

Ärende nr: Svk 2024/2683

Datum: 2024-06-10

System för högspänd likström: Bilaga 5

Överensstämmelsesimulering

Svenska Kraftnät

Svenska kraftnät är ett statligt affärsverk med uppgift att förvalta Sveriges transmissionsnät för el, som omfattar ledningar för 400 kV och 220 kV med stationer och utlandsförbindelser. Vi har också systemansvaret för el. Vi utvecklar transmissionsnätet och elmarknaden för att möta samhällets behov av en säker, hållbar och ekonomisk elförsörjning. Därmed har Svenska kraftnät också en viktig roll i klimatpolitiken.

Version 1.0

Org. Nr 202 100-4284

Svenska kraftnät
Box 1200
172 24 Sundbyberg
Sturegatan 1

Tel: 010-475 80 00
Fax: 010-475 89 50
www.svk.se

Innehåll

1	Inledning	5
2	Simuleringsmodell	6
3	Aktiv effekt och frekvensreglering	7
3.1	Reglering av aktiv effekt.....	7
3.2	Snabb reversering av aktiv effekt.....	8
3.3	Ändring av aktiv effekt vid störningar	9
3.4	Ramphastighet för aktiv effekt	9
3.5	Begränsat frekvenskänslighetsläge vid överfrekvens – LFSM-O	10
3.6	Begränsat frekvenskänslighetsläge vid underfrekvens - LFSM-U	17
3.7	Frekvenskänslighetsläge – FSM – dödband och okänslighet	23
3.8	Frekvenskänslighetsläge – FSM – snabbhet i reglering samt statik.....	26
3.9	Frekvensreglering.....	33
3.10	Tillhandahållande av syntetisk tröghet	33
3.11	Automatiska avhjälpande åtgärder.....	34
3.12	Maximal förlust av aktiv effekt	34
4	Reaktiv effekt och spänningsreglering	36
4.1	Reglerbarhet av reaktiv effekt-/Mvar reglering	36
4.2	Reglerbarhet av spänning	37
4.3	Reglerbarhet av effektfaktor/cos φ	38
4.4	Reglering av arbetspunkt	39
5	Stabilitet för nätet	40
5.1	Begränsning av spänning vid synkronisering och spänningssättning	40
5.2	Växerverkan med andra apparater och annan utrustning	41
5.3	Dämpning av effektpendlingar	41
5.4	Dämpning av subsynkron torsionssamverkan.....	42
6	Feltålighet.....	43
6.1	Feltålighet och återhämtning av aktiv effekt efter fel	43
6.2	Feltålighet vid osymmetriska fel.....	44
6.3	Tillhandahållande av snabb felström	45

6.4	Prioritet till bidrag genom aktiv eller reaktiv effekt.....	46
6.5	Snabb återhämtning efter likströmsfel.....	46
6.6	Tålighet vid ändringar i systemet	47
6.7	Transienter vid bortkoppling	48
6.8	Prioriteringsordning av skydd och reglering.....	49

1 Inledning

Den här bilagan är en del av instruktionen som beskriver processen för kravverifiering för ett system för högspänd likström anslutet till överföringssystemet. I den här bilagan listas de simuleringar som visar på teoretisk överensstämmelse som behövs inför tillfälligt driftsmeddelande. Verifiering av kravuppfyllnad genom provning, se bilaga 6, utförs inför slutligt driftsmeddelande och motsvarar till stora delar simuleringarna i denna bilaga. En del av simuleringarna, där inte kravuppfyllnad kan påvisas genom överensstämmelseprovning, återupprepas med en validerad simuleringsmodell inför slutligt driftsmeddelande.

2 Simuleringsmodell

Utformningen av simuleringsmodellen för systemet för högspänd likström för användning till överensstämmelsesimuleringar ska göras med syfte att modellen ska vara tillräckligt bra för att återspegla de egenskaper hos systemet för högspänd likström som påverkar kravuppfyllnaden. Dessutom ska modellen ha tillräcklig prestanda för att kunna representera de förlopp som studeras.

Berörd systemansvarig har rätt att återupprepa överensstämmelsesimuleringarna och därmed ska den modell som anläggningsägaren använt för dessa simuleringar tillhandahållas till berörd systemansvarig både inför tillfälligt driftsmeddelande och slutligt driftsmeddelande enligt bilaga 4.

I utvärderingen inför tillfälligt driftsmeddelande bedömer berörd systemansvarig och/eller berörd systemansvarig för överföringssystemet modellens noggrannhet baserat på modellen och simuleringsresultaten för de olika överensstämmelsesimuleringarna.

Inför slutligt driftsmeddelande verifieras kravuppfyllnaden genom en överensstämmelseprovning enligt bilaga 6 med syftet att bekräfta den teoretiska kravuppfyllnaden som påvisas inför tillfälligt driftsmeddelande. Resultaten från överensstämmelseproven används även för att validera simuleringsmodellerna och uppdatera modellerna vid behov, vilket redovisas i en modellvalideringsrapport enligt bilaga 7. Den krävda prestanda som inte kan verifieras med överensstämmelseprovning verifieras inför slutligt driftsmeddelande med nya överensstämmelsesimuleringar gjorda med den validerade simuleringsmodellen.

En del av överensstämmelsesimuleringarna beskrivna i denna bilaga är beroende av nätets karakteristik sett från anslutningspunkten. För att modellera detta används en dynamisk nätekivalent som tillhandahålls av berörd systemansvarig efter förfrågan från anläggningsägaren. Omfattningen av nätekivalenten beror på ett flertal olika parametrar såsom effektstorlek, anslutningspunkt, närliggande produktionsanläggningar etc.

3 Aktiv effekt och frekvensreglering

För att påvisa kravuppfyllnaden för systemet för högspänd likström gällande kraven för reglering av aktiv effekt och frekvensreglering görs ett antal simuleringar. Dessa simuleringar syftar till att utvärdera svaret i aktiv effekt på antingen ett ändrat börvärde för den aktiva effekten eller förändringar i frekvensen vid frekvensreglering.

I de här simuleringarna är det enbart prestandan för systemet för högspänd likström med avseende på frekvensreglering och aktiv effekt som utvärderas och därmed kan en nätekvivalent modelleras som en stark källa.

3.1 Reglering av aktiv effekt

3.1.1 Hänvisning till krav

> HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 1, artikel 13.1.a

3.1.2 Syfte med simulering

Simuleringen syftar till att visa att en aktiv effektändring kan utföras efter en instruktion från den berörda systemansvarige för överföringssystemet. Den angivna högsta och minsta överförda aktiva effekten ska kunna uppnås i vardera riktningen samt att det största och minsta effektsteget kan följas inom den tidsfrist som ges av berörd systemansvarig för överföringssystemet.

3.1.3 Utförande av simulering

Detta är en del av de projektspecifika uppgifterna och kraven som är listade i bilaga 1, avsnitt 2.

Berörd systemansvarig för överföringssystemet ska ange en lägsta kapacitet för överföring, största och minsta effektstegsstorlek samt tidsfrist för justering av den överförda effekten efter mottagande av en begäran från den berörda systemansvarige för överföringssystemet.

Även utförandet av simuleringen ska specificeras av berörd systemansvarig för överföringssystemet.

3.1.4 Kravuppfyllnad

Simuleringen anses godkänd om:

- > Systemet för högespänd likström kan justera den överförda effekten till systemets maximala kapacitet i vardera riktningen inom den tidsfrist som är angiven av berörd systemansvarig för överföringssystemet.
- > Den högsta och minsta effektsstegsstorlek angivna av berörd systemansvarig för överföringssystemet kan följas.

3.2 Snabb reversering av aktiv effekt

3.2.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 1, artikel 13.1.c

3.2.2 Syfte med simulering

Simuleringen syftar till att visa att systemet för högespänd likström kan ändra den överförda aktiva effekten från maximal kapacitet för överföring av aktiv effekt i en riktning till maximal kapacitet för överföring av aktiv effekt i den andra riktningen så snabbt som det är tekniskt genomförbart.

3.2.3 Utförande av simulering

Detta är en del av de projektspecifika uppgifterna och kraven som är listade i bilaga 1, avsnitt 2, där berörd systemansvarig för överföringssystemet får ange att systemet för högespänd likström ska ha förmåga till snabb reversering.

Även utförandet av simuleringen ska specificeras av berörd systemansvarig för överföringssystemet.

3.2.4 Kravuppfyllnad

Simuleringen anses godkänd om:

- > Systemet för högespänd likström kan ändra den överförda aktiva effekten från maximal kapacitet för överföring av aktiv effekt i en riktning till maximal kapacitet för överföring av aktiv effekt i den andra riktningen så snabbt som det är tekniskt genomförbart.
- > En rimlig motivering lämnas de berörda systemansvariga för överföringssystemen om den tid som krävs är längre än två sekunder.

3.3 Ändring av aktiv effekt vid störningar

3.3.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 1, artikel 13.1.b

3.3.2 Syfte med simulering

Simuleringen syftar till att visa att systemet för högspänd likström ska kunna ändra den överförda aktiva effekt som matas in i händelse av störningar i ett eller flera av de växelströmsnät till vilka systemet är anslutet enligt specifikation av berörd systemansvarig för överföringssystemet.

3.3.3 Utförande av simulering

Detta är en del av de projektspecifika uppgifterna och kraven som är listade i bilaga 1, avsnitt 2.

Den berörda systemansvarige för överföringssystemet ska ange hur systemet för högspänd likström ska kunna ändra den överförda aktiva effekt som matas in i händelse av störningar i ett eller flera av de växelströmsnät till vilka systemet är anslutet.

Även utförandet av simuleringen ska specificeras av berörd systemansvarig för överföringssystemet.

3.3.4 Kravuppfyllnad

Simuleringen anses godkänd om:

- > Systemet för högspänd likström kan justera den överförda aktiva effekten enligt specifikation av berörd systemansvarig för överföringssystemet.
- > Den inledande fördröjningen innan ändringen påbörjas inte är större än 10 millisekunder från mottagandet av den utlösningssignal som sänds av den berörda systemansvarige för överföringssystemet.

3.4 Ramphastighet för aktiv effekt

3.4.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 1, artikel 13.2

3.4.2 Syfte med simulering

Simuleringen syftar till att visa att systemet för högspänd likström kan justera ramphastigheten för variationer i aktiv effekt inom sin tekniska förmåga i enlighet med instruktioner som lämnats av den berörda systemansvarige för överföringssystemet samt att den överförda effekten ändras enligt den valda ramphastigheten.

3.4.3 Utförande av simulering

Detta är en del av de projektspecifika uppgifterna och kraven som är listade i bilaga 1, avsnitt 2.

Den berörda systemansvarige för överföringssystemet ska ange hur systemet för högspänd likström ska kunna justera ramphastigheten för variationer i aktiv effekt.

Även utförandet av simuleringen ska specificeras av berörd systemansvarig för överföringssystemet samt att den överförda aktiva effekten ändras enligt den valda ramphastigheten.

3.4.4 Kravuppfyllnad

Simuleringen anses godkänd om:

- > Systemet för högspänd likström kan justera ramphastigheten för aktiv effekt enligt specifikation av berörd systemansvarig för överföringssystemet.

3.5 Begränsat frekvenskänslighetsläge vid överfrekvens – LFSM-O

3.5.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 1, artikel 15
- > EIFS 2019:3: Kapitel 3, 3 §
- > EIFS 2018:2: Kapitel 3, 3-6 §

3.5.2 Syfte med simulering

Den tekniska förmågan för systemet för högspänd likström att kontinuerligt och snabbt reglera ned aktiv effekt för att bidra till frekvensreglering vid en stor ökning av frekvensen ska visas vid olika effektnivåer. Parametrar såsom statik, S_3 , och dödband, f_I , samt dynamisk prestanda ska verifieras.

3.5.3 Utförande av simulering

Simuleringen genomförs då systemet för högspänd likström är i driftmod LFSM-O genom att applicera en simulerad frekvens in på frekvensregulatorn. Simuleringar utförs dels med frekvensramper för att verifiera frekvensdödbandet, dels frekvenssteg för att verifiera statik samt fördröjning och snabbhet i regleringen.

Berörd systemansvarig kan efterfråga ytterligare simuleringar. Detta enligt överenskommelse för varje projekt.

Frekvensramp

Simuleringen utförs med 8 % statik, S_3 , och $\pm 0,5$ Hz frekvensdödband, f_i . De frekvensramper som påförs regulatorn vid test av dödbandet vid LFSM-O visas i Tabell 1 och Figur 1.

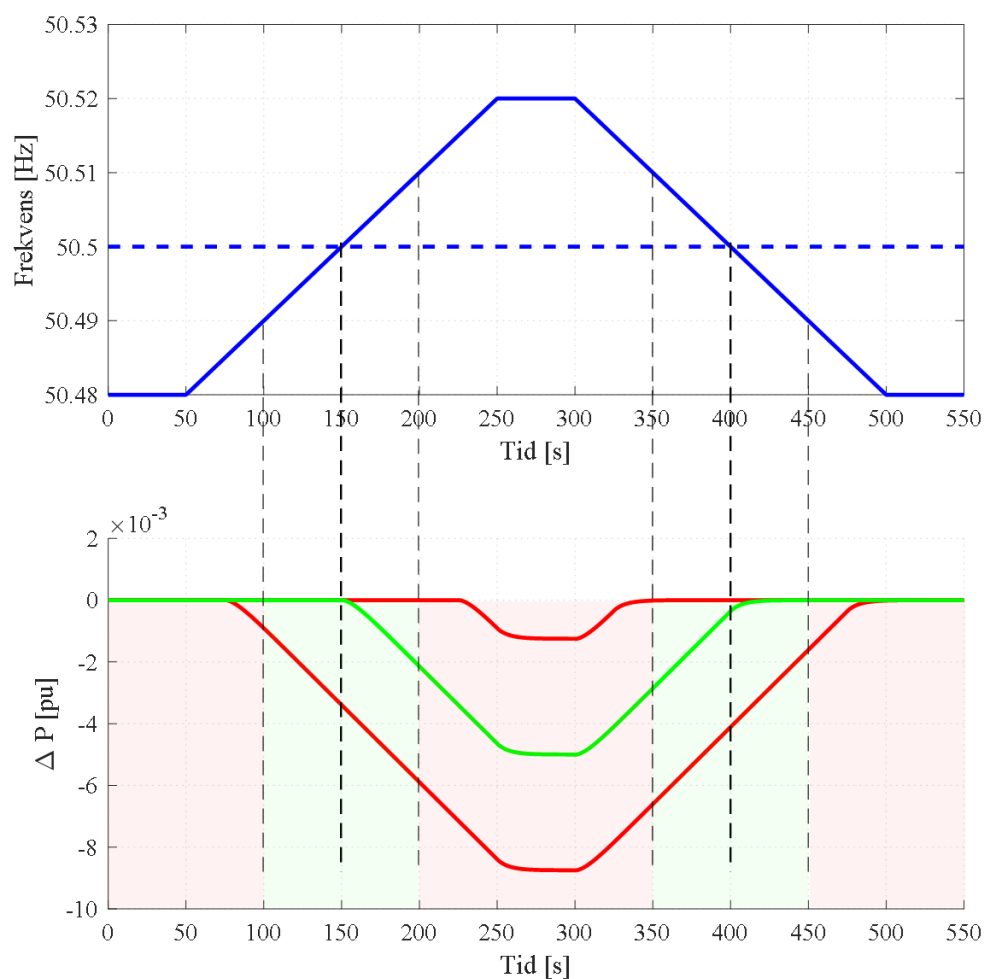
Tabell 1 Frekvensförändringar som påförs regulatorn vid simulering av LFSM-O.

Ändring	Frekvensändring
1	Steg: 50,00 => 50,48 Hz
2	Ramp: 0,2 mHz/s under 200 s (50,48 => 50,52 Hz)
3	Ramp: -0,2 mHz/s under 200 s (50,52 => 50,48 Hz)
4	Steg: 50,48 => 50,00 Hz

Innan varje ny frekvensförändring påförs ska stationärtillstånd ha uppnåtts.

Simulering med frekvensramp utförs enbart på en (valfri) effektnivå enligt nedan.

- > $P_{\max, \text{import}}$
- > Lägsta nivå med reglerförmåga + $0,15 * P_{\max, \text{import}}$
- > $0,85 * P_{\max, \text{export}}$
- > Lägsta nivå med reglerförmåga, export



Figur 1 Simulering med frekvensramper för att verifiera frekvensdödband, grön kurva och grönt område visar när kravet uppfylls och röda kurvor och rött område visar när kravet inte uppfylls.

Frekvenssteg

Simuleringen utförs med 2 % respektive 12 % statik, S_3 , och $\pm 0,5$ Hz frekvensdödband, f_t . De olika frekvenssteg som påförs regulatorn visas i Tabell 2 för statikinställning 2 % och i Tabell 3 för statikinställning 12 %.

Tabell 2 Frekvenssteg som påförs regulatorn vid test av LFSM-O vid 2 % statik.

Steg	Frekvenssteg
Steg 1	50,00 => 50,50 Hz
Steg 2	50,50 => 50,525 Hz
Steg 3	50,525 => 50,60 Hz
Steg 4	50,60 => 50,70 Hz
Steg 4b	För effektnivå 2 justeras effektbörvärdet upp från lägsta nivå med

reglerförmåga+0,15*P _{max} till lägsta nivå med reglerförmåga+0,25*P _{max}	
Steg 5	50,70 => 50,50 Hz
Steg 6	50,50 => 50,00 Hz

Tabell 3 Frekvenssteg som påförs regulatören vid test av LFSM-O vid 12 % statik.

Steg	Frekvenssteg
Steg 7	50,00 => 50,50 Hz
Steg 8	50,50 => 50,65 Hz
Steg 9	50,65 => 51,00 Hz
Steg 10	51,00 => 50,50 Hz
Steg 11	50,50 => 50,00 Hz

Innan varje nytt frekvenssteg påförs ska stationärtillstånd ha uppnåtts. Många regulatorer använder sig av en PI reglering med återkoppling och den integrerande delen av regleringen kommer då att förändras exponentiellt med en tidskonstant T_I . Stationärt tillstånd anses uppnått då $t > 7 * T_I$, där t anger tiden då frekvenssteget appliceras.

Samtliga moment enligt sekvensen ovan utförs med en initial belastningsnivå (vid 50,00 Hz) på följande effektnivåer:

- > Effektnivå 1: P_{max}, import
- > Effektnivå 2: Lägsta nivå med reglerförmåga+0,15* P_{max}, import
- > Effektnivå 3: 0,85*P_{max}, export
- > Effektnivå 4: Lägsta nivå med reglerförmåga, export

3.5.4 Analys av simulering

Simuleringen med frekvensramp plottas i analogi med Figur 1, dvs. det ska tydligt ses i figuren när frekvensen går utanför frekvensdödbandet så att det lätt går att avläsa när den aktiva effekten börjar och slutar att förändras. Som visas i figuren ska förändringen påbörjas/avslutas inom det gröna området. Utformningen av regleringen innebär emellertid att en viss tidsfördröjning fås ifrån att frekvensen ändras tills att responsen ses i aktiv effekt. Om detta innebär att kravet är på gränsen till att klaras finns möjlighet att återupprepa simuleringen fast med ännu lägre frekvensramp än 0,2 mHz/s.

Utifrån utförda simuleringar av frekvenssteg tas stationär aktiv effektökning, ΔP , vid varje frekvenssteg, Δf , fram.

3.5.5 Kravuppfyllnad

Simuleringen ska anses som godkänd om:

- > Simuleringen med frekvensramp visar att den aktiva effekten börjar att förändras då frekvensen är utanför frekvensdödbandet (grönt område i Figur 1) och slutar att förändras då frekvensen är innanför frekvensdödbandet (grönt område i Figur 1). En avvikelse på 10 mHz accepteras, dvs. frekvensdödbandet accepteras vara mellan 0,49-0,51 Hz.
- > Frekvenssteg 1-6 vid 2 % statik enligt Tabell 2 resulterar i förändring av den aktiva effektnivån i enlighet med Tabell 4, Figur 2 **Error! Reference source not found.** och Figur 3. För varje enskilt frekvenssteg accepteras en tolerans på $\pm 0,5$ % av $P_{\max}$ (exempelvis för steg 4 för 2 % statik accepteras en effektminskning på 9,5-10,5 % av $P_{\max}$). Ackumulerat, dvs. för ΔP_{tot} , accepteras en tolerans på $\pm 1,0$ % av $P_{\max}$.
- > Frekvenssteg 7-11 vid 12 % statik enligt Tabell 3 resulterar i förändring av den aktiva effektnivån i enlighet med Tabell 5 och Figur 2 **Error! Reference source not found.** För varje enskilt frekvenssteg accepteras en tolerans på $\pm 0,5$ % av $P_{\max}$. Ackumulerat, dvs. för ΔP_{tot} , accepteras en tolerans på $\pm 1,0$ % av $P_{\max}$.
- > Snabbheten i regleringen innebär att den aktiva effekten vid frekvenssteg 4 vid 2 % statik (gäller ej för effektnivåerna 2 och 3) kan minska med 10 % av $P_{\max}$ på 30 s (en tolerans på $\pm 0,5$ % accepteras, dvs. minskningen skall vara inom intervallet 9,5–10,5 % av $P_{\max}$ efter 30 s).
- > Systemet för högspänd likström ska justera den aktiva effekten som frekvenssvar så snabbt som det är tekniskt genomförbart utifrån dess inneboende egenskaper och samtidigt bibehålla en stabil feedback loop, med en inledande fördröjning och tid för full aktivering som uppfyller specifikationen av den berörda systemansvarige för överföringssystemet. Detta gäller för de frekvenssteg som resulterar i aktivering av LFSM-O, dvs. där $f > 50,5$ Hz.
- > Frekvenssteg 4, vid simulering på effektnivå 2 och 2 % statik, medför att aktiv effekt stabiliseras på lägsta nivå med reglerförmåga.
- > Påläggning av frekvenssteg inte resulterar i stationära aktiva effektpendlingar med en amplitud större än 0,1 % av $P_{\max}$.

- > Ändring av effektbörvärdet vid effektnivå 2, 2 % statik och frekvensen 50,7 Hz (steg 4b) resulterar inte i någon förändring av den aktiva effektnivån.

Tabell 4 Krav på effektförändring vid simulering av olika frekvenssteg vid LFSM-O vid 2 % statik.

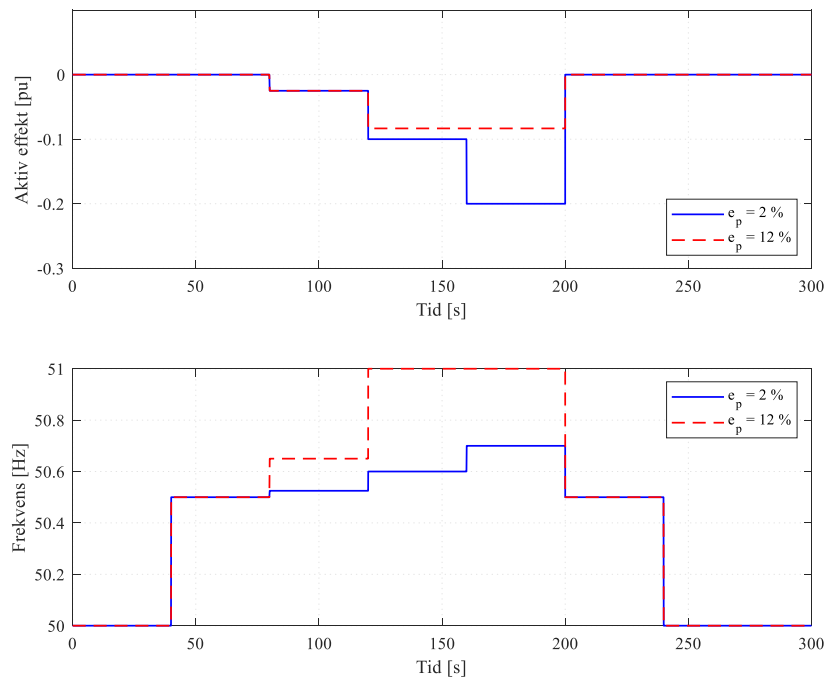
Steg	Frekvenssteg	ΔP (% av $P_{\max}$)	ΔP_{tot} (% av $P_{\max}$)
Steg 1	50,00 => 50,50 Hz	0	0
Steg 2	50,50 => 50,525 Hz	-2,5	-2,5
Steg 3	50,525 => 50,60 Hz	-7,5	-10
Steg 4	50,60 => 50,70 Hz	-10*	-20**
Steg 5	50,70 => 50,50 Hz	+20**	0
Steg 6	50,50 => 50,00 Hz	0	0

*-5 %vid effektnivå 2 och 3 pga begränsning vid lägsta nivå med reglerförmåga och förändring av effektbörvärdet.

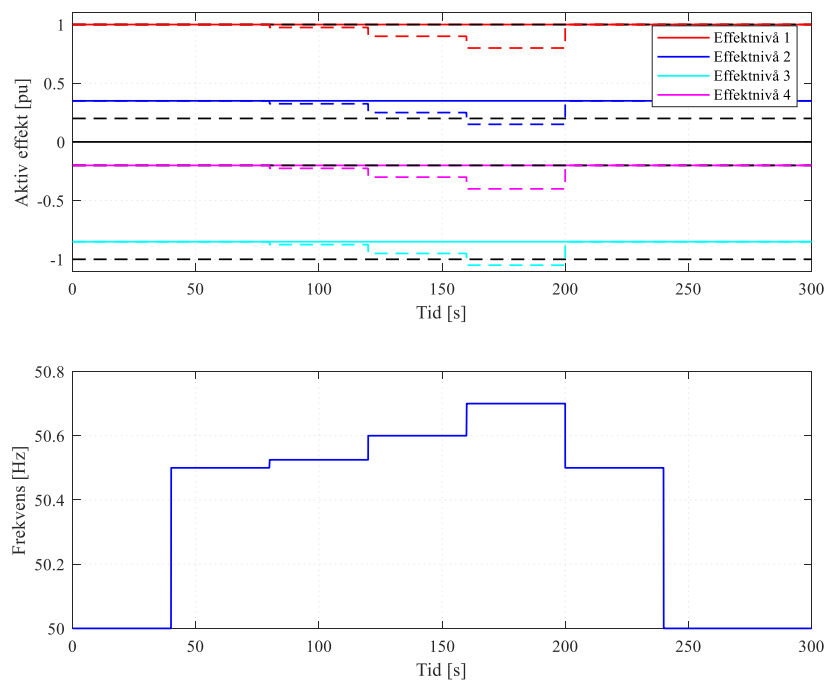
** ± 15 %vid effektnivå 2 och 3 pga begränsning vid lägsta nivå med reglerförmåga och förändring av effektbörvärdet.

Tabell 5 Krav på effektförändring vid simulering av olika frekvenssteg vid LFSM-O vid 12 % statik.

Steg	Frekvenssteg	ΔP (% av $P_{\max}$)	ΔP_{tot} (% av $P_{\max}$)
Steg 7	50,00 => 50,50 Hz	0	0
Steg 8	50,50 => 50,65 Hz	-2,5	-2,5
Steg 9	50,65 => 51,00 Hz	-5.8	-8.3
Steg 10	51,00 => 50,50 Hz	+8.3	0
Steg 11	50,00 => 50,50 Hz	0	0



Figur 2 Frekvenssteg och resulterande aktiv effektförändring vid frekvenssteg vid test av LFSM-O vid 2% respektive 12 % statik. Positiv effekt motsvarar import.



Figur 3 Resultande aktiv effekt vid frekvenssteg vid test av LFSM-O vid 2% statik med lägsta nivå med reglerförmåga 0.2 pu av $P_{\max}$. Positiv effekt motsvarar import.

3.6 Begränsat frekvenskänslighetsläge vid underfrekvens - LFSM-U

3.6.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 1, artikel 15
- > EIFS 2019:3: Kapitel 3, 3 §
- > EIFS 2018:2: Kapitel 3, 20-22 §

3.6.2 Syfte med simulering

Den tekniska förmågan för systemet för högspänd likström att kontinuerligt och snabbt reglera ned aktiv effekt för att bidra till frekvensreglering vid en stor minskning av frekvensen ska visas vid olika effektnivåer. Parametrar såsom statik, S_4 , och dödband, f_2 , samt dynamisk prestanda ska verifieras.

3.6.3 Utförande av simulering

Simuleringen genomförs då systemet för högspänd likström är i driftmod aktiv effekterreglering med LFSM-U genom att applicera en simulerad frekvens in på frekvensregulatorn. Simuleringar utförs dels med frekvensramper för att verifiera frekvensdödbandet, dels frekvenssteg för att verifiera statik och snabbhet i regleringen.

Berörd systemansvarig kan efterfråga ytterligare simuleringar. Detta enligt överenskommelse för varje projekt.

Frekvensramp

Simuleringen utförs med 8 % statik, S_4 , och $\pm 0,5$ Hz frekvensdödband, f_2 . De frekvensramper som påförs regulatorn vid test av dödbandet vid LFSM-U visas i Tabell 6 och Figur 4.

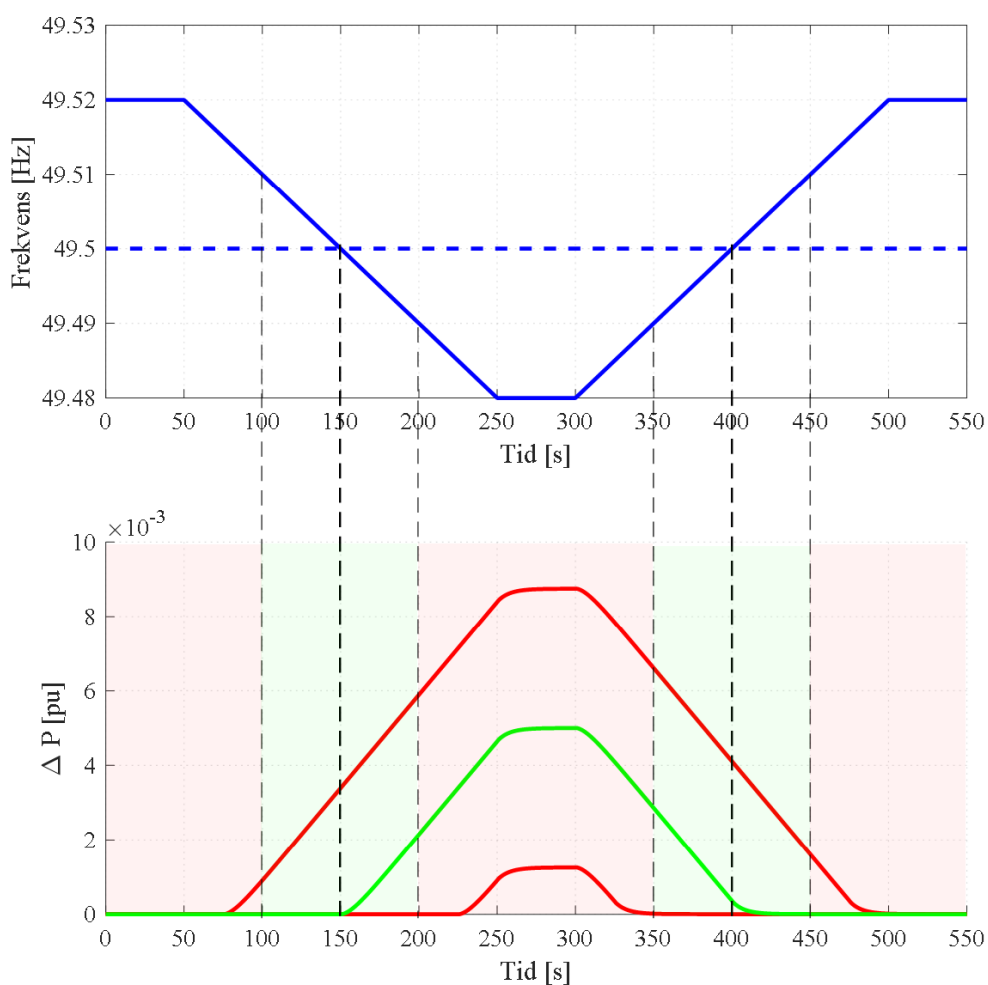
Tabell 6 Frekvensförändringar som påförs regulatorn vid simulering av LFSM-U.

Ändring	Frekvensändring
1	Steg: 50,00 => 49,52 Hz
2	Ramp: -0,2 mHz/s under 200 s (49,52 => 49,48 Hz)
3	Ramp: +0,2 mHz/s under 200 s (49,48 => 49,52 Hz)
4	Steg: 49,52 => 50,00 Hz

Innan varje ny frekvensförändring påförs ska stationärtillstånd ha uppnåtts.

Simulering med frekvensramp utförs enbart på en (valfri) effektnivå enligt nedan.

- > $0,80 \cdot P_{\max}$, import
- > Lägsta nivå med reglerförmåga, import
- > $P_{\max}$, export
- > Lägsta nivå med reglerförmåga + $0,20 \cdot P_{\max}$, export



Figur 4 Simulering med frekvensramper för att verifiera frekvensdödband, grön kurva och grönt område visar när kravet uppfylls och röda kurvor och rött område visar när kravet inte uppfylls.

Frekvenssteg

Simuleringen utförs med 2 % respektive 12 % statik, S_4 , och 0,5 Hz frekvensdödband, f_2 . De olika frekvenssteg som påförs regulatören visas i Tabell 7 för statikinställning 2 % och i Tabell 8 för statikinställning 12 %.

Tabell 7 Frekvenssteg som påförs regulatören vid test av LFSM-U vid 2 % statik.

Steg	Frekvenssteg
Steg 1	50,00 => 49,50 Hz
Steg 2	49,50 => 49,475 Hz
Steg 3	49,475 => 49,40 Hz
Steg 4	49,40 => 49,30 Hz
Steg 5	49,30 => 49,50 Hz
Steg 6	49,50 => 50,00 Hz

Tabell 8 Frekvenssteg som påförs regulatören vid test av LFSM-U vid 12 % statik.

Steg	Frekvenssteg
Steg 7	50,00 => 49,50 Hz
Steg 8	49,50 => 49,35 Hz
Steg 9	49,35 => 49,00 Hz
Steg 10	49,00 => 49,50 Hz
Steg 11	49,50 => 50,00 Hz

Innan varje nytt frekvenssteg påförs ska stationärtillstånd ha uppnåtts. Många regulatorer använder sig av en PI reglering med återkoppling och den integrerande delen av regleringen kommer då att förändras exponentiellt med en tidskonstant T_I . Stationärt tillstånd anses uppnått då $t > 7 \cdot T_I$, där t anger tiden då frekvenssteget appliceras.

Samtliga moment enligt Tabell 7 och Tabell 8 utförs med en initial belastningsnivå (vid 50,00 Hz) på följande effektnivåer:

- > Effektnivå 1: $0,80 \cdot P_{\max}$, import
- > Effektnivå 2: Lägsta nivå med reglerförmåga, import
- > Effektnivå 3: $P_{\max}$, export
- > Effektnivå 4: Lägsta nivå med reglerförmåga + $0,20 \cdot P_{\max}$, export

3.6.4 Analys av simulering

Simuleringen med frekvensramp plottas i analogi med Figur 4 dvs. det ska tydligt ses i figuren när frekvensen går utanför frekvensdödbandet så att det lätt går att avläsa när den aktiva effekten börjar och slutar att förändras. Som visas i figuren ska förändringen påbörjas/avslutas inom det gröna området. Utformningen av regleringen innebär emellertid att en viss tidsfördröjning fås ifrån att frekvensen ändras tills att responsen ses i aktiv effekt. Om detta innebär att kravet är på gränsen till att klaras finns möjlighet att återupprepa simuleringen fast med ännu lägre frekvensramp än 0,2 mHz/s.

Utifrån utförda simuleringar av frekvenssteg tas stationär aktiv effektökning, ΔP , vid varje frekvenssteg, Δf , fram.

3.6.5 Kravuppfyllnad

Simuleringen ska anses som godkänd om:

- > Simuleringen med frekvensramp visar att den aktiva effekten börjar att förändras då frekvensen är utanför frekvensdödbandet (grönt område i Figur 4) och slutar att förändras då frekvensen är innanför frekvensdödbandet (grönt område i Figur 4). En avvikelse på 10 mHz accepteras, dvs. frekvensdödbandet accepteras vara mellan 0,49-0,51 Hz.
- > Frekvenssteg 1-6 vid 2 % statik enligt Tabell 7 resulterar i förändring av den aktiva effektnivån i enlighet med Tabell 9, Figur 5 och Figur 6. För varje enskilt frekvenssteg accepteras en tolerans på $\pm 0,5$ % av $P_{\max}$ (exempelvis för steg 4 för 2 % statik accepteras en effektökning på 9,5-10,5 % av $P_{\max}$). Ackumulerat, dvs. för ΔP_{tot} , accepteras en tolerans på $\pm 1,0$ % av $P_{\max}$.
- > Frekvenssteg 7-11 vid 12 % statik enligt Tabell 8 resulterar i förändring av den aktiva effektnivån i enlighet med Tabell 10 och Figur 5. För varje enskilt frekvenssteg accepteras en tolerans på $\pm 0,5$ % av $P_{\max}$. Ackumulerat, dvs. för ΔP_{tot} , accepteras en tolerans på $\pm 1,0$ % av $P_{\max}$.
- > Systemet för högspänd likström ska justera den aktiva effekten som frekvenssvar så snabbt som det är tekniskt genomförbart utifrån dess inneboende egenskaper och samtidigt bibehålla en stabil feedback loop, med en inledande fördröjning och tid för full aktivering som uppfyller specifikationen av den berörda systemansvarige för överföringssystemet. Detta gäller för de frekvenssteg som resulterar i aktivering av LFSM-U, dvs. där $f < 49,5$ Hz.
- > Snabbheten i regleringen innebär att den aktiva effekten vid frekvenssteg 4 vid 2 % statik kan öka med 10 % av $P_{\max}$ på 30 s (en tolerans på $\pm 0,5$ %

accepteras, dvs. ökningen skall vara inom intervallet 9,5–10,5 % av $P_{\max}$ efter 30 s).

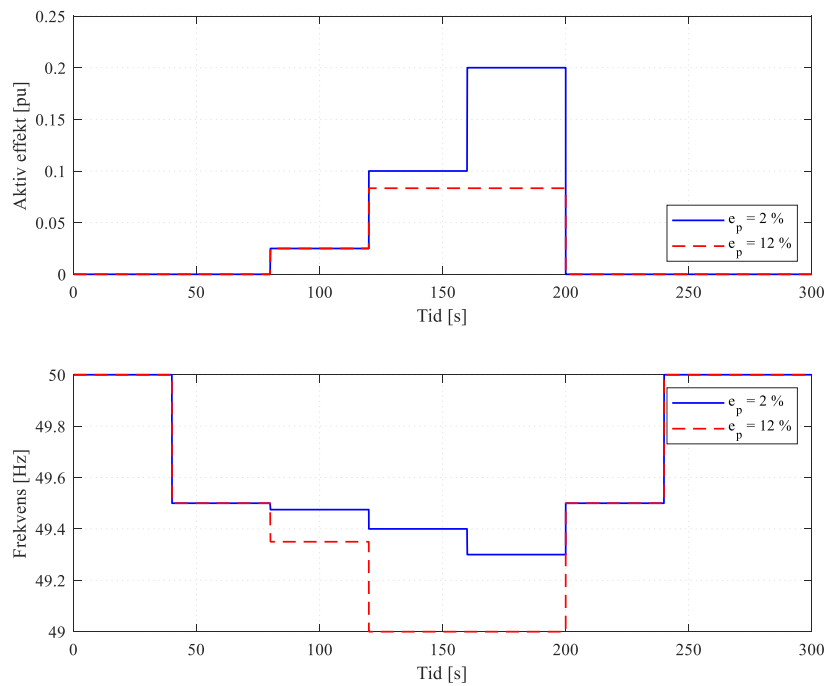
- > Påläggning av frekvenssteg inte resulterar i stationära aktiva effektpendlingar med en amplitud större än 0,1 % av $P_{\max}$.

Tabell 9 Krav på effektförändring vid simulering av olika frekvenssteg vid LFSM-U vid 2 % statik.

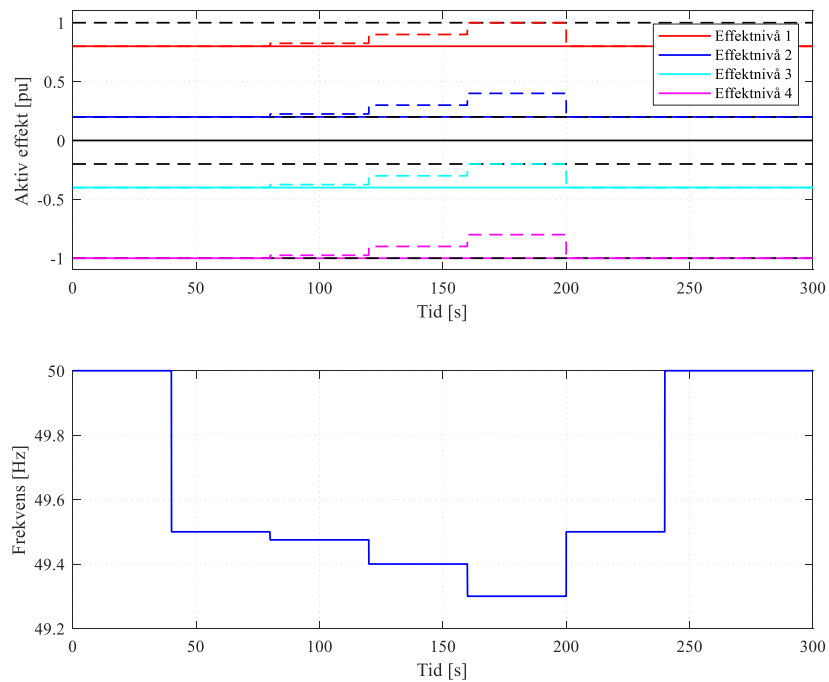
Steg	Frekvenssteg	ΔP (% av $P_{\max}$)	ΔP_{tot} (% av $P_{\max}$)
Steg 1	50,00 => 49,50 Hz	0	0
Steg 2	49,50 => 49,475 Hz	+2,5	+2,5
Steg 3	49,475 => 49,40 Hz	+7,5	+10
Steg 4	49,40 => 49,30 Hz	+10	+20
Steg 5	49,30 => 49,50 Hz	-20	0
Steg 6	49,50 => 50,00 Hz	0	0

Tabell 10 Krav på effektförändring vid simulering av olika frekvenssteg vid LFSM-U vid 12 % statik.

Steg	Frekvenssteg	ΔP (% av $P_{\max}$)	ΔP_{tot} (% av $P_{\max}$)
Steg 7	50,00 => 49,50 Hz	0	0
Steg 8	49,50 => 49,35 Hz	+2,5	+2,5
Steg 9	49,35 => 49,00 Hz	+5,8	+8,3
Steg 10	49,00 => 49,50 Hz	-8,3	0
Steg 11	49,50 => 50,00 Hz	0	0



Figur 5 Frekvenssteg och resulterande aktiv effektförändring vid frekvenssteg vid test av LFSM-U vid 2% respektive 12 % statik. Positiv effekt motsvarar import.



Figur 6 Resulterande aktiv effekt vid frekvenssteg vid test av LFSM-U vid 2 % statik med lägsta nivå med reglerförmåga 0.2 pu av P_{max} . Positiv effekt motsvarar import.

3.7 Frekvenskänslighetsläge – FSM – dödband och okänslighet

3.7.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 1, artikel 15
- > EIFS 2019:3: Kapitel 3, 3 §
- > EIFS 2018:2: Kapitel 3, 23-29 §

3.7.2 Syfte med simulering

Den tekniska förmågan för systemet för högspänd likström att kontinuerligt reglera aktiv effekt för att bidra till frekvensreglering vid en ökning eller minskning av frekvensen ska visas vid olika effektnivåer. Parametrar som statik, S_1 och S_2 , och dödband, okänslighet för frekvenssvar samt dynamisk prestanda ska verifieras.

Syftet med simuleringen är att säkerställa att dödbandet kan regleras och anta olika värden, att given statik uppnås samt att okänsligheten för frekvenssvar är mindre än 10 mHz, dvs. fås en förändring i frekvens som är högre än okänsligheten så ska detta kunna mätas upp i form av en respons i aktiv effekt.

3.7.3 Utförande av simulering

Simuleringen utförs då systemet för högspänd likström är i driftmod frekvensreglering (FSM) genom att applicera frekvens in på turbinregulatorn. De initiala inställningarna för FSM vid simuleringen ska vara 12 % statik och $\pm 0,1$ Hz dödband.

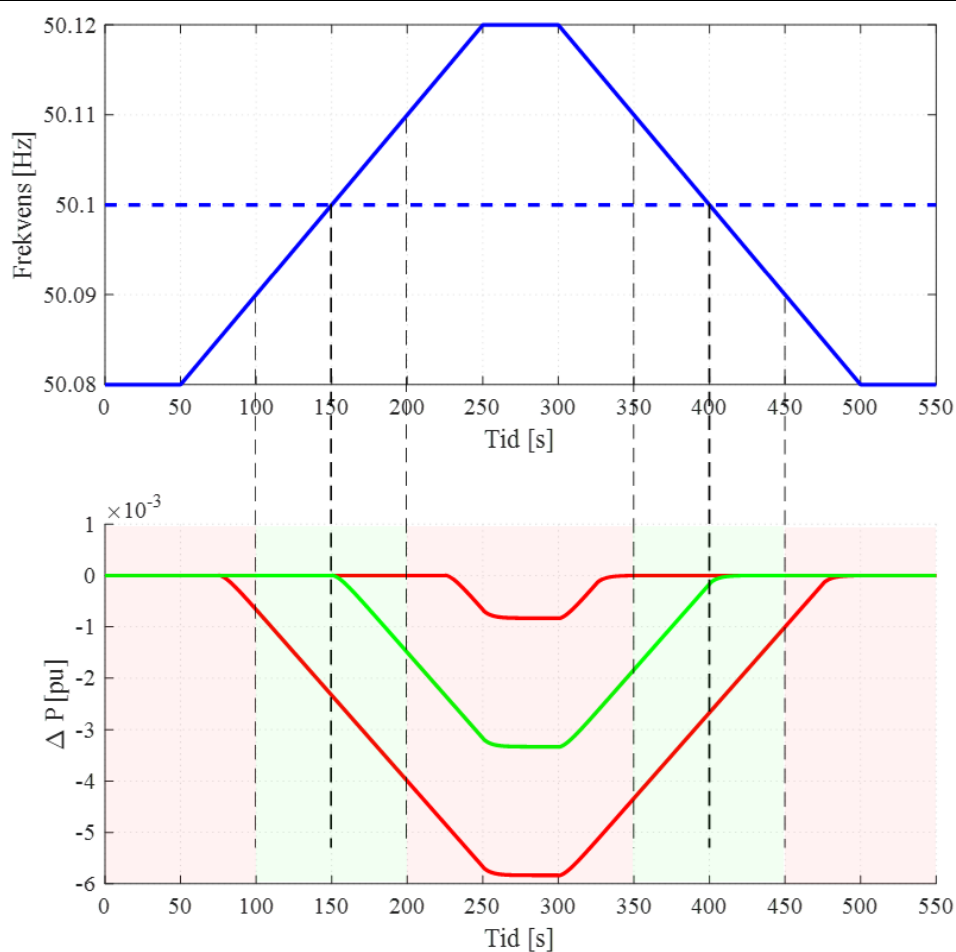
Berörd systemansvarig kan efterfråga ytterligare simuleringar. Detta enligt överenskommelse för varje projekt.

De olika frekvensändringar, både frekvenssteg och frekvensramper, som påförs regulatorn visas i Tabell 11 och frekvensramperna åskådliggörs även i Figur 7 och Figur 8.

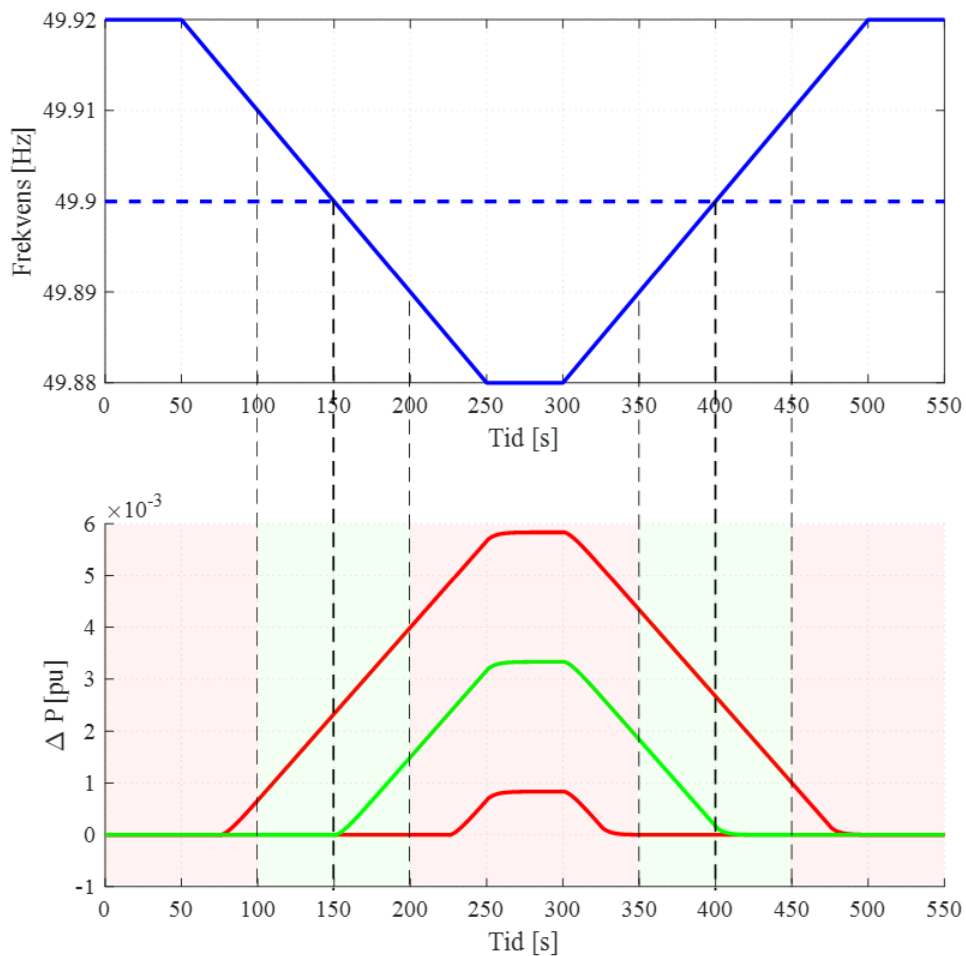
Tabell 11 Frekvensförändringar som påförs regulatorn vid simulering av FSM vid frekvensdödband $\pm 0,1$ Hz och statik 12 %.

Ändring	Frekvensändring
1	Steg: 50,00 => 50,08 Hz
2	Ramp: 0,2 mHz/s under 200 s (50,08 => 50,12 Hz)
3	Steg: 50,12 => 50,13 Hz

4	Steg: 50,13 => 50,12 Hz
5	Ramp: -0,2 mHz/s under 200 s (50,12 => 50,08 Hz)
6	Steg: 50,08 => 49,92 Hz
7	Ramp: -0,2 mHz/s under 200 s 49,92 => 49,88 Hz
8	Ramp: +0,2 mHz/s under 200 s (49,88 => 49,92 Hz)
9	Steg: 49,92 => 50,00 Hz



Figur 7 Simulering med frekvensramper för att verifiera frekvensdödband vid FSM och $\pm 0,1$ Hz dödband, grön kurva och grönt område visar när kravet uppfylls och röda kurvor och rött område visar när kravet inte uppfylls, frekvensstegen 50,12 till 50,13 Hz och vice versa inte inkluderade i figuren.



Figur 8 Simulering med frekvensramper för att verifiera frekvensdödband vid FSM och $\pm 0,1$ Hz dödband, grön kurva och grönt område visar när kravet uppfylls och röda kurvor och rött område visar när kravet inte uppfylls.

Innan varje ny frekvensförändring påförs ska stationärtillstånd ha uppnåtts.

Simulering med frekvensramp utförs enbart på en (valfri) effektnivå enligt nedan:

- > $0,9 \cdot P_{\max, \text{import}}$
- > $0,5 \cdot (P_{\max} + \text{Lägst niva med reglerförmåga}), \text{import}$
- > $0,9 \cdot P_{\max, \text{export}}$
- > $0,5 \cdot (P_{\max} + \text{Lägst niva med reglerförmåga}), \text{export}$

3.7.4 Analys av simulering

Simuleringarna av frekvensramperna plottas i analogi med Figur 7 och Figur 8, dvs. det ska tydligt markeras i figuren när frekvensen går utanför frekvensdödbandet så att det lätt går att avläsa när den aktiva effekten börjar att förändras.

3.7.5 Kravuppfyllnad

Simuleringen ska anses godkänd om:

- > Frekvensändring 1, 6, och 9 inte resulterar i några förändringar i aktiv effektnivå dvs. inom frekvensdödbandet
- > Frekvensändring 2 och 5 samt 7 och 8 visar på ett frekvensdödband som är $\pm 0,1$ Hz. En tolerans på ± 10 mHz accepteras, dvs. frekvensdödbandet ska vara inom 0,09-0,11 Hz.
- > Frekvensändring 3 och 4 resulterar i uppmätbara förändringar i aktiv effektnivå dvs. okänsligheten för frekvenssvar < 10 mHz.

3.8 Frekvenskänslighetsläge – FSM – snabbhet i reglering samt statik

3.8.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 1, artikel 15
- > EIFS 2019:3: Kapitel 3, 3 §
- > EIFS 2018:2: Kapitel 3, 23-29 §

3.8.2 Syfte med simulering

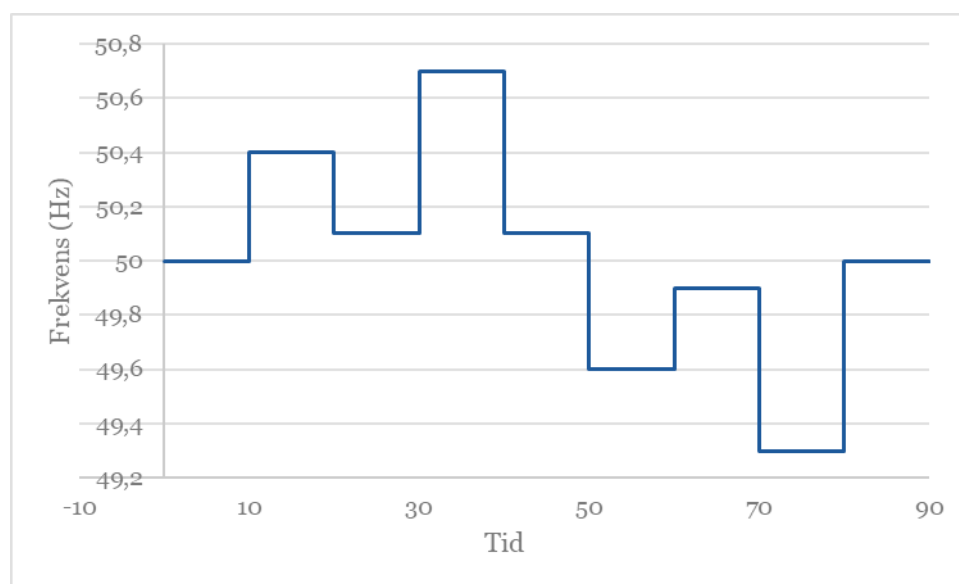
Den tekniska förmågan för systemet för högspänd likström att kontinuerligt reglera aktiv effekt för att bidra till frekvensreglering vid en ökning eller minskning av frekvensen ska visas vid olika effektnivåer. Syftet med simuleringen är att säkerställa snabbheten i den respons som fås i samband med stegförändringar i frekvensen, aktiverad effekt samt statikinställning.

3.8.3 Utförande av simulering

Simuleringen utförs vid en statikinställning på 12 % och ett frekvensdödband på $\pm 0,1$ Hz. De olika frekvenssteg som används visas i Tabell 12 och Figur 9.

Tabell 12 Frekvenssteg som påförs regulatort vid simulering av snabbheten för FSM vid frekvensdödband $\pm 0,1$ Hz och statik 12 %.

Steg	Frekvenssteg
Steg 1	50,00 => 50,40 Hz
Steg 2	50,40 => 50,10 Hz
Steg 3	50,10 => 50,70 Hz
Steg 4	50,70 => 50,10 Hz
Steg 5	50,10 => 49,60 Hz
Steg 6	49,60 => 49,90 Hz
Steg 7	49,90 => 49,30 Hz
Steg 8	49,30 => 50,00 Hz



Figur 9 Frekvenssteg som ska påföras vid simulering av snabbheten för FSM vid frekvensdödband $\pm 0,1$ Hz och statik 12 %.

Innan varje nytt frekvenssteg påförs ska stationärtillstånd ha uppnåtts. Många regulatorer använder sig av en PI reglering med återkoppling och den integrerande delen av regleringen kommer då att förändras exponentiellt med en tidskonstant T_I . Stationärt tillstånd anses uppnått då $t > 7 \cdot T_I$, där t anger tiden då frekvenssteget appliceras.

Samtliga moment enligt ovan utförs med en initial belastningsnivå (vid 50,00 Hz) på följande effektnivåer:

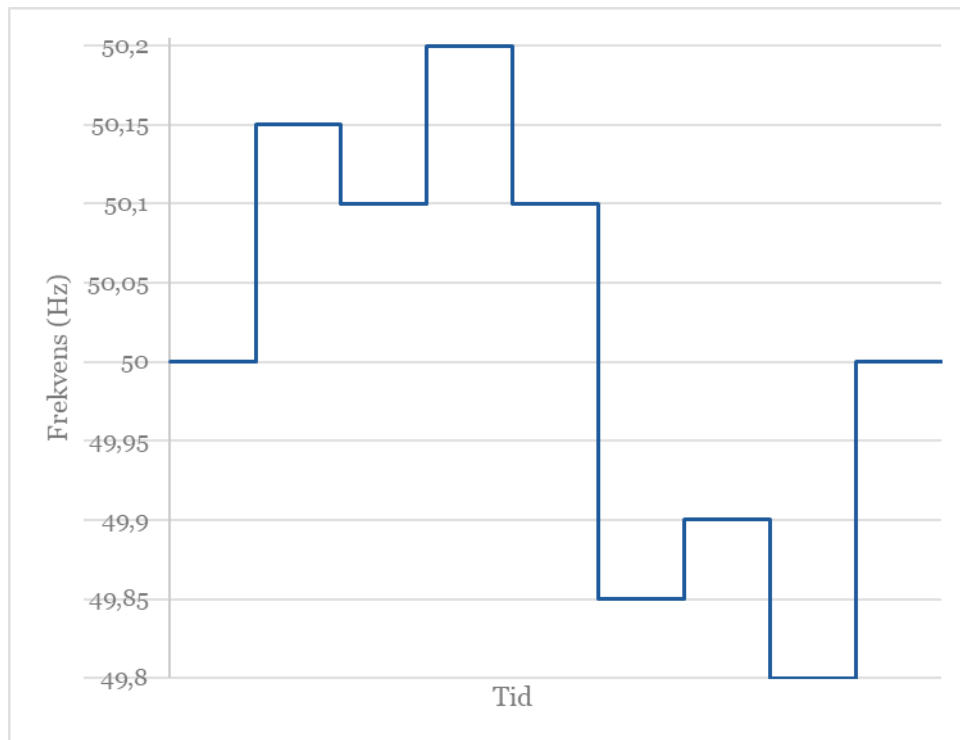
- > Effektnivå 1: $0,9 \cdot P_{\max, \text{import}}$

- > Effektnivå 2: $0,5 * (P_{\max} + \text{Lägsta nivå med reglerförmåga})$, import
- > Effektnivå 3: $0,9 * P_{\max}$, export
- > Effektnivå 4: $0,5 * (P_{\max} + \text{Lägsta nivå med reglerförmåga})$, export

För effektnivåerna 1 och 3, dvs. 90 % av $P_{\max}$ (både import och export), utförs även simulering då statiken ändras från 12 % till 2 %. För att erhålla samma storlek på de aktiva effektförändringarna (bortsett från eventuell aktivering av LFSM-O/U) utförs simuleringen med mindre frekvenssteg enligt Tabell 13 och Figur 10.

Tabell 13 Frekvenssteg vid simulering av snabbheten för FSM vid frekvensdödband $\pm 0,1$ Hz och statik 2 %.

Steg	Frekvenssteg
Steg 9	50,00 => 50,15 Hz
Steg 9b	Justera effektnivå 1 till $0,95 * P_{\max}$ (import) och effektnivå 3 $0,85 * P_{\max}$ (export)
Steg 9b	Återställ effektbörvärdet för nivå 1 och 3 till $0,9 * P_{\max}$ (import/export)
Steg 10	50,15 => 50,10 Hz
Steg 11	50,10 => 50,20 Hz
Steg 12	50,20 => 50,10 Hz
Steg 13	50,10 => 49,85 Hz
Steg 13b	Justera effektnivå 1 till $0,85 * P_{\max}$ (import) och effektnivå 3 $0,95 * P_{\max}$ (export)
Steg 13b	Återställ effektbörvärdet för nivå 1 och 3 till $0,9 * P_{\max}$ (import/export)
Steg 14	49,85 => 49,90 Hz
Steg 15	49,90 => 49,80 Hz
Steg 16	49,80 => 50,00 Hz



Figur 10 Frekvenssteg som ska påföras vid simulering av snabbheten för FSM vid frekvensödband $\pm 0,1$ Hz och statik 12 %.

Berörd systemansvarig kan efterfråga ytterligare simuleringar. Detta enligt överenskommelse för varje projekt.

3.8.4 Analys av simulering

Utifrån utförda frekvenssteg tas kurvor fram där stationär aktiv effektförändring, ΔP , vid frekvenssteg, Δf , avläses samt tiden det tar att uppnå denna förändring.

3.8.5 Kravuppfyllnad

Simuleringen ska anses som godkänd om:

- > Förändringen av aktiv effekt i respektive frekvenssteg sker snabbare än vad som visas i Figur 13 om inget annat specificerats av berörd systemansvarig för överföringssystemet.
- > Påbörjad förändring i aktiv effekt erhålls inom 0,5 s efter att respektive frekvenssteg applicerats. Om den inledande fördröjningen av aktiveringen är större än 0,5 sekunder ska ägaren av systemet för högspänd likström ge en rimlig motivering till detta till den berörda systemansvarige för överföringssystemet.

- > Snabbheten i regleringen innebär att den aktiva effekten vid frekvenssteg 3, 4, 7, 8, 11, 12, 15 och 16 kan förändras med 10 % av $P_{\max}$ (11,7 % då LFSM-O/U aktiveras) på 30 s (en tolerans på $\pm 0,5$ % accepteras, dvs. förändringen skall vara inom intervallet 9,5–10,5 % av $P_{\max}$ efter 30 s).
- > Frekvenssteg 1-8 resulterar i förändring av den aktiva effektnivån i enlighet med Tabell 14 och frekvenssteg 9-16 i enlighet med Tabell 15. För varje enskilt frekvenssteg accepteras en tolerans på $\pm 0,5$ % av $P_{\max}$ (exempelvis för steg 11 accepteras en effektminskning på 9,5-10,5 % av $P_{\max}$). Ackumulerat, dvs. för ΔP_{tot} , accepteras en tolerans på $\pm 1,0$ % av $P_{\max}$.
- > Påläggning av frekvenssteg inte resulterar i stationära aktiva effektpendlingar med en amplitud större än 0,1 % av $P_{\max}$.
- > Ändring av effektbörvärdet i steg 9b och steg 13b resulterar inte i någon förändring av den aktiva effektnivån.

Tabell 14 Krav på effektförändring vid simulering av olika frekvenssteg vid FSM med 12 % statik och $\pm 0,1$ Hz frekvensdödband.

Steg	Frekvenssteg	ΔP (% av $P_{\max}$)	ΔP_{tot} (% av $P_{\max}$)
Steg 1	50,00 => 50,40 Hz	-5,0	-5,0
Steg 2	50,40 => 50,10 Hz	+5,0	0
Steg 3	50,10 => 50,70 Hz	-11,7*	-11,7*
Steg 4	50,70 => 50,10 Hz	+11,7*	0
Steg 5	50,10 => 49,60 Hz	+5,0	+5,0
Steg 6	49,60 => 49,90 Hz	-5,0	0
Steg 7	49,90 => 49,30 Hz	+11,7**	+11,7**
Steg 8	49,30 => 50,00 Hz	-11,7**	0

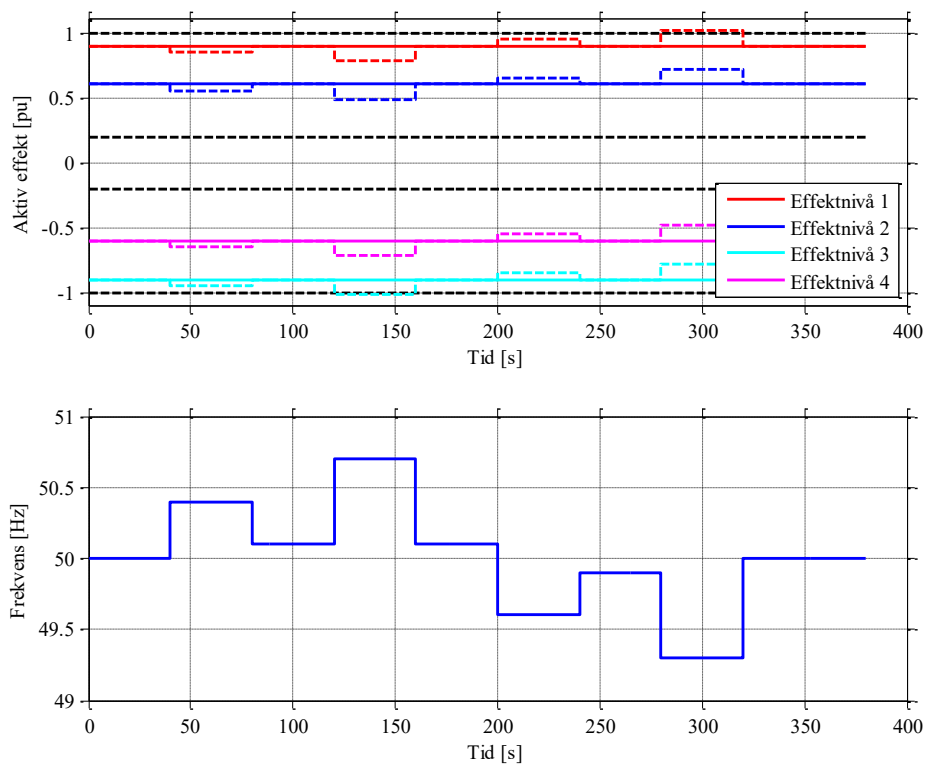
* Notera att LFSM-O aktiveras vid 50,5 Hz. ΔP kan begränsas av $P_{\max}$. I tabellen ovan är resultatet beräknat med 8 % statik för LFSM-O.

** Notera att LFSM-U aktiveras vid 49,5 Hz. ΔP kan begränsas av $P_{\max}$. I tabellen ovan är resultatet beräknat med 8 % statik för LFSM-U.

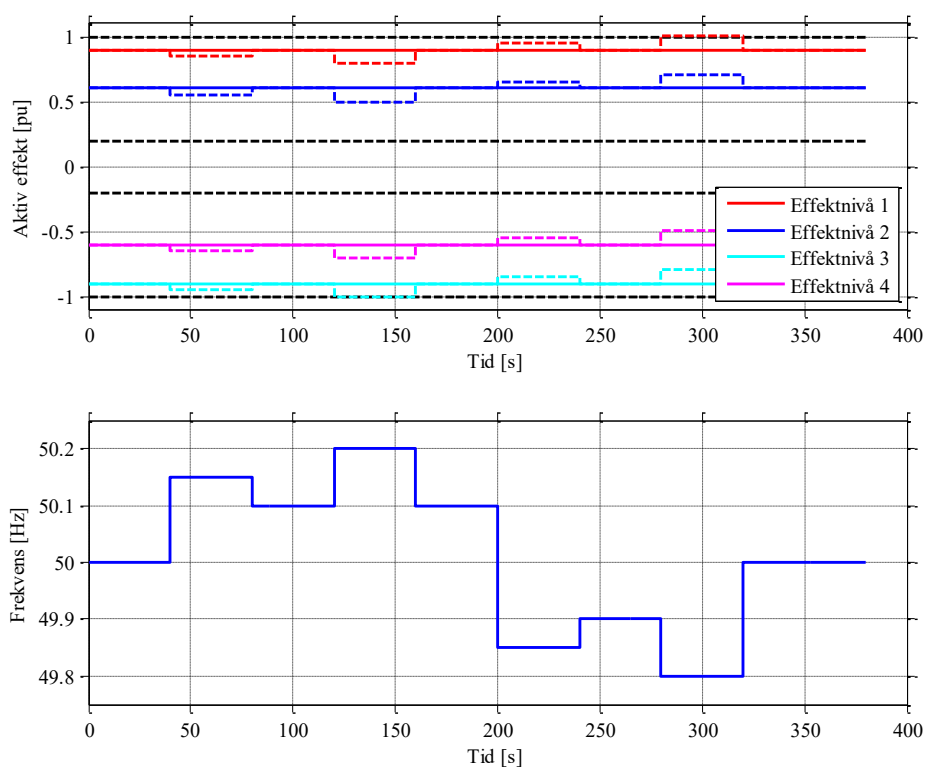
Tabell 15 Krav på effektförändring vid simulering av olika frekvenssteg vid FSM med 2 % statik och $\pm 0,1$ Hz frekvensdödband.

Steg	Frekvenssteg	ΔP (% av $P_{\max}$)	ΔP_{tot} (% av $P_{\max}$)
Steg 9	50,00 => 50,15 Hz	-5,0	-5,0
Steg 10	50,15 => 50,10 Hz	+5,0	0

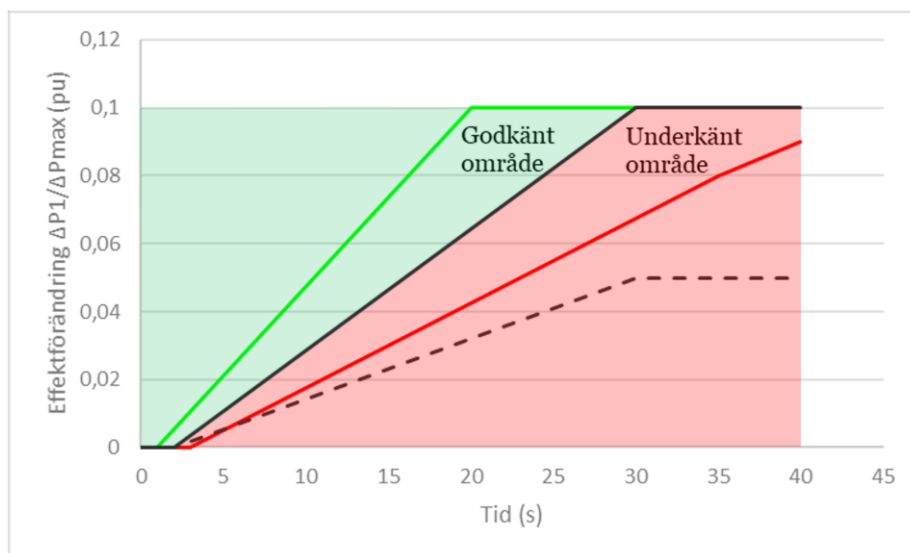
Steg 11	50,10 => 50,20 Hz	-10,0	-10,0
Steg 12	50,20 => 50,10 Hz	+10,0	0
Steg 13	50,10 => 49,85 Hz	+5,0	+5,0
Steg 14	49,85 => 49,90 Hz	-5,0	0
Steg 15	49,90 => 49,80 Hz	+10,0	+10,0
Steg 16	49,80 => 50,00 Hz	-10,0	0



Figur 11 Resultande aktiv effekt vid frekvenssteg vid test av FSM med 12 % statik och $\pm 0,1$ Hz frekvensdödband. Lägsta nivå med reglerförmåga är 0.2 pu av $P_{\max}$. Positiv effekt motsvarar import.



Figur 12 Resultande aktiv effekt vid frekvenssteg vid test av FSM med 2 % statik och $\pm 0,1$ Hz frekvensdödband. Lägsta nivå med reglerförmåga är 0.2 pu av $P_{\max}$. Positiv effekt motsvarar import.



Figur 13 Krav på effektorespons vid en stegförändring av frekvensen med $-0,1$ Hz vid en statik på 2 % som ska ge en effektorespons på $+10\%$ av $P_{\max}$. Helt dragen svart linje visar gränsen för kravuppfyllnad, grön en simulering som visar godkänt och röd en simulering som visar underkänt resultat. Svartstreckad linje visar motsvarande krav som ska ge en effektorespons på $+5\%$ av $P_{\max}$.

3.9 Frekvensreglering

3.9.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 1, artikel 16

3.9.2 Syfte med simulering

Syftet med simuleringen är att visa att systemet för högspänd likström har förmåga att tillhandahålla oberoende reglerlägen för modulering av den aktiva uteffekten beroende på frekvenserna i samtliga anslutningspunkter om detta har specificerats av den berörda systemansvarige för överföringssystemet.

3.9.3 Utförande av simulering

Detta är ett projektspecifikt krav där både specifikation av krav och metod för verifiering bestäms för varje projekt av berörd systemansvarig för överföringssystemet. De projektspecifika kraven listas i bilaga 1, avsnitt 2.

3.9.4 Kravuppfyllnad

Simuleringen ska anses godkänd om:

- > Systemet för högspänd likström kan påvisa uppfyllnad av de givna reglerprinciperna.

3.10 Tillhandahållande av syntetisk tröghet

3.10.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 1, artikel 14

3.10.2 Syfte med simulering

Syftet med simuleringen är att visa att systemet för högspänd likström har förmåga att tillhandahålla den syntetiska tröghet som har specificerats av den berörda systemansvarige för överföringssystemet.

3.10.3 Utförande av simulering

Detta är ett projektspecifikt krav där både specifikation av krav och metod för verifiering bestäms för varje projekt av berörd systemansvarig för överföringssystemet. De projektspecifika kraven listas i bilaga 1, avsnitt 2.

3.10.4 Kravuppfyllnad

Simuleringen ska anses godkänd om:

- > Systemet för höghänsänd likström kan påvisa uppfyllnad av de givna reglerprinciperna.

3.11 Automatiska avhjälpande åtgärder

3.11.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 1, artikel 13.3

3.11.2 Syfte med simulering

Simuleringen syftar till att visa att systemet för höghänsänd likström ska kunna vidta automatiska avhjälpande åtgärder enligt specifikation av berörd systemansvarig för överföringssystem i samordning med angränsande systemansvariga

3.11.3 Utförande av simulering

Detta är en del av de projektspecifika uppgifterna och kraven som är listade i bilaga 1, avsnitt 2.

Även utförandet av simuleringen ska specificeras av berörd systemansvarig för överföringssystemet.

3.11.4 Kravuppfyllnad

Simuleringen anses godkänd om:

- > Systemet för höghänsänd likström kan vidta avhjälpande automatiska åtgärder enligt specifikation av berörd systemansvarig för överföringssystemet i samordning med angränsande systemansvariga för överföringssystem.

3.12 Maximal förlust av aktiv effekt

3.12.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 1, artikel 17

3.12.2 Syfte med redovisade data

Redovisa de reglerfunktioner som gör det möjligt för de berörda systemansvariga för överföringssystemen att begränsa förändringarna av aktiv effekt för att undvika för stor påverkan på elkraftsystemet.

3.12.3 Format för redovisning av data

Det är en del av de projektspecifika uppgifterna och kraven som är listade i bilaga 1, avsnitt 2.

Formatet för redovisning av dessa kriterier bestäms i samråd med berörd systemansvarig och berörd systemansvarig för överföringssystemet.

3.12.4 Kravuppfyllnad

Kravet anses uppfyllt om:

- > De reglerfunktioner som gör det möjligt för de berörda systemansvariga för överföringssystemen att begränsa förändringarna av aktiv effekt för att undvika för stor påverkan på elkraftsystemet redovisas.

4 Reaktiv effekt och spänningsreglering

För att påvisa kravuppfyllnaden för systemet för högspänd likström gällande kraven för reglering av reaktiv effekt och spänningsreglering görs ett antal simuleringar.

För att utföra dessa simuleringar måste både börvärdet för de olika moderna för reaktiv effektregering kunna ändras, och även spänningen i anslutningspunkten genom att ändra spänningen för nätekivalenten.

4.1 Reglerbarhet av reaktiv effekt-/Mvar reglering

4.1.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 2, artikel 22.1, 22.2 och 22.4
- > HVDC-förordningen: Avdelning 3, kapitel 2, artikel 48.2

4.1.2 Syfte med simulering

Simuleringen syftar till att visa att ett system för högspänd likström i driftmod reaktiv effekt/Mvar reglering kan producera och förbruka reaktiv effekt motsvarande ett givet börvärde och att det är möjligt att justera reaktiv effekt och reaktivt effektbörvärde med given noggrannhet. Vidare syftar simuleringen till att visa att förändringen av reaktiv effekt sker inom den tid som är angiven av berörd systemansvarig.

4.1.3 Utförande av simulering

Detta är ett projektspecifikt krav där både specifikation av kraven och metod för verifiering bestäms för varje projekt av berörd systemansvarig och/eller berörd systemansvarig för överföringssystemet. De projektspecifika kraven listas i bilaga 1, avsnitt 2 och avsnitt 5.

4.1.4 Kravuppfyllnad

Simuleringen ska anses som godkänd om regleringen av reaktiv effekt uppfyller de krav som angivits av berörd systemansvarig i samråd med berörd systemansvarig för överföringssystemet.

4.2 Reglerbarhet av spänning

4.2.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 2, artikel 22.1, 22.2 och 22.3

4.2.2 Syfte med simulering

Förmågan för systemet för högspänd likström att vid anslutning till överföringssystemet kunna bidra till spänningsreglering i anslutningspunkten med ett spänningsbörvärde inom ett givet område ska visas liksom snabbheten i att tillhandahålla reaktiv effekt vid en förändring av spänningen. Även spänningsreglering för systemet för högspänd likström med valbar Q-U-lutning (reaktiv kompensering) samt möjligheten till justerbart dödband ska visas.

Kraven på snabbheten i att tillhandahålla reaktiv effekt är ett projektspecifikt krav som listas i bilaga 1, avsnitt 2 och ska anges av berörd systemansvarig i samordning med berörd systemansvarig för överföringssystemet.

4.2.3 Utförande av simulering

Detta är ett projektspecifikt krav där både specifikation av kraven och metod för verifiering bestäms för varje projekt av berörd systemansvarig och/eller berörd systemansvarig för överföringssystemet. De projektspecifika kraven listas i bilaga 1, avsnitt 2.

4.2.4 Kravuppfyllnad

Simuleringen ska anses som godkänd om:

- > Spänningsbörvärdet kan justeras inom det givna området med given upplösning.
- > Q-U lutning (statikfaktor) kan justeras inom det givna området med given upplösning.
- > Uppmätt Q-U lutning överensstämmer med inställd Q-U lutning, förutsatt att reaktiv begränsning inte uppnås. Q-U lutningen korrigeras för dödbandet där detta appliceras.
- > Dödbandet kan regleras inom givna intervall och med given upplösning.
- > Vid ett steg i spänningen ska 90 % av den resulterande reaktiva effekten uppnås inom tiden t_1 , och ska stanna vid det värde som anges av Q-U-lutningen inom tiden t_2 . Notera att tiderna t_1 och t_2 är projektspecifika krav som anges av berörd systemansvarig för varje projekt, se bilaga 1, avsnitt 2.

- > Reglerläget för spänning inbegriper förmågan att ändra reaktiv uteffekt baserat på en kombination av ett ändrat börvärde för spänning och en ytterligare reaktiv effektkomponent om detta specificerats.
- > Begränsningarna i reaktiv effekt och spänning i anslutningspunkten enligt artiklarna 20 och 21 i HVDC-förordningen respekteras.

4.3 Reglerbarhet av effektfaktor/ $\cos \varphi$

4.3.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 2, artikel 22.1, 22.2 och 22.5

4.3.2 Syfte med simulering

Syftet med simuleringen är att visa att systemet för högspänd likström kan tillhandahålla reglering för effektfaktor/ $\cos \varphi$ i anslutningspunkten med den givna snabbheten och toleransen vid en plötslig förändring av den aktiva effekten.

Kraven på tolerans för måleffektfaktorn och tiden för att uppnå måleffektfaktorn efter ett plötsligt steg i aktiv effekt är projektspecifika krav som listas i bilaga 1, avsnitt 2 och ska anges av berörd systemansvarig.

4.3.3 Utförande av simulering

Detta är ett projektspecifikt krav där både specifikation av kraven och metod för verifiering bestäms för varje projekt av berörd systemansvarig och/eller berörd systemansvarig för överföringssystemet. De projektspecifika kraven listas i bilaga 1, avsnitt 2.

4.3.4 Kravuppfyllnad

Simuleringen ska anses som godkänd om:

- > Måleffektfaktorn uppnås efter ett steg i den aktiva effekten, med en största tolerans i den reaktiva effekten enligt överenskommelse.
- > Måleffektfaktorn uppnås inom den tid som har angivits efter förändringen i aktiv effekt har avslutats.
- > Vid drift vid tillgänglig aktiv effekt får den reaktiva effekten inte avvika mer än angivet av berörd systemansvarig jämfört med den givna effektfaktorn.

- > Systemet för högspänd likström kan reglera effektfaktorn i anslutningspunkten mellan angivna värde med ett angivet minsta steg.
- > Begränsningarna i reaktiv effekt och spänning i anslutningspunkten enligt artiklarna 20 och 21 i HVDC-förordningen respekteras.

4.4 Reglering av arbetspunkt

4.4.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 2, artikel 20.3

4.4.2 Syfte med simulering

Simuleringen syftar till att visa att ett system för högspänd likström i driftmod reaktiv effekt/Mvar reglering kan ändras till vilken arbetspunkt som helst inom systemets inom systemets U-Q/ $P_{\max}$ -profil inom de tidsramar som anges av den berörda systemansvarige i samordning med den berörda systemansvarige för överföringssystemet.

Det är en del av de projektspecifika uppgifterna och kraven som är listade i bilaga 1, avsnitt 2.

4.4.3 Utförande av simulering

Detta är ett projektspecifikt krav där både specifikation av kraven och metod för verifiering bestäms för varje projekt av berörd systemansvarig och/eller berörd systemansvarig för överföringssystemet. De projektspecifika kraven listas i bilaga 1, avsnitt 2.

4.4.4 Kravuppfyllnad

Simuleringen ska anses som godkänd om det visas att arbetspunkten för systemet för högspänd likström kan ändras till vilken arbetspunkt som helst inom systemets inom systemets U-Q/ $P_{\max}$ -profil inom de tidsramar som anges av den berörda systemansvarige i samordning med den berörda systemansvarige för överföringssystemet.

5 Stabilitet för nätet

Ett system för högspänd likström ger ofta en betydande påverkan på växelströmsnätet i anslutningspunkten. Det är därför viktigt att studera växelverkan mellan olika komponenter i nätet och systemet för högspänd likström. För de här simuleringarna är det viktigt att de relevanta komponenterna i det anslutande nätet är modellerade med tillräcklig noggrannhet.

5.1 Begränsning av spänning vid synkronisering och spänningssättning

5.1.1 Hänvisning till krav

> HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 4, artikel 28

5.1.2 Syfte med simulering

Syftet med simuleringen är att visa att systemet för högspänd likström har förmågan att begränsa eventuella spänningsändringar vid spänningssättning eller synkronisering till en stabil nivå som anges av den berörda systemansvarige i samordning med den berörda systemansvarige för överföringssystemet.

5.1.3 Utförande av simulering

Detta är en del av de projektspecifika uppgifterna och kraven som är listade i bilaga 1, avsnitt 2.

Även utförandet av simuleringen ska specificeras av berörd systemansvarig för överföringssystemet.

5.1.4 Kravuppfyllnad

Simuleringen ska anses som godkänd om:

> Systemet för högspänd likström begränsar spänningsändringarna enligt specifikation vid synkronisering och spänningssättning.

5.2 Växerverkan med andra apparater och annan utrustning

5.2.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 4, artikel 29

5.2.2 Syfte med simulering

Syftet med simuleringen är att studera växerverkan mellan systemet för högspänd likström och andra apparater och annan utrustning som är elektriskt nära. Detta är ett projektspecifikt krav som är listat i bilaga 1, avsnitt 2.

5.2.3 Utförande av simulering

Simuleringen utförs enligt överenskommelse med berörd systemansvarig och berörd systemansvarig för överföringssystemet och involverar med största sannolikhet även andra parter. Detta är ett projektspecifikt krav och studien utformas i samråd med berörd systemansvarig och berörd systemansvarig för överföringssystemet.

5.2.4 Kravuppfyllnad

Simuleringen ska anses som godkänd om:

- > Simuleringen studerar möjlig växerverkan med annan utrustning och andra komponenter som är elektriskt nära enligt specifikation från berörd systemansvarig och berörd systemansvarig för överföringssystemet.
- > Om en negativ växerverkan konstateras ska undersökningarna ange möjliga åtgärder som ska genomföras för att minska riskerna och därmed säkerställa överensstämmelse med kraven i denna förordning.

5.3 Dämpning av effektpendlingar

5.3.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 4, artikel 30

5.3.2 Syfte med simulering

Syftet med simuleringen är att studera förmågan för systemet för högspänd likström att bidra till dämpning av effektpendlingar i anslutna växelströmsnät. Detta är ett projektspecifikt krav som är listat i bilaga 1, avsnitt 2.

5.3.3 Utförande av simulering

Simuleringen utförs enligt överenskommelse med berörd systemansvarig och berörd systemansvarig för överföringssystemet. Detta är ett projektspecifikt krav och studien utformas i samråd med berörd systemansvarig och berörd systemansvarig för överföringssystemet.

5.3.4 Kravuppfyllnad

Simuleringen ska anses som godkänd om:

- > Systemet för höghänsänd likström ska kunna bidra till dämpningen av effektpendlingar i anslutna växelströmsnät.
- > Regleringen med inställningar och parametrar har utformats i samråd med berörd systemansvarig för överföringssystemet.

5.4 Dämpning av subsynkron torsionssamverkan

5.4.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 4, artikel 31

5.4.2 Syfte med simulering

Syftet med simuleringen är att studera förmågan för systemet för höghänsänd likström att bidra till dämpning av effektpendlingar i anslutna växelströmsnät. Detta är ett projektspecifikt krav som är listat i bilaga 1, avsnitt 2.

5.4.3 Utförande av simulering

Simuleringen utförs enligt överenskommelse med berörd systemansvarig och berörd systemansvarig för överföringssystemet. Detta är ett projektspecifikt krav och studien utformas i samråd med berörd systemansvarig och berörd systemansvarig för överföringssystemet.

5.4.4 Kravuppfyllnad

Simuleringen ska anses som godkänd om:

- > Systemet för höghänsänd likström ska kunna bidra till dämpningen av effektpendlingar i anslutna växelströmsnät.

6 Feltålighet

För att visa kravuppfyllnad för systemet för högspänd likström gällande kraven för feltålighet vid kortslutningar i anslutande nät, görs ett antal simuleringar beskrivna i avsnitt 6.1. För feltåligheten har det anslutande nätet stor påverkan varvid den nätekivalent som tillhandahålls av berörd systemansvarig ska användas. Simuleringarna för tillhandahållande av snabb felström och prioritering av aktiv eller reaktiv effekt under feltillstånd beskrivna i avsnitt 6.3 och avsnitt 6.4 är inte lika beroende av nätmodellen och en enklare nätmodell kan användas vid behov.

6.1 Feltålighet och återhämtning av aktiv effekt efter fel

6.1.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 3, artikel 25.2, 25.3, 26 33.3 och 33.4
- > EIFS 2019:3: 3 kap, 5-7 §

6.1.2 Syfte med simulering

Förmåga för ett system för högspänd likström att förbli ansluten till nätet med stabil drift inbegriper flera olika krav som samtliga måste vara uppfyllda för att anläggningen ska uppfylla det övergripande kravet på feltålighet. Inledningsvis ska systemet för högspänd likström dimensioneras för att klara av en spänningsprofil given av HVDC-förordningen och EIFS 2019:3, se Figur 14. Denna förmåga ska även redovisas i bilaga 3 Anläggningsdata. Därefter ska systemet för högspänd likström klara av ett fel i anslutningspunkten på 250 ms.

Simuleringen för systemet för högspänd likström syftar till att:

- > Visa förmåga för systemet för högspänd likström att förbli ansluten till nätet med stabil funktion vid en stum trefasig kortslutning i anslutningspunkten med en frånkopplingstid på 250 ms och en spänning i anslutningspunkten som ligger ovan den nedre gränsen som visas med den blåa kurvan i Figur 14.
- > Visa att de för systemet för högspänd likström nödvändiga hjälpkraftsystemen klarar av den spänning-tidprofil som fås i samband med en trefasig kortslutning i anslutningspunkten.

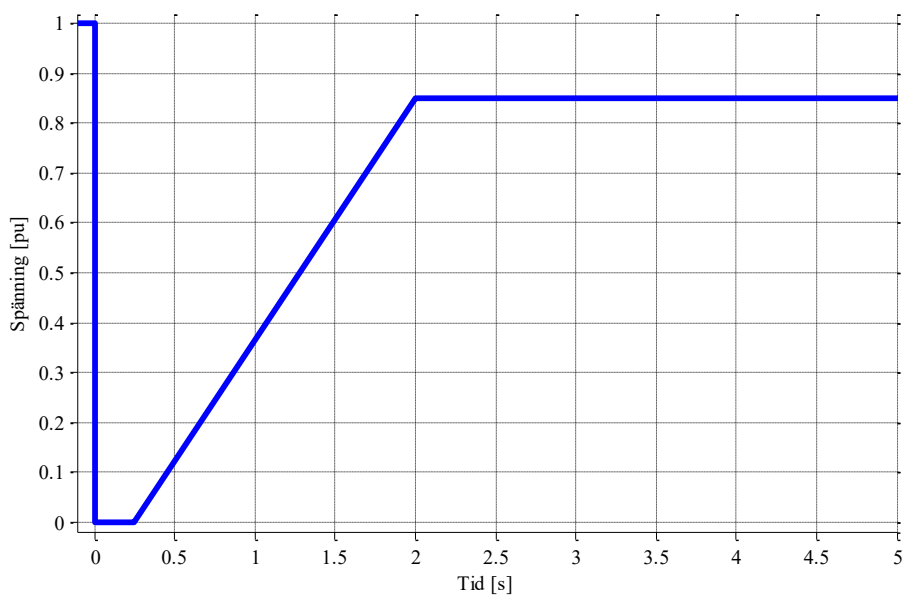
- > Visa att en återhämtning av aktiv effekt efter det att spänningen i anslutningspunkten åter överstiger 85 % avviker mindre än 15 % efter 500 ms och mindre än 1 % efter 5 s jämfört med effektnivån omedelbart innan fel under förutsättning att samma effektnivå kan uppnås.

6.1.3 Utförande av simulering

Utförandet av simuleringen samt nätmodell och övriga förutsättningar är projektspecifika uppgifter som ska tillhandahållas av berörd systemansvarig inför anslutningsprocessen. Dessa projektspecifika uppgifter är listade i bilaga 1, avsnitt 6.

6.1.4 Kravuppfyllnad

Simuleringen ska anses som godkänd om systemet för högspänd likström uppvisar den kravställda prestandan för feltålighet vid symmetriska fel.



Figur 14 Krav på tålighet mot spänning i anslutningspunkten.

6.2 Feltålighet vid osymmetriska fel

6.2.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 3, artikel 25.6

6.2.2 Syfte med simulering

Simuleringen för systemet för högespänd likström syftar till att visa att systemet för högespänd likström har kravställd feltålighet vid osymmetriska fel i anslutningspunkten.

Kravställningen för hur systemet för högespänd likström hanterar osymmetriska fel är projektspecifik och ska överenskommas med berörd systemansvarig inför anslutningsprocessen. Dessa projektspecifika uppgifter är listade i bilaga 1, avsnitt 5.

6.2.3 Utförande av simulering

Simuleringen utförs med en simuleringsmodell som kan representera osymmetriska fel och utförs enligt överenskommelse med berörd systemansvarig för överföringssystemet.

6.2.4 Kravuppfyllnad

Simuleringen ska anses som godkänd om systemet för högespänd likström uppvisar den kravställda prestandan för feltålighet vid osymmetriska fel.

6.3 Tillhandahållande av snabb felström

6.3.1 Hänvisning till krav

> HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 2, artikel 19

6.3.2 Syfte med simuleringen

Syftet med simuleringen är att redovisa att systemet för högespänd likström följer angivna krav för tillhandahållande av snabb felström för symmetriska och asymmetriska fel.

Det är en del av de projektspecifika uppgifterna och kraven som är listade i bilaga 1, avsnitt 2.

6.3.3 Utförande av simulering

Detta är ett projektspecifikt krav där både specifikation av kraven och metod för verifiering bestäms för varje projekt av berörd systemansvarig och/eller berörd systemansvarig för överföringssystemet. De projektspecifika kraven listas i bilaga 1, avsnitt 2.

6.3.4 Kravuppfyllnad

Simuleringen ska anses godkänd om:

- > Systemet för högspänd likström kan påvisa uppfyllnad av de projektspecifika kraven.

6.4 Prioritet till bidrag genom aktiv eller reaktiv effekt

6.4.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 2, artikel 23

6.4.2 Syfte med simulering

Syftet med simuleringen är att redovisa att systemet för högspänd likström följer angiven prioritering mellan aktiv effekt och reaktiv effekt vid feltillstånd given av berörd systemansvarig för överföringssystemet.

Det är en del av de projektspecifika uppgifterna och kraven som är listade i bilaga 1, avsnitt 2.

6.4.3 Utförande av simulering

Detta är ett projektspecifikt krav där både specifikation av kraven och metod för verifiering bestäms för varje projekt av berörd systemansvarig och/eller berörd systemansvarig för överföringssystemet. De projektspecifika kraven listas i bilaga 1, avsnitt 2.

6.4.4 Kravuppfyllnad

Simuleringen ska anses godkänd om:

- > Systemet för högspänd likström kan påvisa uppfyllnad av de projektspecifika kraven.
- > Om aktivt felströmsbidrag prioriterats tillhandahålls detta inom angiven tid.

6.5 Snabb återhämtning efter likströmsfel

6.5.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 3, artikel 27

6.5.2 Syfte med simulering

Syftet med simuleringen är att redovisa att systemet för högspänd likström har en snabb återhämtning av aktiv effekt efter övergående likströmsfel enligt överenskommelse med berörd systemansvarig för överföringssystemet.

Det är en del av de projektspecifika uppgifterna och kraven som är listade i bilaga 1, avsnitt 5.

6.5.3 Utförande av simulering

Detta är ett projektspecifikt krav där både specifikation av kraven och metod för verifiering bestäms för varje projekt av berörd systemansvarig och/eller berörd systemansvarig för överföringssystemet. De projektspecifika kraven listas i bilaga 1, avsnitt 5.

6.5.4 Kravuppfyllnad

Simuleringen ska anses godkänd om:

- > Systemet för högspänd likström kan påvisa uppfyllnad av de projektspecifika kraven.

6.6 Tålighet vid ändringar i systemet

6.6.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 3, artikel 33.1
- > EIFS 2019:3: 3 kap, 8-9 §

6.6.2 Syfte med simulering

Syftet med simuleringen är att redovisa att systemet för högspänd likström kan nå stabila arbetspunkter med minimal ändring av aktivt effektförbrukning och spänningsnivå vid förändringar i systemet eller i det anslutande växelströmsnätet.

Det är en del av de projektspecifika uppgifterna och kraven som är listade i bilaga 1, avsnitt 2 där ändringarna för systemförhållandena specificeras av berörd systemansvarig för överföringssystemet.

6.6.3 Utförande av simulering

Detta är ett projektspecifikt krav där både specifikation av kraven och metod för verifiering bestäms för varje projekt av berörd systemansvarig och/eller

berörd systemansvarig för överföringssystemet. De projektspecifika kraven listas i bilaga 1, avsnitt 2.

6.6.4 Kravuppfyllnad

Simuleringen ska anses godkänd om:

- > Systemet för högspänd likström når en stabil arbetspunkt med en minimal ändring av aktivt effektlöde och spänningsnivå vid givna ändringar i spännings och frekvensintervall enligt EIFS 2019:3, 8 §.
- > Systemet för högspänd likström når en stabil arbetspunkt med en minimal ändring av aktivt effektlöde och spänningsnivå vid givna ändringar i kortslutningseffekt och nätegenskaper i anslutningspunkten enligt EIFS 2019:3, 9 §.

6.7 Transienter vid bortkoppling

6.7.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 3, artikel 33.2
- > EIFS 2019:3: 3 kap, 10 §

6.7.2 Syfte med simulering

Syftet med simuleringen är att redovisa att bortkoppling eller utlösning av en omriktarstation inte leder till transienter i anslutningspunkten för systemet för högspänd likström som är större än att de kan begränsas av de överspänningsskydd som är installerade.

Det är en del av de projektspecifika uppgifterna och kraven som är listade i bilaga 1, avsnitt 2 där gränsen för transienterna i anslutningspunkten specificeras av berörd systemansvarig för överföringssystemet.

6.7.3 Utförande av simulering

Detta är ett projektspecifikt krav där både specifikation av kraven och metod för verifiering bestäms för varje projekt av berörd systemansvarig och/eller berörd systemansvarig för överföringssystemet. De projektspecifika kraven listas i bilaga 1, avsnitt 2.

6.7.4 Kravuppfyllnad

Simuleringen ska anses godkänd om:

- > bortkoppling eller utlösning av en omriktarstation inte leder till transienter i anslutningspunkten systemet för högspänd likström som är större än att de kan begränsas av de överspänningsskydd som är installerade

6.8 Prioriteringsordning av skydd och reglering

6.8.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 5, artikel 35

6.8.2 Syfte med simulering

Att visa att skydds- och regleranordningarna är reglerprinciper och inställningar samt prioritering av skydd och reglering är utformade och organiserade enligt prioriteringar givna i HVDC-förordningen och överenskomna med berörd systemansvarig och berörd systemansvarig för överföringssystemet.

Det är en del av de projektspecifika uppgifterna och kraven som är listade i bilaga 1, avsnitt 3.

6.8.3 Utförande av simulering

Redovisa utformning av och inställningar för reglering samt skyddsprioriteringar av skydds- och regleranordningar.

6.8.4 Kravuppfyllnad

Kravet anses uppfyllt om:

- > Reglerprinciper och inställningar är utformade enligt överenskommelse med berörd systemansvarig och berörd systemansvarig för överföringssystemet.
- > Skydds- och regleranordningarna är organiserade i enlighet med följande prioriteringsordning från HVDC-förordningen artikel 35.2 (från högsta till lägsta) om inte annat anges av de berörda systemansvariga för överföringssystemen i samordning med den berörda systemansvarige:
 - a) Skydd av nät och system för högspänd likström.
 - b) Reglering av aktiv effekt som assistans i nödsituationer.
 - c) Syntetisk tröghet, i förekommande fall.

- d) Automatiska avhjälpande åtgärder såsom anges i artikel 13.3.
- e) Begränsat frekvenskänslighetsläge (LFSM).
- f) Frekvenskänslighetsläge (FSM) och frekvensreglering.
- g) Begränsning av effektgradient.

Svenska kraftnät är ett statligt affärsverk med uppgift att förvalta Sveriges transmissionsnät för el, som omfattar ledningar för 400 kV och 220 kV med stationer och utlandsförbindelser. Vi har också systemansvaret för el. Vi utvecklar transmissionsnätet och elmarknaden för att möta samhällets behov av en säker, hållbar och ekonomisk elförsörjning. Därmed har Svenska kraftnät också en viktig roll i klimatpolitiken

SVENSKA KRAFTNÄT
Box 1200
172 24 Sundbyberg
Sturegatan 1

Tel: 010-475 80 00
Fax: 010-475 89 50
www.svk.se

