difference mellem produktionsanlæggets
1202 respons og RMS-simuleringsmodellens korresponderende respons være inden for en tolerance
1203 på 2% af produktionsanlæggets nominelle effekt.

1204

1205 Ovenstående nøjagtighedskrav er illustreret på Figur 3.

1206



1207

1208 *Figur 3 – Samme eksempel som Figur 2, her med den simulerede respons overlejret (blå) og tolerancerne*
1209 *påtegnet (lilla). Ændringen i det stationære operationspunkt er på 0,35 p.u., og derved bliver*
1210 *tolerancen i den transiente periode ±0,035 p.u.*

1211

1212 Anlægssejeren skal planlægge, udføre og dokumentere en modelverificering på det specifikke anlæg for
1213 at dokumentere, at ovenstående nøjagtighedskrav er opfyldt.

1214

1215

1216 3.2.3 Krav til transient simuleringsmodel (EMT-model)

1217 Den transiente simuleringsmodel leveret af anlægsejeren skal være en nøjagtig repræsentation af det
 1218 samlede anlæg såvel som specifikke komponenter. Modellen skal indeholde anlægsspecifikke indstillin-
 1219 ger og repræsentere anlæggets stationære og dynamiske egenskaber i tilslutningspunktet, gældende
 1220 for det definerede normaldriftsområde [1] og under alle relevante netforhold, hvor produktionsanlæg-
 1221 get skal kunne drives. Modellen skal være nøjagtig til at studere transienter på systemniveau, hvor fre-
 1222 kvensområdet kan være i størrelsesordenen få Hz til få kHz.

1223
 1224 Anlægsejer har til ansvar at levere en transient simuleringsmodel af produktionsanlægget til Energinet i
 1225 henhold til specifikationerne i afsnit 3.2.3.1, 3.2.3.2, 3.2.3.3 og 3.2.3.4.

1226
 1227 Simuleringsmodellen skal kunne integreres i Energinets samlede net- og systemmodel uden at have en
 1228 problematisk indvirkning på anvendelsen af denne. Modelkravene specificeret i følgende underafsnit
 1229 har bl.a. til formål at forebygge dette, men såfremt simuleringsmodellen alligevel giver udfordringer ved
 1230 integration i Energinets samlede net- og systemmodel, er det anlægsejerens ansvar at finde en løsning
 1231 på dette i samarbejde med Energinet. I praksis vil det foregå således, at modeller testes og godkendes
 1232 inden tildeling af ION på baggrund af kravene i de følgende underafsnit. Efter udstedelse af ION vil Ener-
 1233 ginet teste simuleringsmodellens performance ved integration i en større systemmodel, og eventuelle
 1234 udfordringer skal håndteres, inden endelig modelgodkendelse kan gives, jf. krav til FON.

1235
 1236 Simuleringsmodellen skal verificeres, som specificeret i afsnit 4.

1237 1238 3.2.3.1 Funktionelle modelkrav

1239 Den transiente simuleringsmodel skal kunne repræsentere produktionsanlæggets stationære og dyna-
 1240 miske egenskaber i forbindelse med setpunktsændringer for anlæggets produktion af aktiv og reaktiv
 1241 effekt, herunder ændring af reguleringsform for dette, samt nedenstående eksterne hændelser, eller
 1242 kombinationer af disse eksterne hændelser i det kollektive elforsyningssystem:

- 1243 • Generatornære fejl set fra tilslutningspunktet i henhold til den påkrævede FRT-karakteristik
 1244 [1], hvor en kortslutning her kan antage form som:
 - 1245 ○ En fase-jord kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
 - 1246 ○ En tofasets kortslutning uden eller med jordberøring med en vilkårlig impedans i fejl-
 1247 stedet.
 - 1248 ○ En trefasets kortslutning med en vilkårlig impedans i fejlstedet.
- 1249 • Udkobling af, og mulig efterfølgende automatisk genindkobling af, en vilkårlig fejlramt netkom-
 1250 ponent i det kollektive elforsyningssystem, jf. ovenstående fejlforløb, og det afledte vektor-
 1251 spring i tilslutningspunktet.
- 1252 • Manuel ind- eller udkobling (uden forudgående fejl) af en vilkårlig netkomponent i det kollek-
 1253 tive elforsyningssystem og det afledte vektorspring i tilslutningspunktet.
- 1254 • Spændingsforstyrrelser og tenderende spændingskollaps med en varighed inden for den på-
 1255 krævede minimumssimuleringsperiode, jf. nedenstående, og som minimum inden for indsvingnings-
 1256 forløbet for produktionsanlæggets overgang til en ny stationær tilstand.
- 1257 • Frekvensforstyrrelser med en varighed inden for den påkrævede minimumssimuleringsperiode, jf.
 1258 nedenstående, og som minimum inden for indsvingningsforløbet for produktionsanlæggets
 1259 overgang til en ny stationær tilstand.
- 1260 • Aktivering af et pålagt systemværn (via et eksternt signal) til hurtig regulering af produktions-
 1261 anlæggets aktive effektproduktion i henhold til en foruddefineret slutværdi og gradient.

1262
 1263 Den leverede transiente simuleringsmodel skal:

- 1264 1. Indeholde alle relevante regulerings-, kontrol og beskyttelsesfunktioner. Dette inkluderer fx:
- 1265 a. En fuld repræsentation af de indre og ydre reguleringsløjfer for effektelektronik-ba-
- 1266 serede anlæg, herunder bl.a. spændingskontrol, phase-locked loop, fault ride-
- 1267 through-logik, dæmpningskontrol, begrænserfunktioner. Dette gælder også alle rele-
- 1268 vante fysiske elektriske og mekaniske komponenter som fx filtre, transformere, shunt-
- 1269 komponenter, gearbox, pitch controller, generatorer, DC-link chopper mm.
- 1270 b. En fuld repræsentation af plant-level regulering, herunder parkregulatoren (PPC). som
- 1271 inkluderer tidsforsinkelser, transition til og fra fault ride-through modes mm.
- 1272 c. Samtlige påkrævede reguleringsfunktioner [1].
- 1273 d. Modellen skal omfatte alle kontrol- og beskyttelsesfunktioner på anlægsniveau og in-
- 1274 verterniveau, som implementeret i det faktiske udstyr, heriblandt
- 1275 i. Indstillinger for spændings- og frekvensbeskyttelse,
- 1276 ii. Fault ride-through-aktiverings og deaktiveringsindstillinger,
- 1277 iii. Indstillinger for injektion af aktive og reaktive strømme under en fejl.
- 1278 2. For produktionsenheder med en nettilsluttet konverter skal anlægsejer i deres EMT-model re-
- 1279 præsentere konverterens skiftedynamikker enten på transistorniveau eller som en styret
- 1280 spændingskilde-/strømkildeapproximation ('average' model). Såfremt modellen er baseret på
- 1281 en 'average' modelrepræsentation, skal anlægsejer verificere, at kontrol- og beskyttelsesfunk-
- 1282 tionaliteterne ikke er forenklede, og modellen er velegnet til dynamisk responsanalyse i områ-
- 1283 det fra Hz-kHz. Ved brug af average model skal denne lave et gennemsnit med skiftfrekven-
- 1284 sen for anlæggets dynamikker, så hurtige reguleringsløjfer bevarer, og det udelukkende er
- 1285 skiftedynamikken og eventuel pulsbreddemodulation, der udelades. Denne average modelre-
- 1286 præsentation skal stadig kunne korrekt repræsentere de dynamikker, der er imellem DC-siden
- 1287 og AC-siden af anlægget (fx DC-link-dynamik, vindmøllers mekaniske dynamik eller solcellers
- 1288 dynamik), hvilket skal dokumenteres af anlægsejer.
- 1289 3. Kunne initialiseres på maksimalt 3 sekunders simuleringstid.
- 1290 4. Simuleringstidspunkt for påbegyndelse af EMT-modellens injektion af tilsyneladende effekt
- 1291 skal kunne indstilles af brugeren.
- 1292 5. Simuleringstidspunkt for aktivering af produktionsanlæggets beskyttelsessystemer i EMT-
- 1293 modellen skal kunne indstilles af brugeren.
- 1294 6. Som minimum kunne benyttes i frekvensområdet fra 47,5 Hz til 51,5 Hz og i spændingsområ-
- 1295 det fra 0,0 pu til 1,4 pu.
- 1296 7. Kunne beskrive produktionsanlæggets dynamiske egenskaber i mindst 60 sekunder efter en-
- 1297 hver af ovenstående setpunktsændringer og eksterne hændelser i det kollektive elforsynings-
- 1298 system.
- 1299 8. Være numerisk stabil ved gennemførelse af en simulering på minimum 60 sekunder uden på-
- 1300 trykning af et hændelsesforløb eller ændring af randbetingelser, hvor de simulerede værdier
- 1301 for aktiv effekt, reaktiv effekt, spænding og frekvens skal forblive konstante under hele simule-
- 1302 ringsforløbet.
- 1303 9. EMT-modellen skal repræsentere alle komponenter, reguleringsystemer og beskyttelsessyste-
- 1304 mer relevante for EMT-analyser, herunder også det samlede anlægs parkregulator.
- 1305 10. Netkomponenter og øvrige dele, som indgår i anlægsinfrastrukturen, skal implementeres i
- 1306 EMT-modellen i et omfang og et detaljeringniveau, der er gyldig for EMT-studier. Dette inklu-
- 1307 derer opsamlingskabler, transformere, filtre m.m. Omfanget af leverancen godkendes af Ener-
- 1308 ginet. Hvis kabler er modelleret med PI-sektioner, skal deres frekvensafhængige karakteristik-
- 1309 ker valideres mod geometriske modeller.

- 1310 11. For produktionsenheder med mekanisk drivtøj skal EMT-modellen indeholde en mekanisk
1311 svingningsmassemodel for produktionsanlæggets drivtøj inklusive dokumentation af inertikon-
1312 stanter, egenfrekvenser samt fjeder- og dæmpningskonstanter, såfremt dette er relevant for
1313 repræsentationen af produktionsanlæggets stationære og dynamiske egenskaber.
- 1314 12. EMT-modellen skal repræsentere produktionsanlæggets FRT-egenskaber [1].
- 1315 13. Hvis produktionsanlægget har særlige funktioner, som eksempel et reguleringsregime for sær-
1316 ligt svagt net, skal disse funktioner inkluderes i EMT-modellen. En relevant modelteknisk be-
1317 skrivelse af de særlige funktioner og disses begrænsninger skal inkluderes i EMT-modellens
1318 brugervejledning.
- 1319 14. Modellen skal være gyldig for stationære driftsforhold.
- 1320 15. EMT-modellen skal være anvendelig for EMT-simuleringer af balancerede samt ubalancerede
1321 fejl og afbrydelse af produktionsanlæggets forbindelse til det kollektive elforsyningssystem.
- 1322 16. For produktionsanlæg med varierende primær energikilde skal det være muligt at justere på
1323 den tilgængelige effekt, også under simulering (som fx vindhastighed eller solindstråling).
- 1324 17. Såfremt produktionsanlægget indeholder eksterne komponenter, fx af hensyn til overholdelse
1325 af nettilslutningskravene eller til levering af kommercielle systemydelser, skal simuleringssmo-
1326 dellens indeholde den nødvendige repræsentation af disse komponenter, som krævet i afsnit 2.
- 1327

1328 3.2.3.2 Modelformat

- 1329 1. EMT-modellen skal udvikles og leveres i PSCAD/EMTDC og være kompatibel med PSCAD ver-
1330 sion 4.6.3 og nyere.
- 1331 2. Hvis produktionsanlægget består af flere identiske produktionsenheder, skal EMT-modellen
1332 aggregeres som beskrevet i afsnit 3.2.5. Den aggregerede model skal være skalerbar ved hjælp
1333 af en indbygget funktion eller ved hjælp af en ekstern PSCAD 'skalerings'-komponent.
- 1334 3. For hybride anlæg bestående af flere forskellige typer af produktionsenheder skal EMT-
1335 modellen korrekt repræsentere hver af disse typer.
- 1336 4. EMT-modellen skal kunne anvendes med et tidsskridt på 10 mikrosekunder. Hvis anlægsejer
1337 ønsker at anvende et andet tidsskridt end 10 mikrosekunder, skal dette godkendes af Energi-
1338 net.
- 1339 5. EMT-modellen skal valideres for simuleringer ved forskellige simuleringstidsskridt. Modellen
1340 skal give tilnærmelsesvis samme resultater ved transiente simuleringer med ethvert tidsskridt i
1341 det gyldige interval.
- 1342 6. EMT-modellen skal kunne optræde funktionelt flere gange i samme PSCAD-simuleringsfil, uden
1343 at dette leder til, at væsentlige ændringer skal foretages. Derfor skal EMT-modellen kunne
1344 indgå som adskillige 'definitions' eller adskillige 'instances'. Hvis modellen indeholder et alter-
1345 nativ til brug af adskillige 'definition' eller 'instance', skal dette beskrives i brugervejledningen.
- 1346 7. EMT-modellen skal understøtte brug af PSCAD/EMTDCs 'snapshot'-funktion. Det påkræves, at
1347 modellen viser samme svar med og uden brug af snapshot-funktionen.
- 1348 8. EMT-modellen skal understøtte brug af PSCAD/EMTDCs 'multiple run'-funktion.
- 1349 9. Alle for EMT-analyser relevante funktionsindstillinger i produktionsanlæggets reguleringsssy-
1350 stem, der kan ændres enten lokalt eller ved fjernkontrol, skal være tilgængelige parametre i
1351 simuleringssmodellen. Omfanget af leverancen godkendes af Energinet.
- 1352 10. Alle relevante setpunkter og indstillinger på det virkelige anlæg skal være tilgængelige i den
1353 transiente simuleringssmodel. Hvert input må ikke kræve justering mere end ét sted og skal
1354 kunne justeres både før og under dynamisk simulering, herunder:
- 1355 a. Aktiv effektregulering.
- 1356 b. Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering).
- 1357 c. Q-regulering (Mvar-regulering).
- 1358 d. Spændingsregulering (inklusive parametre for droop/komponering).

- 1359 e. Frekvensregulering (statik og dødbånd).
- 1360 11. Yderligere skal alle setpunkter og indstillinger angives med fortegn i henhold til generatorkon-
- 1361 vention [4].
- 1362 12. Setpunkter for aktiv effekt, reaktiv effekt og spænding skal angives i per unit i henhold til pro-
- 1363 duktionsanlæggets nominelle aktive effekt og spænding i nettilslutningspunktet.
- 1364 13. Setpunkt for effektfaktor-regulering skal angives ved $\cos \phi$.
- 1365 14. Det skal være muligt at skifte mellem samtlige påkrævede reguleringsfunktioner for aktiv og
- 1366 reaktiv effekt både før og under dynamisk simulering.
- 1367 15. Alle elektriske, mekaniske, regulerings og beskyttelsessignaler relevante for EMT-analyser af
- 1368 det kollektive elforsyningssystem skal være tilgængelige i EMT-modellen. Omfanget af leveran-
- 1369 cen godkendes af Energinet. Særligt fremhæves herunder:
- 1370 a. Den interne kontrols reference for måling af spændinger og strømme i dq-domænet
- 1371 (V_d/V_q og I_d/I_q) for effektelektronik-baserede anlæg.
- 1372 b. PLL udgangssignal, for anlæg som anvender phase-locked-loop (PLL) til synkronisering.
- 1373 16. EMT-modellen må indeholde prækompilerede og krypterede dele. EMT-modellens kompil-
- 1374 rede dele skal være DLL-baseret. EMT-modellen skal være kompatibel med systemoperatørens
- 1375 simuleringsmiljø, hvor kompiler-indstillinger (version og kompatibelt versionsinterval af Intel
- 1376 Fortran og MS Visual Studio) aftales mellem anlægsejer og systemoperatøren.
- 1377 17. EMT-modellen må ikke bruge eller være afhængig af global variable i PSCAD.
- 1378 18. EMT-modellen må ikke gøre brug af flere lag i PSCAD-værktøjet, inklusiv 'disabled' lag.
- 1379

1380 3.2.3.3 Modelleverancer

1381 EMT-modellen skal ved levering bestå af følgende:

- 1382 • PSCAD/EMTDC-simuleringsmodel, version efter aftale med Energinet.
 - 1383 ○ En funktional PSCAD-simuleringsmodel, der overholder krav i afsnit 0, skal leveres for
 - 1384 produktionsanlægget forbundet til en simpel modelrepræsentation af det kollektive
 - 1385 elforsyningssystem, fx en Théveninækvivalent model.
 - 1386 ○ Identificer tydeligt producentens EMT-modeludgivelsesversion og den relevante tilhø-
 - 1387 rende hardware-firmwareversion.
- 1388 • Brugervejledning med beskrivelse af:
 - 1389 ○ modellernes strukturelle opbygning samt beskrivelser af simuleringsmodellernes pa-
 - 1390 rametrering og gyldige randbetingelser i form af arbejds punkter og eventuelle restriktioner
 - 1391 i relation til netforhold (kortslytningsforhold og R/X-forhold) i tilslutningspunktet
 - 1392 og i fejlstedet i forbindelse med simulering af eksterne hændelser i det kollektive
 - 1393 elforsyningssystem.
 - 1394 ○ modelantagelser og anvendelse af EMT-modellen.
 - 1395 ○ modelbegrænsninger og alle de af produktionsanlæggets funktioner, der ikke er inklud-
 - 1396 eret i EMT-modellen, som ville kunne antages at have betydning for produktionsan-
 - 1397 læggets transiente elektriske egenskaber og performance.
 - 1398 ○ den anvendte modelaggregering, jf. kravene i afsnit 3.2.5.
 - 1399 ○ hvorledes simuleringsmodellen kan integreres i en større net- og systemmodel, som
 - 1400 anvendt af Energinet.
 - 1401 ○ højeste mulige tidskridt.
 - 1402 ○ hvor mange 'definitions' og 'instances', der kan oprettes af modellen.
 - 1403 ○ opsætning og initialisering af simuleringsmodellen.
 - 1404 ○ Parametre for de enkelte modelkomponenter, herunder mætning, ulinearitet, dødbånd,
 - 1405 tidsforsinkelser samt begrænsningsfunktioner (non-wind-up/anti wind-up) samt
 - 1406 look-up tabeldata og anvendte principper for interpolation m.m.

- 1407
- 1408
- 1409
- 1410
- 1411
- 1412
- 1413
- 1414
- 1415
- 1416
- 1417
- 1418
- 1419
- 1420
- 1421
- 1422
- 1423
- 1424
- 1425
- 1426
- 1427
- simuleringsmodellens indgangs- og udgangssignaler, hvor dette som minimum skal omfatte følgende:
 - Aktiv effekt.
 - Reaktiv effekt.
 - Setpunkter for:
 - Aktiv effektregulering.
 - Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering).
 - Q-regulering (Mvar-regulering).
 - Spændingsregulering inklusive parametre for anvendt droop/kompounding.
 - Frekvensregulering (statik og dødbånd).
 - Systemvænsindgreb (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 detaljningsniveau, som muliggør opbygning af en komplet, fuldt funktionsdygtig simuleringsmodel, som krævet i afsnit 2.
 - Verifikationsrapporter for EMT-modellen, som specificeret i afsnit 4.

1428 3.2.3.4 Nøjagtighedskrav

1429 Nøjagtigheden af den påkrævede transiente simuleringsmodel fastlægges på samme måde som for den
 1430 dynamiske simuleringsmodel (RMS-model), jf. afsnit 3.2.2.4, ved anvendelse af passende filtrering til
 1431 beregning af grundtonekomponenten af målte og simulerede værdier. Metoden anvendt til filtrering
 1432 aftales mellem anlægsejer og Energinet. Nøjagtighedskravet til den transiente simuleringsmodel og den
 1433 anvendte evalueringsmetode er dermed identisk med krav for den påkrævede dynamiske simulering-
 1434 model, dog med undtagelse af tidsvinduerne for hvilke størrelserne (MXE, ME og MAE) beregnes, jf.
 1435 krav til momentane spændingsændringer. For den transiente simuleringsmodel skal størrelserne bereg-
 1436 nes som angivet i Tabel 4.

1437

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

1438 *Tabel 4 – Tidsvinduer for beregning af afvigelse for EMT-modeller.*

1439

1440 Yderligere for asynkrone anlæg, som er nettilsluttet via en konverter (effektelektronik-baserede anlæg),
 1441 gælder nøjagtighedskravene til aktiv og reaktiv strømkomponent også for den interne controls omreg-
 1442 ning af måleværdier til dq-domænet (I_d og I_q), når relevant for både positiv- og negativsekvens.

1443

1444 Derudover anvendes sammenligning af øjebliksværdier for strøm og spænding til verificering af simule-
 1445 ringsmodellens nøjagtighed i forbindelse med de transiente forløb ved spændingsændringer. Dette gæl-
 1446 der kun ved verificering af enkeltanlæg, og omfang er beskrevet i afsnit 4.3.3. Sammenligning af øje-
 1447 bliksværdier er ikke underlagt kvantitative nøjagtighedskrav, men verificering er baseret på en visuel
 1448 inspektion og ingeniørfaglig vurdering. Ved vurdering af øjebliksværdierne er fokus på amplitude og
 1449 oscillationsfrekvens før, under og efter spændingsforstyrrelsen, antallet af perioder for at opnå ny
 1450 steady state, fase-asymmetri samt størrelsen af et eventuelt fasehop.

1451

1452 3.2.4 Krav til harmonisk simuleringsmodel

1453 3.2.4.1 Funktionelle modelkrav

1454 Simuleringsmodellen for det samlede produktionsanlæg skal repræsentere anlæggets emission af har-
1455 moniske overtoner og passive harmoniske respons (harmoniske impedans) i tilslutningspunktet, gæl-
1456 dende for det definerede normaldriftsområde [1] og under alle relevante stationære netforhold, hvor
1457 produktionsanlægget skal kunne drives.

1458

1459 Enkeltanlægsmodel skal leveres som en Théveninækvivalent repræsentativ for produktionsanlæggets
1460 emission af heltals-harmoniske, angivet som RMS-spændinger, samt anlæggets passive respons i fre-
1461 kvensområdet 50 Hz til 2500 Hz. Modellen skal indeholde de relevante synkron-, invers- og nul-se-
1462 kvensimpedanser i det specificerede frekvensområde med frekvensopløsningen på 1 Hz.

1463

1464 Hvis anlægget består af flere produktionsanlæg, skal der foruden enkeltanlægsmodellen leveres en ag-
1465 gregeret simuleringsmodel repræsentativ for den samlede emission samt det samlede passive harmoni-
1466 ske respons i tilslutningspunktet. Krav til frekvensområde og opløsning er identisk med enkeltanlægs-
1467 modellen.

1468

1469 Hvis produktionsanlæggets emission eller impedanser er afhængige af anlæggets arbejds punkt, skal
1470 modellen leveres ved tre effektområder ved nominel spænding og nul reaktiv effekt; $P = 0,0$ pu, $P = 0,5$
1471 pu og $P = 1,0$ pu. Derudover skal det beskrives, hvordan reaktiv effekt påvirker den harmoniske emission
1472 og impedans. Desuden skal anlægsejeren levere en model opsat med højeste emission per harmoniske;
1473 hvor dette er gældende både for den aggregerede samt enkeltanlægsmodellen. Det er anlægsejerens
1474 ansvar at dokumentere afhængighed af arbejds punktet samt at sikre korrekt implementering i model-
1475 lerne.

1476

1477 Det er anlægsejerens ansvar at specificere en metode for summering af emission fra flere produktions-
1478 anlæg. Dette kan enten gøres ved at specificere krav til fastsættelse af vinklen på Théveninspændingen
1479 for hver harmonisk frekvens givet specifikt for hvert produktionsanlæg. Alternativt benyttes en summe-
1480 ringslov, som eksempelvis angivet i [7]. Benyttes en summeringslov, skal α -koefficienterne fastsættes af
1481 anlægsejeren. Der skal redegøres for valg af α -koefficienterne for alle harmoniske. Det er for begge me-
1482 toder anlægsejerens ansvar at redegøre for, at den anvendte metode giver et korrekt respons for pro-
1483 duktionsanlæggets samlede emission.

1484

1485 Data for netkomponenter og øvrige dele, som indgår i anlægsinfrastrukturen, skal have et omfang og et
1486 detaljeringsniveau, som muliggør opbygning af en komplet frekvensafhængig simuleringsmodel i fre-
1487 kvensområdet 50 Hz til 2500 Hz. Dette inkluderer opsamlingskabler, transformere, filtre mm. Omfanget
1488 af leverancen godkendes af Energinet.

1489

1490 3.2.4.2 Modelformat

1491 Den harmoniske enkeltanlægsmodel og aggregeret simuleringsmodel opsat til højeste emission per har-
1492 moniske orden skal leveres enten som tabellata i EXCEL eller som DlgSILENT PowerFactory model, i Po-
1493 werFactory version, som aftales med Energinet. En fulddetaljeret harmonisk model kan udgøre leve-
1494 rance af data for netkomponenter og øvrige dele. En fulddetaljeret harmonisk model skal i så fald leve-
1495 res i DlgSILENT PowerFactory.

1496

1497 Harmoniske emissioner og/eller impedanser, der angiver anlæggets afhængighed af arbejds punkt skal
1498 leveres som tabeldata i EXCEL. Hertil skal relevante data, der muliggør opbygning af en komplet fre-
1499 kvensafhængig simuleringsmodel, leveres i EXCEL. Dette omfatter bl.a. elektriske data for anlægskom-
1500 ponenter og kabellængder internt i anlægget.

1501

1502 3.2.4.3 Modelleverancer

1503 Leverance af den harmoniske simuleringsmodel skal indeholde:

- 1504 • Harmonisk enkeltanlægsmodel opsat med højeste emission per harmoniske orden.
- 1505 • Harmonisk aggregeret simuleringsmodel opsat med højeste emission per harmoniske orden.
- 1506
- 1507 • Teknisk dokumentation og data for
 - 1508 ○ Relevante synkron-, invers- og nul-sekvensimpedanser i frekvensområdet 50 Hz til
 - 1509 2500 Hz med frekvensopløsningen på 1 Hz.
 - 1510 ○ Dokumentation for produktionsanlæggets emission og/eller impedansers afhængig-
 - 1511 hed af anlæggets arbejds punkt.
 - 1512 ○ Netkomponenter og øvrige dele af anlægsinfrastrukturen i omfang og detaljeringsni-
 - 1513 veau, som muliggør opbygning af en komplet frekvensafhængig simuleringsmodel.
 - 1514
 - 1515 • Modelvejledning med beskrivelse af
 - 1516 ○ Modelantagelser og opbygning.
 - 1517 ○ Metode for summering af emission fra flere produktionsanlæg.
 - 1518 ○ Den anvendte modelaggregering og overensstemmelse af denne med komplet har-
 - 1519 monisk simuleringsmodel.
 - 1520

1520

1521 3.2.4.4 Nøjagtighedskrav

1522 Metoden anvendt til opstilling af modellen for den enkelte produktionsenhed skal specificeres og god-
1523 kendes af Energinet. Bestemmes modelparametre ved måling, skal en målerapport vedlægges som do-
1524 kumentation. Desuden skal der redegøres for, hvordan modelparametre fastsættes ud fra målerappor-
1525 tens resultater. Fastsættes modelparametre ved beregning eller simulering, skal metoden anvendt spe-
1526 cificeres, samt eksempler på resultatbehandling for udledning af modelparametre gives.

1527

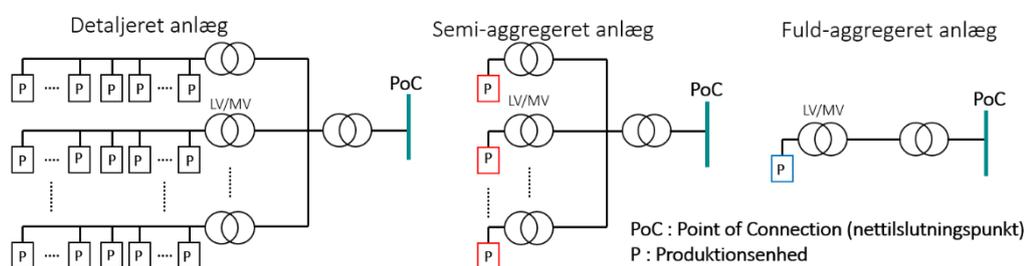
1528 3.2.5 Aggregering af modeller for produktionsanlæg

1529 Produktionsanlægget kan bestå af adskillige mindre enheder, som tilsammen udgør mærkeeffekten af
 1530 produktionen i tilslutningspunktet. For analyser i det kollektive elforsyningssystem implementerer sy-
 1531 stemoperatøren en fuld-aggregeret eller semi-aggregeret model af anlægget afhængig af anlæggets in-
 1532 terne komponenter, symmetri set fra tilslutningspunktet, den elektriske afstand imellem tilslutningspunk-
 1533 tet og interne komponenter og enheder mm.

1534
 1535 Anlægsejer har til ansvar at levere aggregerede simuleringsmodeller af produktionsanlægget til Energi-
 1536 net i henhold til nedenstående specifikation:

- 1537
- 1538 • Krav om model aggregering gælder for de krævede stationære, dynamiske og transiente mo-
 1539 deller.
- 1540 • Det er anlægsejers ansvar at sikre, at den aggregerede dynamiske model er en retvisende re-
 1541 præsentation for det samlede produktionsanlæg i tilslutningspunktet, både under statiske og
 1542 dynamiske forhold, jf. de krav der er nedsat for stationære, dynamiske og transiente modeller i
 1543 afsnit 3.2.1, 3.2.2, 0.
- 1544 • Anlægsejer skal i brugervejledningen for modellen inkludere
 - 1545 ○ beskrivelser af de anvendte principper for aggregering samt eventuelle begrænsnin-
 1546 ger for anvendelsen af dette. Simuleringsmodellens parametring skal indeholde
 1547 komplette datasæt for enkeltanlæg og det aggregerede anlæg.
 - 1548 ○ et verifikationsafsnit, der dokumenterer, at den fuld-aggregerede model er repræsen-
 1549 tativ for en detaljeret repræsentation af anlægget. Hvorvidt dette gøres gennem en
 1550 sammenligning af den fuld-aggregerede model med en detaljeret repræsentation af
 1551 anlægget eller gennem analytiske tiltag, aftales imellem anlægsejer og systemopera-
 1552 tøren.
 - 1553 ○ en beskrivelse af det fulde parklayout.
- 1554 • For de statiske og dynamiske RMS-simuleringsmodeller accepteres kun en fuld-aggregeret mo-
 1555 del af anlægget.
- 1556 • For den transiente EMT-simuleringsmodel, accepteres en semi-aggregeret model af anlægget,
 1557 såfremt anlægsejer kan påvise at en fuld-aggregeret model ikke er tilstrækkelig for retvisende
 1558 at bevare anlæggets dynamiske og transiente egenskaber.
- 1559 • Ved hybride anlæg med flere forskellige typer af produktionsenheder skal der foretages en fuld-
 1560 aggregering af hver enhedstype for sig. Dette gælder både for RMS- og EMT-modeller.

1561
 1562



1563

1564 *Figur 4 - Eksemplificeret enstregdiagram, der visualiserer forskellige aggregeringsniveauer omtalt i nær-*
 1565 *værende dokument.*

1566
 1567

1568 4. Verifikation af simuleringsmodel

1569 Anlægsejeren skal sikre, at simuleringsmodellerne er verificeret [1]. Anlægsejeren er ansvarlig for al ud-
1570 førelse af test til modelverifikation, herunder fremskaffelse af nødvendigt måleudstyr, dataloggere og
1571 personel. Anlægsejeren er desuden ansvarlig for gennemførelse og dokumentation af den påkrævede
1572 modelverifikation, herunder dokumentation af overholdelse af de definerede nøjagtighedskrav til simu-
1573 leringsmodellen.

1574

1575 Omfanget af modelverifikationen fastlægges i samarbejde med Energinet efter oplæg fra anlægsejeren.

1576

1577 4.1 Dokumentationskrav

1578 Anlægsejeren skal dokumentere verifikationen af simuleringsmodeller for produktionsanlægget i form
1579 af rapporter i henhold til testprocedure fastsat i afsnit 4.2 og/eller 4.3. Måleresultater sammenholdes
1580 med de tilsvarende simulerede resultater, og simuleringens nøjagtighed dokumenteres. Model-
1581 verifikationsproceduren betragtes først som afsluttet, når Energinet har godkendt de af anlægsejeren
1582 fremsendte modelverifikationsrapporter.

1583

1584 Rapporter for modelverifikation skal indeholde:

1585

- 1586 1. Beskrivelser af de udførte tests, herunder:
 - 1587 a. Størrelse på sætpunktsændring eller fejlkarakteristik.
 - 1588 b. Aktiv effekt setpunkt ved start.
 - 1589 c. Reaktiv effekt setpunkt ved start.
 - 1590 d. Anvendt net-ækvivalent (impedans) og systemstyrke (SCR).
 - 1591 e. Relevante anlægsindstillinger såsom droops, eller FRT K-faktor.
- 1592 2. Beskrivelser af hvert datasæt, herunder det anvendte måleudstyr og den efterfølgende data-
1593 behandling (herunder evt. efterfølgende tidsforskydning).
- 1594 3. Tabel med signalnavne for målte værdier med tilsvarende signalnavne i simuleringens model.
- 1595 4. Tidsserieresultater for både måling og simulering skal vises grafisk.
 - 1596 a. Begge resultatsæt for given test og signal skal vises i samme graf.
 - 1597 b. Grafer skal have et format, som gør det muligt visuelt at inspicere modellens nøjagtig-
1598 hed både under steady state-konditioner og dynamiske forløb (som fx sætpunktsæn-
1599 dring eller ved fejl-begyndelse og -bortkobling).
- 1600 5. Randbetingelser (nøjagtighedskrav) til de udførte tests.
- 1601 6. Beregning af afvigelsen mellem måling og simulering skal dokumenteres i passende tabeller og
1602 grafer i henhold til de givne randbetingelser og parametre til vurdering af nøjagtighed.
- 1603 7. Redegørelse (årsag) for afvigelser mellem måling og simulering, som overskrider de fastsatte
1604 nøjagtighedskrav, eller som indikerer forskelle i dynamisk respons. Det er ikke acceptabelt blot
1605 at postulere en årsag. Redegørelsen skal underbygges af måledata, evt. med signaler internt i
1606 anlægget.
- 1607 8. Tidsseriemålingerne anvendt til verifikation af simuleringens model skal vedlægges verifikati-
1608 onsrapporten i CSV-format (comma-separated values).

1609

1609 4.1.1 Evalueringskriterier

1610 Godkendelse af modelverifikation sker på baggrund to overordnede principper:

1611

- 1612 • Evaluering af modellen i henhold til de fastsatte kvantitative nøjagtighedskrav (se afsnit 3).
- 1613 • Evaluering af modellen ud fra en ingeniørmæssig vurdering af forventet nøjagtighed.

1613

1614 Energinet har så vidt muligt fastsat kvantitative nøjagtighedskrav for at sikre en objektiv vurdering af
1615 simuleringsmodellers nøjagtighed. Men med henblik på at verificere modellers dynamiske respons (sær-
1616 lig for EMT-modeller) er de kvantitative nøjagtighedskrav ikke tilstrækkelige. Det er muligt, at en model
1617 overholder de kvantitative nøjagtighedskrav, men tendenserne i det simulerede dynamiske respons er
1618 forskellig fra det målte. Og da det ikke er hensigtsmæssigt at fastsætte de kvantitative krav så skrap, at
1619 ens dynamik sikres, er der brug for en visuel inspektion og ingeniørmæssig vurdering i forbindelse med
1620 modelverifikation.

1621 Energinet laver derfor en ingeniørmæssig vurdering med udgangspunkt i forventet nøjagtighed for den
1622 givne model og anlægstype. Vurderingen er baseret på Energinets erfaring og samarbejde med rele-
1623 vante leverandører. Overholdelse af de kvantitative nøjagtighedskrav er altså ikke tilstrækkelig for at få
1624 godkendt modelverifikationen, så frem resultaterne viser væsentlige forskelle i dynamik. Omvendt set
1625 kan enkelte overskridelser af de kvantitative nøjagtighedskrav accepteres, såfremt der kan redegøres
1626 for disse, og tendenserne i det dynamisk respons er ensartede.

1627

1628 4.1.2 Testoplæg for modelverifikation

1629 Det er anlægsejers ansvar at udarbejde et oplæg for test af produktionsanlægget med henblik på at ve-
1630 rificere modellen. Testoplægget skal godkendes af Energinet. Et testoplæg skal som minimum inde-
1631 holde:

- 1632 1. Testbeskrivelse
 - 1633 a. Formål med testen.
 - 1634 b. Hvad er involveret i testen.
 - 1635 c. Hvilke dele af modellen er i fokus.
- 1636 2. Forudsætninger
 - 1637 a. Krav til driftssituationen under test, eksempelvis minimum produktionsniveau under
1638 testen.
 - 1639 b. Særlig testopsætning, afvigelse fra normale driftsindstillinger, fx anden tuning af aktiv
1640 eller reaktiv effektkontrol.
 - 1641 c. Sammenhæng med andre tests.
- 1642 3. Måling
 - 1643 a. Hvilke signaler bliver målt.
 - 1644 b. Hvor på anlægget foretages målingen.
 - 1645 c. Hvilket udstyr anvendes til måling.
- 1646 4. Modelverifikation
 - 1647 a. Hvordan sammenlignes testresultaterne med simuleret resultat.
 - 1648 b. Succeskriterier for modelverifikation.

1649

1650 4.2 Synkrone anlæg verificeringsprocedure

1651 4.2.1 Verifikationskrav til stationær simuleringsmodel

1652 Verifikation er ikke påkrævet.

1653 Dog skal det dokumenteres, at den stationære simuleringsmodel er repræsentativ for produktionsan-
1654 læggets stationære og quasi-stationære egenskaber, hvor et særligt fokus skal rettes mod anlæggets
1655 subtransiente og transiente kortslutningsbidrag i forbindelse med en vilkårlig fejl i det kollektive elforsy-
1656 ningssystem.

1657

1658 Dette gøres i forbindelse med de krævede overensstemmelsessimuleringer [1]. Resultater fra statiske
1659 kortslutningsberegninger skal sammenlignes med resultater fra dynamisk simulering for udvalgte fejl-
1660 hændelser. Omfang aftales med Energinet.

1661

1662 4.2.2 Verifikationskrav til dynamisk simuleringsmodel (RMS-model)

1663 Simuleringsmodellen for det samlede produktionsanlæg skal verificeres af anlægsejeren, omfattende
1664 samtlige påkrævede reguleringsformer og eftervisning af produktionsanlæggets stationære og dynami-
1665 ske egenskaber ved påtrykning af de i afsnit 3.1.2.1 beskrevne setpunktsændringer og eksterne hændel-
1666 ser i det kollektive elforsyningssystem.

1667

1668 For synkrone produktionsanlæg består modelverifikationen af følgende:

- 1669 • Sammenligning af overensstemmelsessimuleringer [1] udført med den transiente simulerings-
1670 model (EMT-model). Omfang aftales med Energinet.

1671 Dokumentation herfor afleveres og godkendes forud for tildeling af **ION**.

1672

- 1673 • Sammenligning med måleresultater optaget i forbindelse med gennemførelsen af de påkræ-
1674 vede overensstemmelsesprøvnings [1] ved produktionsanlæggets idriftsættelse.

- 1675 ○ Sammenligningen skal dokumenteres i henhold til kravene i afsnit 4.1.

1676 Dokumentation herfor afleveres og godkendes forud for tildeling af **FON**.

1677

1678 For synkrone produktionsanlæg bestående af flere enkeltanlæg skal modelverifikationen gennemføres
1679 for hvert af disse enkeltanlæg.

1680

1681 4.2.2.1 Påkrævet signalomfang ved verifikation af synkrone produktionsanlæg

1682 Som minimum skal følgende målesignaler optages i forbindelse med de gennemførte overensstemmel-
1683 sesprøvnings ved produktionsanlæggets idriftsættelse til brug for den efterfølgende modelverifikation:

- 1684 • Aktiv effekt – målt i tilslutningspunktet.
- 1685 • Reaktiv effekt – målt i tilslutningspunktet.
- 1686 • Fasespændinger – målt i tilslutningspunktet.
- 1687 • Fasestrømme – målt i tilslutningspunktet.
- 1688 • Netfrekvens – målt i tilslutningspunktet.
- 1689 • Aktiv effekt – målt ved generatorklemmerne.
- 1690 • Reaktiv effekt – målt ved generatorklemmerne.
- 1691 • Fasespændinger – målt ved generatorklemmerne.
- 1692 • Fasestrømme – målt ved generatorklemmerne.
- 1693 • Feltstrøm – målt ved generatorklemmerne (eller for magnetiseringsmaskine, hvis anvendt).
- 1694 • Feltspænding - målt ved generatorklemmerne (eller for magnetiseringsmaskine, hvis anvendt).
- 1695 • AVR-udgangssignaler fra dæmpetilsats (PSS) (hvis et separat signal er til rådighed).
- 1696 • AVR-signaler (alarmer) for aktivering af begrænserfunktioner.
- 1697 • Generatorens omløbshastighed.
- 1698 • Frekvensrespons for magnetiseringssystemet og dæmpetilsats (PSS) (V_t/V_{ref}).
- 1699 • Setpunkter for:
 - 1700 ○ Aktiv effektregulering.
 - 1701 ○ Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering).
 - 1702 ○ Q-regulering (Mvar-regulering).
 - 1703 ○ Spændingsregulering.
 - 1704 ○ Frekvens- eller hastighedsregulering.
- 1705 • Signal for aktivering af systemværn.

1706

1707 4.2.3 Verifikationskrav til transient simuleringsmodel (EMT-model)

1708 Identisk med verifikationskrav til RMS-model, jf. afsnit 4.2.2.

1709

1710 4.3 Asynkrone anlæg verificeringsprocedure

1711 4.3.1 Verifikationskrav til stationær simuleringsmodel

1712 Verifikation er ikke påkrævet.

1713 Dog skal det dokumenteres, at den stationære simuleringsmodel er repræsentativ for produktionsan-
1714 læggets stationære og quasi-stationære egenskaber, hvor et særligt fokus skal rettes mod anlæggets
1715 subtransiente og transiente kortslutningsbidrag i forbindelse med en vilkårlig fejl i det kollektive elforsy-
1716 ningssystem.

1717

1718 Dette gøres i forbindelse med de krævede overensstemmelsessimuleringer. Resultater fra statiske kort-
1719 slutningsberegninger skal sammenlignes med resultater fra dynamisk simulering for udvalgte fejlhæn-
1720 delser. Omfang aftales med Energinet.

1721

1722 4.3.2 Verifikationskrav til dynamisk simuleringsmodel (RMS-model)

1723 Simuleringsmodellen for det samlede produktionsanlæg skal verificeres af anlægsejeren, omfattende
1724 samtlige påkrævede reguleringsformer og eftervisning af produktionsanlæggets stationære og dynami-
1725 ske egenskaber ved påtrykning af de i afsnit 3.2.2.1 beskrevne setpunktsændringer og eksterne hændel-
1726 ser i det kollektive elforsyningssystem.

1727

1728 Modelverifikationen sker på baggrund af måleresultater optaget i forbindelse med prøvninger på det
1729 samlede produktionsanlæg. Men da det ikke er muligt at teste alle egenskaber i forhold til robusthed og
1730 eksterne hændelser, accepteres det, at dele af modelverifikationen for det samlede produktionsanlæg
1731 foregår via verifikation af modeller for hver type enkeltanlæg indeholdt i produktionsanlægget. Verifika-
1732 tion af modeller for enkeltanlæg foregår normalt via standardtest udført i forbindelse med certificering
1733 og/eller typegodkendelse af det pågældende delanlæg. Ved enkeltanlæg forstås alle produktionsenhe-
1734 der (fx én model for hver af de anvendte vindmølletyper eller solcelleinvertere) og eksterne komponent-
1735 ter (fx én model for hver af de anvendte energilagringenheder, eller STATCOMs etc.).

1736

1737 For asynkrone produktionsanlæg består modelverifikationen af følgende to steps:

- 1738 • Typeverificering af modeller for enkeltanlæg. Se afsnit 4.3.2.1.

1739 Skal afleveres og godkendes forud for tildeling af **ION**.

- 1740 • Parkmodelverificering for det samlede produktionsanlæg. Se afsnit 4.3.2.2.

1741 Skal afleveres og godkendes forud for tildeling af **FON**.

1742

1743 4.3.2.1 Enkeltanlæg typeverificering

1744 Simuleringsmodel for alle typer af aktive komponenter (produktionsenheder og eksterne komponenter
1745 som STATCOMs) skal verificeres via sammenligning med fabriks-/typetest. Det primære formål er at ve-
1746 rificere simuleringsmodellens nøjagtighed i forhold til forstyrrelser og robusthed samt evnen til korrekt
1747 at eftervise komponentens FRT-egenskaber. Verificering af simuleringsmodeller for enkeltanlæg skal
1748 foregå forud for tildeling af ION, da dette er en forudsætning for at sikre validiteten af de krævede over-
1749 ensstemmelsessimuleringer [1] af det samlede produktionsanlægs robusthed og FRT-egenskaber.

1750

1751 For verificering af enkeltanlæg gælder følgende:

- 1752 1. Det er anlægsejerens ansvar at udarbejde et oplæg for test og modelverifikation, som skal god-
1753 kendes af Energinet.
- 1754 2. Test af FRT skal overholde krav fastsat i [5] for at være gyldige.
- 1755 3. Testomfang skal opfylde minimumskrav fastsat i afsnit 4.3.2.1.1.
- 1756 4. Signaler inkluderet i modelverifikationen skal opfylde minimumskrav fastsat i afsnit 4.3.2.1.3.

1757

1758 Det kan accepteres, at typetest og verifikation af modeller for enkeltanlæg udføres i henhold til anden
1759 standard end kravene specificeret i dette dokument, såfremt der kan redegøres for, at standarden som
1760 minimum sikrer tilsvarende test af egenskaber jf. afsnit 4.3.2.1.1, og at nøjagtighedskrav som minimum
1761 opfylder krav specificeret i afsnit 3.2.

1762

1763 4.3.2.1.1 Minimum test omfang

1764 Modelverificeringsproceduren skal som minimum dække følgende scenarier/kontrolfunktioner:

- 1765 1. Aktiv effekt setpunktsregulering.
- 1766 2. Funktioner for regulering af reaktiv effekt som anvendes på det samlede produktionsanlæg
 - 1767 a. Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering).
 - 1768 b. Q-regulering (Mvar-regulering).
 - 1769 c. Spændingsregulering.
- 1770 3. LVRT.
- 1771 4. HVRT.
- 1772 5. ROCOF-robusthed.
- 1773 6. FSM (hvis funktionen anvendes på det samlede produktionsanlæg).
- 1774 7. LFSM-O (hvis funktionen anvendes på det samlede produktionsanlæg).
- 1775 8. LFSM-U (hvis funktionen anvendes på det samlede produktionsanlæg).

1776

1777 Alle overstående tests er underlagt nøjagtighedskravene fremsat i afsnit 3.2.2.4.

1778

1779 4.3.2.1.2 Enkeltanlæg testprocedure

1780 For modelverificering af aktiv effekt setpunktsregulering gælder følgende:

- 1781 1) Test skal udføres ved at påtrykke produktionsanlægget step-input på dets aktiv effekt refe-
1782 rence, der skal som minimum udføres to test, hvor disse er:
 - 1783 a. Én test med opregulering på mindst 0.2 p.u.
 - 1784 b. Én test med nedregulering på mindst 0.2 p.u.
- 1785 2) Test kan udføres som en sammenhængende kørsel.
- 1786 3) Sammenligning af reaktiv effekt respons under aktiv effekt reguleringen skal være en del af
1787 modelverificeringen.
- 1788 4) Såfremt der udføres test med frekvensregulering af aktiv effekt, udgår krav om separat test af
1789 setpunktsregulering.

1790

1791 For modelverificering af reaktiv effekt regulering gælder følgende:

- 1792 1) Der skal som minimum udføres to test, hvor disse er:
 - 1793 a. Én test med regulering af reaktiv effekt fra 0 p.u til over 0.2 p.u.
 - 1794 b. Én test med regulering af reaktiv effekt fra 0 p.u til under (-0.2) p.u.
- 1795 2) Test kan udføres med en vilkårlig af de 3 reguleringsformer:
 - 1796 a. Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering).
 - 1797 b. Q-regulering (Mvar-regulering).
 - 1798 c. Spændingsregulering.
- 1799 3) Såfremt spændingsreguleringsfunktionen på enkeltanlægget anvendes i det samlede produkti-
1800 onsanlægs spændingsregulering, skal modelverifikation af reaktiv effekt regulering omfatte
1801 denne reguleringsform.
- 1802 4) Test skal udføres med aktiv effekt setpunkt større end 0.8 p.u.
- 1803 5) Test kan udføres som en sammenhængende kørsel.

1804

1805 For modelverifikation af LVRT gælder følgende:

- 1806 1) Alle test starter med en spænding på 1 p.u.
- 1807 2) Test skal udføres for flere spændingsfald, hvor der varieres på størrelsen og tidsperioden for
1808 spændingsdykket. Som minimum skal følgende test inkluderes:
 - 1809 a. Spændingsfald til 0 p.u. (<0.05 p.u.) og tidsperiode mellem 100-150ms.
 - 1810 b. Spændingsfald til mellem 0.20 p.u. og 0.30 p.u. og tidsperiode mellem 250-500ms.
 - 1811 c. Spændingsfald til mellem 0.4 p.u. og 0.6 p.u. og tidsperiode større end 750ms.
 - 1812 d. Spændingsfald til mellem 0.8 p.u. og den valgte grænse for FRT-aktivering, tidsperiode
1813 større end 1250 ms.
- 1814 3) Test specificeret i punkt 1) skal som minimum udføres for 3-fasede og 2-fasede spændingsdyk
- 1815 4) Som minimum skal alle test af 3-fasede spændingsdyk udføres for aktiv effekt reference P_{ref} på:
 - 1816 a. $P_{ref} = 1$ p.u.
 - 1817 b. $P_{ref} < 0.5$ p.u.
- 1818 5) Som minimum skal alle test af 2-fasede spændingsdyk udføres for aktiv effekt reference P_{ref} på:
 - 1819 a. $P_{ref} = 1$ p.u.
- 1820 6) For anlæg, der skal levere reaktiv fejlstrøm under FRT, skal disse indstillinger anvendes:
 - 1821 a. FRT-aktivering mellem 0.85-0.90 p.u spænding.
 - 1822 b. K-factor for indstilling af $I_Q(U)$ skal være mellem 2 – 3.
- 1823 7) Test kan udføres for varierende systemstyrke (short circuit ratio – SCR), men SCR bør være
1824 mindre end 10. Og som minimum skal der udføres én test ved den laveste SCR, for hvilken si-
1825 muleringsmodellen er valid. Testen for validering af laveste SCR skal være med et 3-faset
1826 spændingsdyk under 0.5 p.u.

1827

1828 For modelverifikation af HVRT gælder følgende:

- 1829 1) Alle test starter med en spænding på 1 p.u.
- 1830 2) Test skal udføres for flere spændingsstigninger hvor der varieres på størrelsen og tidsperioden
1831 for spændingsstigningen. Som minimum skal følgende test inkluderes:
 - 1832 a. Spændingsstigning til mellem 1.05 p.u. og 1.10 p.u. og tidsperiode større end 500ms.
 - 1833 b. Spændingsstigning til mellem 1.10 p.u. og 1.20 p.u. og tidsperiode større end 500ms.
- 1834 3) Test specificeret i punkt 1) skal som minimum udføres for 3-fasede og 2-fasede spændingsstig-
1835 ninger.
- 1836 4) Som minimum skal alle test af 3- og 2-fasede spændingsstigninger udføres for aktiv effekt
1837 reference P_{ref} på:
 - 1838 a. $P_{ref} = 1$ p.u.

1839

1840 For modelverifikation af ROCOF-robusthed gælder følgende:

- 1841 1) Test skal udføres med frekvensændring svarende til en ROCOF på mindst 2,0 Hz/s.
- 1842 2) Test skal forgå ved at ændre den faktiske systemfrekvens.
- 1843 3) Der skal som minimum udføres 2 test, hvor disse er:
 - 1844 a. Frekvensstigning på minimum 0.5 Hz.
 - 1845 b. Frekvensfald på minimum -0.5 Hz.
- 1846 4) Det er tilladeligt at lave testen i én kontinuerlig optagelse af de påkrævede signaler.
- 1847 5) Såfremt der udføres test af frekvensregulering (FSM/LFSM), som opfylder minimumskrav til
1848 ROCOF, udgår krav om separat ROCOF-test.

1849

1850 For modelverificering af FSM gælder følgende:

- 1851 1) LFSM-O- og LFSM-U-funktionerne må ikke aktivere under testen.
- 1852 2) Produktionsanlægget skal være indstillet i reaktiveffekt setpunktsregulering, med reaktiv set-
- 1853 punkt = 0 p.u. i nettilslutningspunktet.
- 1854 3) Testen skal forgå ved at påtrykke produktionsanlægget step-inputs på dets frekvensfeedback-
- 1855 signal eller ændre den faktiske systemfrekvens med alle følgende resulterende manøvreringer
- 1856 af aktiv effekt i forhold til setpunktet (P_{ref}):
 - 1857 a. +0.1 p.u.
 - 1858 b. -0.1 p.u.
 - 1859 c. +0.05 p.u.
 - 1860 d. -0.05 p.u.
- 1861 4) Det er tilladeligt at lave testen i én kontinuerlig optagelse af de påkrævede signaler.

1862

1863 For modelverificering af LFSM-O gælder følgende:

- 1864 1) FSM-funktionen må ikke aktivere under testen.
- 1865 2) Produktionsanlægget skal være indstillet i reaktiveffekt setpunktsregulering, med reaktiv set-
- 1866 punkt = 0 p.u. i nettilslutningspunktet.
- 1867 3) Testen skal forgå ved at påtrykke produktionsanlægget stepinputs på dets frekvens feedback
- 1868 signal eller ændre den faktiske systemfrekvens, med alle følgende resulterende manøvreringer
- 1869 af aktiv effekt i forhold til setpunktet (P_{ref}):
 - 1870 a. -0.1 p.u.
 - 1871 b. -0.2 p.u.
- 1872 4) Det er tilladeligt at lave testen i én kontinuerlig optagelse af de påkrævede signaler.

1873

1874 For modelverificering af LFSM-U gælder følgende:

- 1875 1) FSM funktionen må ikke aktivere under testen.
- 1876 2) Produktionsanlægget skal være indstillet i reaktiv effekt setpunktsregulering, med reaktiv set-
- 1877 punkt = 0 p.u.
- 1878 3) Testen skal forgå ved at påtrykke produktionsanlægget stepinputs på dets frekvensfeedback-
- 1879 signal eller ændre den faktiske systemfrekvens med alle følgende resulterende manøvreringer
- 1880 af aktiv effekt i forhold til setpunktet (P_{ref}):
 - 1881 a. +0.1 p.u.
 - 1882 b. +0.2 p.u.
- 1883 4) Det er tilladeligt at lave testen i én kontinuerlig optagelse af de påkrævede signaler.

1884

1885 4.3.2.1.3 Påkrævet signalomfang

1886 Som minimum skal følgende målesignaler optages i forbindelse med de gennemførte typetest til brug
1887 for den efterfølgende modelverifikation:

- 1888 • Aktiv effekt – målt ved anlæggets terminaler.
- 1889 • Reaktiv effekt – målt ved anlæggets terminaler.
- 1890 • Fasespændinger – målt ved anlæggets terminaler.
- 1891 • Fasestrømme (resulterende) – målt ved anlæggets terminaler.
- 1892 • Fasestrømme (aktiv komponent) – målt ved anlæggets terminaler.
- 1893 • Fasestrømme (reaktiv komponent) – målt ved anlæggets terminaler.
- 1894 • Netfrekvens – Hvor dette er relevant.
- 1895 • Generatorens omløbshastighed – hvor dette er relevant.
- 1896 • Setpunkter for:
 - 1897 ○ Aktiv effektregulering.
 - 1898 ○ Effektfaktor-regulering ($\cos \phi$ -regulering).
 - 1899 ○ Q-regulering (Mvar-regulering).
 - 1900 ○ Spændingsregulering.
 - 1901 ○ Frekvens- eller hastighedsregulering.

1902
1903 Måling af signaler og omregning til RMS-værdier for positiv-, negativ- og nulsekvens skal udføres i hen-
1904 hold til [5]. For asymmetriske test skal verificeringsrapporten indeholde resultater for både positiv og
1905 negativ sekvens.

1907 4.3.2.2 Parkmodelverificering for det samlede produktionsanlæg

1908 RMS-simuleringsmodellen for det samlede produktionsanlæg skal verificeres. Formålet med verifikatio-
1909 nen af at eftervise simuleringsmodellens nøjagtighed i forbindelse med ændring af setpunkter for aktiv
1910 og reaktiv effekt, herunder også ændringer i forbindelse med spændings- og frekvenskontrol.
1911 Det er anlægsejerens ansvar at udarbejde et oplæg for test og modelverifikation, som skal godkendes af
1912 Energinet. Verificeringstestproceduren og dokumentationen er underlagt følgende:

1914 4.3.2.2.1 Minimum testomfang

1915 Modelverificeringsproceduren skal minimum dække følgende scenarier/kontrolfunktioner:

- 1916 1. Aktiveffekt setpunktsregulering.
- 1917 2. FSM.
- 1918 3. FSM med overgang til LFSM-O.
- 1919 4. LFSM-O.
- 1920 5. LFSM-U.
- 1921 6. Aktiveffekt anti-windup.
- 1922 7. Reaktiv effekt setpunktsregulering.
- 1923 8. Reaktiv effekt setpunktsregulering med samtidig aktivering af LFSM-O.
- 1924 9. Parkregulator FRT-håndtering.

1925
1926 Energinet kan, men er ikke begrænset til, yderligere at kræve verificering af spændingsregulering, po-
1927 wer factor-regulering, skift mellem reguleringsformer for reaktiv effekt, kontrolbåndsbredde og system-
1928 værnsindgreb.

1930 Alle overstående tests er underlagt nøjagtighedskravene fremsat i afsnit 3.2.2.4.2.

1931
1932

1933 4.3.2.2.2 Parkmodel testprocedure

1934 Generelt for modelverificerings-testproceduren gælder følgende:

- 1935 1. Testene skal forgå ved at påtrykke produktionsanlægget step-inputs på dets referenceind-
- 1936 gange eller feedbacksignaler.
- 1937 2. 95% af anlæggets samlede installerede kapacitet skal være i drift under alle tests.
- 1938 3. Energinet har ret til at foreskrive parametringen for både parkregulator og delanlæg under
- 1939 parkmodelverificeringen.
- 1940 4. Alle tests skal kunne eksekveres inden for normaldriftsområdet defineret ved spændingen og
- 1941 frekvensen i netslutningspunktet, og inden for minimum og maksimum kortslutningsniveauer
- 1942 angivet i nettilslutningsaftalen.
- 1943 5. Ingen tests må stille særlige krav til driften af det kollektive elforsyningssystem, medmindre
- 1944 dette aftales med Energinet eller den relevante systemoperatør.
- 1945 6. Alle testforløb skal påbegyndes og afsluttes med minimum tre sekunder, hvor anlægget er i en
- 1946 stationær tilstand.
- 1947 7. Alle tests skal som minimum udføres og dokumenteres to gange.
- 1948 8. Ved efterfølgende sammenligning af målt og simuleret respons skal simuleringsmodellen para-
- 1949 metreres identisk med det faktiske produktionsanlæg.
- 1950 9. Ved efterfølgende sammenligning af målt og simuleret respons er det tilladeligt at tidsforskyde
- 1951 det simulerede respons i forhold til det målte. Tidsforskydningen skal fremgå af dokumentatio-
- 1952 nen.

1953

1954 For modelverificering af aktiv effekt setpunktsregulering gælder følgende:

- 1955 1) Testen skal foretages med den aktive effekt gradientbegrænsning, der forventes ved normal-
- 1956 drift.
- 1957 2) Produktionsanlægget skal være indstillet i reaktiveffekt setpunktsregulering med reaktiv set-
- 1958 punkt = 0 p.u. i nettilslutningspunktet.
- 1959 3) Testen skal forgå ved at påtrykke produktionsanlægget et eller flere step-input på dets aktive
- 1960 effekt referenceindgangssignal.
- 1961 4) Testen skal minimum manøvrere med 20% af P_n .
- 1962 5) Aktive effekt referencen skal til enhver tid forblive 10% af P_n under den tilrådelige effekt.

1963

1964 For modelverificering af FSM gælder følgende:

- 1965 5) Parametringen af FSM-funktionen skal for alle parametre være inden for spændet angivet i
- 1966 [8].
- 1967 6) LFSM-O- og LFSM-U-funktionerne må ikke aktivere under testen.
- 1968 7) Produktionsanlægget skal være indstillet i reaktiv effekt setpunktsregulering med reaktiv set-
- 1969 punkt = 0 p.u. i nettilslutningspunktet.
- 1970 8) Testen skal forgå ved at påtrykke produktionsanlægget step-inputs på dets frekvensreference
- 1971 eller frekvensfeedbacksignal med alle følgende resulterende manøvringer af aktiv effekt i
- 1972 forhold til setpunktet (P_{ref}): +10% P_n , -10% P_n , +5% P_n og -5% P_n .
- 1973 9) Det er tilladeligt at lave testen i én kontinuerlig optagelse af de påkrævede signaler.
- 1974 10) Aktive effekt setpunktet (internt, som funktion af frekvensen) skal til enhver tid forblive 10% af
- 1975 P_n under den tilrådelige effekt.

1976

1977 For modelverificering af FSM med overgang til LFSM-O gælder følgende:

- 1978 1) Parametreringen af FSM-funktionen og LFSM-O-funktionen skal for alle parametre være inden
- 1979 for spændet angivet i [8].
- 1980 2) Produktionsanlægget skal være indstillet i reaktiveffekt setpunktsregulering, med reaktiv set-
- 1981 punkt = 0 p.u. i nettilslutningspunktet.
- 1982 3) Testen skal forgå ved at påtrykke produktionsanlægget et eller flere step-input på dets fre-
- 1983 kvensreference eller frekvensfeedbacksignal, så der minimum manøvreres med -10%Pn af
- 1984 FSM-funktionen og -10%Pn af LFSM-O-funktionen. Dvs. en samlet minimum manøvrering
- 1985 på -20%Pn.
- 1986 4) Det er tilladeligt at lave testen i én kontinuerlig optagelse af de påkrævede signaler.
- 1987 5) Aktiv effekt setpunktet (internt, som funktion af frekvensen) skal til enhver tid forblive 10% af
- 1988 Pn under den tilrådelige effekt.

1989

1990 For modelverificering af LFSM-O gælder følgende:

- 1991 5) Parametreringen af LFSM-O-funktionen skal for alle parametre være indenfor spændet angivet
- 1992 i [8].
- 1993 6) FSM-funktionen må ikke aktivere under testen.
- 1994 7) Produktionsanlægget skal være indstillet i reaktiveffekt setpunktsregulering med reaktiv set-
- 1995 punkt = 0 p.u. i nettilslutningspunktet.
- 1996 8) Testen skal forgå ved at påtrykke produktionsanlægget step-inputs på dets frekvensreference
- 1997 eller frekvensfeedbacksignal med alle følgende resulterende manøvreringer af aktiv effekt i
- 1998 forhold til setpunktet (P_{ref}): -10%Pn og -20%Pn.
- 1999 9) Det er tilladeligt at lave testen i én kontinuerlig optagelse af de påkrævede signaler.
- 2000 10) Aktiv effekt setpunktet (internt, som funktion af frekvensen) skal til enhver tid forblive 10% af
- 2001 Pn under den tilrådelige effekt.

2002

2003 For modelverificering af LFSM-U gælder følgende:

- 2004 5) Parametreringen af LFSM-U-funktionen skal for alle parametre være inden for spændet angivet
- 2005 i [8].
- 2006 6) FSM-funktionen må ikke aktivere under testen.
- 2007 7) Produktionsanlægget skal være indstillet i reaktiveffekt setpunktsregulering med reaktivset-
- 2008 punkt = 0 p.u. i nettilslutningspunktet.
- 2009 8) Testen skal forgå ved at påtrykke produktionsanlægget step-inputs på dets frekvensreference
- 2010 eller frekvensfeedbacksignal, med alle følgende resulterende manøvreringer af aktiv effekt i
- 2011 forhold til setpunktet (P_{ref}): 10%Pn og 20%Pn.
- 2012 9) Det er tilladeligt at lave testen i én kontinuerlig optagelse af de påkrævede signaler.
- 2013 10) Aktiv effekt setpunktet (internt, som funktion af frekvensen) skal til enhver tid forblive 10% af
- 2014 Pn under den tilrådelige effekt.

2015

2016 For modelverificering af aktiv effekt anti-wind-up gælder følgende:

- 2017 1) Parametreringen af LFSM-O-funktionen skal for alle parametre være inden for spændet angivet i [8].
- 2018
- 2019 2) Den tilrådede effekt skal være mellem 20%Pn og 80% Pn.
- 2020 3) Produktionsanlægget skal være indstillet i reaktiv effekt setpunktsregulering med reaktiv setpunkt = 0 p.u. i nettilslutningspunktet.
- 2021
- 2022 4) Produktionsanlægget skal i minimum fem minutter inden teststart og under hele testen være konstant påtrykt 100% Pn på aktiv effekt-referencen.
- 2023
- 2024 5) Testen skal forgå ved at påtrykke produktionsanlægget step-inputs på dets frekvensreference eller frekvensfeedbacksignal, så der manøvreres med -20%Pn.
- 2025
- 2026 6) Under sammenligningen er det tilladeligt at tilbagespille det målte aktiv effekt feedbacksignal til parkregulatoren, som syntetisk feedbacksignal til parkregulatormodellen i den samlede RMS-simuleringsmodel.
- 2027
- 2028
- 2029

2030 For modelverificering af reaktiv effekt setpunktsregulering gælder følgende:

- 2031 1) Testen skal forgå ved at påtrykke produktionsanlægget minimum fem step-input på dets reaktiv effekt referenceindgangssignal.
- 2032
- 2033 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.
- 2034
- 2035 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.
- 2036
- 2037 4) Det er tilladeligt at lave testen i én kontinuerlig optagelse af de påkrævede signaler.
- 2038

2039 For modelverificering af reaktiveffekt setpunktsregulering med samtidig aktivering af LFSM-O gælder følgende:

- 2040
- 2041 1) Parametreringen af LFSM-O-funktionen skal for alle parametre være inden for spændet angivet i [8].
- 2042
- 2043 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.
- 2044
- 2045 3) Reaktiv effekt referenceindgangssignalet skal minimum manøvrere med $\pm 30\%$ af Pn. Det er tilladeligt at gå fra over-eksiteret til under-eksiteret.
- 2046
- 2047 4) Aktiveringen af LFSM-O skal mindst resultere i en manøvrering af aktiv effekt på -20%Pn.
- 2048
- 2049 5) Aktiv effekt setpunktet (internt, som funktion af frekvensen) skal til enhver tid forblive 10% af Pn under den tilrådede effekt.
- 2050
- 2051

2052 For modelverificering af Parkregulatorens FRT-håndtering gælder følgende:

- 2053 1) Parametreringen af eventuelle FRT-detekterings-/håndteringsfunktioner skal være som forventet ved normaldrift.
- 2054
- 2055 2) Testen skal foretages med den aktiv effekt gradientbegrænsning, der forventes ved normaldrift.
- 2056
- 2057 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. I det anlægget er 50% indreguleret, skal parkregulator-FRT-håndteringen aktiveres i fem sekunder.
- 2058
- 2059
- 2060 4) Denne test kan udføres enten ved idriftsættelse af produktionsanlægget eller via hardware-in-loop test på den anvendte parkregulator.
- 2061
- 2062

2063 4.3.2.2.3 Påkrævet signalomfang

2064 Som minimum skal følgende målesignaler optages i forbindelse med de gennemførte typetest og den
2065 gennemførte overensstemmelsesprøvning ved produktionsanlæggets idriftsættelse til brug for den ef-
2066 terfølgende modelverifikation:

- 2067 1. Aktiv effekt-udveksling i nettilslutningspunktet.
- 2068 2. Reaktiv effekt i nettilslutningspunktet.
- 2069 3. RMS-strømmen i hver af de tre faser.
- 2070 4. RMS-spændingen i nettilslutningspunktet (alle tre fase-fase-spændinger).
- 2071 5. Netfrekvensen.
- 2072 6. Tap-positionen for samtlige af anlæggets online-tap-changere.
- 2073 7. Samtlige indgangssignaler til den centrale parkregulator. Efter aftale med Energinet kan irrele-
2074 vante signaler udelades. Er definitionen af det præcise signal uklar, fx ved atypiske kontrol-
2075 strukturer, skal det afklares med Energinet.
- 2076 8. Samtlige udgangssignaler fra den centrale parkregulator. Efter aftale med Energinet kan irrele-
2077 vante signaler udelades. Er definitionen af det præcise signal uklar, fx ved atypiske kontrol-
2078 strukturer, skal det afklares med Energinet.

2079
2080 For punkt 7 og 8 kan signaler undlades for reguleringsfunktioner, der styres af parkregulatoren, såfremt
2081 der foreligger en modelverificering på parkregulatorniveau, og denne kan accepteres efter en ingeniør-
2082 teknisk gennemgang foretaget af Energinet.

2083
2084 Ethvert signal og enhver parameter, der manipuleres under testene, skal optages med en samletid på
2085 maksimum 10ms. Dette gælder fx produktionsanlæggets referenceindgange. Alle andre signaler og pa-
2086 rametre skal indgå i en parameterudskrift, der vedlægger hver test.

2087
2088 Måleudstyr, resultatbehandling og testopstilling skal leve op til kravene defineret i [5].

2089

2090 4.3.3 Verifikationskrav til transient simuleringsmodel (EMT-model)

2091 Identisk med verifikationskrav til RMS-model, jf. afsnit 4.3.2.

2092

2093 På nær krav til signalomfang ved typeverificering af enkeltanlæg (afsnit 4.3.2.1.3) er udvidet til også at
2094 gælde følgende signaler, hvis relevant:

- 2095 • Spændingsmåling i dq-domænet fra anlæggets interne kontrol opdelt i U_d og U_q .
- 2096 • Strømmåling i dq-domænet fra anlæggets interne kontrol opdelt i I_d og I_q . Disse er underlagt
2097 nøjagtighedskrav som fastsat i afsnit 3.2.3.4.
- 2098 • Øjeblikksfasespændinger – målt ved anlæggets terminaler.
 - 2099 ○ Skal kun inkluderes for LVRT-test.
 - 2100 ○ Øjebliksværdierne skal inkluderes for vinduerne:
 - 2101 ▪ To perioder før spændingsfald (t_{fault} jf. [6]) til fem perioder efter.
 - 2102 ▪ To perioder før spændingsstigning (t_{clear} jf. [6]) til fem perioder efter.
- 2103 • Øjeblikksfasesstrømme – målt ved anlæggets terminaler.
 - 2104 ○ Skal kun inkluderes for LVRT-test.
 - 2105 ○ Øjebliksværdierne skal inkluderes for vinduerne:
 - 2106 ▪ To perioder før spændingsfald (t_{fault} jf. [6]) til fem perioder efter.
 - 2107 ▪ To perioder før spændingsstigning (t_{clear} jf. [6]) til fem perioder efter.

2108

2109 4.3.4 Verifikationskrav til harmonisk simuleringsmodel

2110 Intet krav om modelverifikation.

2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126

5. Referencer

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

HØRNING

2127 Bilag 1

2128

2129 Synkron produktionsanlæg

2130 Signaler omfattet af modelverifikationskravet:

- 2131 • Aktiv effekt – målt i tilslutningspunktet.
- 2132 • Reaktiv effekt – målt i tilslutningspunktet.
- 2133 • Fasespændinger – målt i tilslutningspunktet.
- 2134 • Fasestrømme – målt i tilslutningspunktet.
- 2135 • Feltstrøm – målt ved generatorklemmerne (eller for magnetiseringsmaskine, hvis anvendt).
- 2136 • Feltspænding - målt ved generatorklemmerne (eller for magnetiseringsmaskine, hvis anvendt).
- 2137 • Generatorens omløbshastighed.
- 2138 • Frekvensrespons for kontrol- og reguleringssystemmodeller.

2139

2140 Asynkron produktionsanlæg

2141 Signaler omfattet af modelverifikationskravet:

- 2142 • Aktiv effekt – målt i tilslutningspunktet (eller ved primærsiden af maskintransformer ved type-
- 2143 test).
- 2144 • Reaktiv effekt – målt i tilslutningspunktet (eller ved primærsiden af maskintransformer ved ty-
- 2145 petest).
- 2146 • Fasestrømme (aktiv komponent) – målt i nettilslutningspunkttilslutningspunktet (eller ved pri-
- 2147 mærsiden af maskintransformer ved typetest). Kun relevant for nøjagtighedskrav i forbindelse
- 2148 med momentane spændingsændringer.
- 2149 • Fasestrømme (reaktiv komponent) – målt i nettilslutningspunkttilslutningspunktet (eller ved
- 2150 primærsiden af maskintransformer ved typetest). Kun relevant for nøjagtighedskrav i forbin-
- 2151 delse med momentane spændingsændringer.