

Ärende nr: Svk 2024/2683

Datum: 2024-06-10

System för högspänd likström: Bilaga 6

Överensstämmelseprovning

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	Provmetodik	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	8
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	40
4.5	Utbyte av reaktiv effekt mot nätet	40
5	Stabilitet för nätet	42
5.1	Begränsning av spänning vid synkronisering och spänningssättning	42
5.2	Växelverkan med andra apparater och annan utrustning	42
5.3	Elkvalitet	43
6	Driftövervakning och fjärrkontroll	45
6.1	Felregistrering och övervakning	45
6.2	Drift och ändringar för skydd och reglering	46
6.3	Drift- och larmsignaler	47

6.4	Kommunikation av nätfrekvens	48
7	Utformning av provprogram.....	50
7.1	Hänvisning till krav	50
7.2	Bakgrund	50
7.3	Utformning av provprogram.....	50

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 provningar som visar på överensstämmelse som behövs inför slutligt driftsmeddelande. Provningarna motsvarar till stora delar simuleringarna som utförts inför tillfälligt driftsmeddelande enligt bilaga 5, och även en del av den anläggningsdata som har tillhandahållits enligt bilaga 3 verifieras.

2 Provmethodik

Provmethodiken, prestandan på mätutrustningen och de mätsignaler som ska registreras stäms av med berörd systemansvarig och berörd systemansvarig för överföringssystemet. Provtillfällen ska kommuniceras i god tid och berörd systemansvarig och berörd systemansvarig för överföringssystemet ska ha möjlighet att närvara vid överensstämmelseprovet.

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 prov. Dessa prov syftar till att utvärdera svaret i aktiv effekt på antingen ett ändrat börvärde för den aktiva effekten eller förändringar i frekvensen vid frekvensreglering.

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 prov

Provet 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 för systemet ska kunna uppnås i vardera riktningen samt att det största och minsta effektsteget kan följas inom den tidsfrist som ges av berörd för överföringssystemet.

3.1.3 Utförande av prov

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 provet ska specificeras av berörd systemansvarig för överföringssystemet.

3.1.4 Kravuppfyllnad

Provet anses godkänt om:

- > Systemet för högspänd 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 effektstegsstorlek 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 prov

Provet syftar till att visa att systemet för högspänd 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 prov

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 högspänd likström ska ha förmåga till snabb reversering.

Även utförandet av provet ska specificeras av berörd systemansvarig för överföringssystemet där provet utformas med hänsyn till påverkan på anslutande nät.

3.2.4 Kravuppfyllnad

Provet anses godkänt om:

- > Systemet för högspänd 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 prov

Provet 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 prov

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 provet ska specificeras av berörd systemansvarig för överföringssystemet.

3.3.4 Kravuppfyllnad

Provet anses godkänt 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 prov

Provet 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 prov

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 provet ska specificeras av berörd systemansvarig för överföringssystemet.

3.4.4 Kravuppfyllnad

Provet anses godkänt om:

- > Systemet för högspänd likström kan justera ramphastigheten för aktiv effekt enligt specifikation av berörd systemansvarig för överföringssystemet samt att den överförda aktiva effekten ändras enligt den valda ramphastigheten.

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 prov

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_1 , samt dynamisk prestanda ska verifieras.

3.5.3 Utförande av prov

Provet genomförs då systemet för högspänd likström är i driftmod LFSM-O genom att applicera en simulerad frekvens in på frekvensregulatorn. Prov

utförs dels med frekvensramper för att verifiera frekvensdödbandet, dels frekvenssteg för att verifiera statik och snabbhet i regleringen.

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

Frekvensramp

Provet 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.

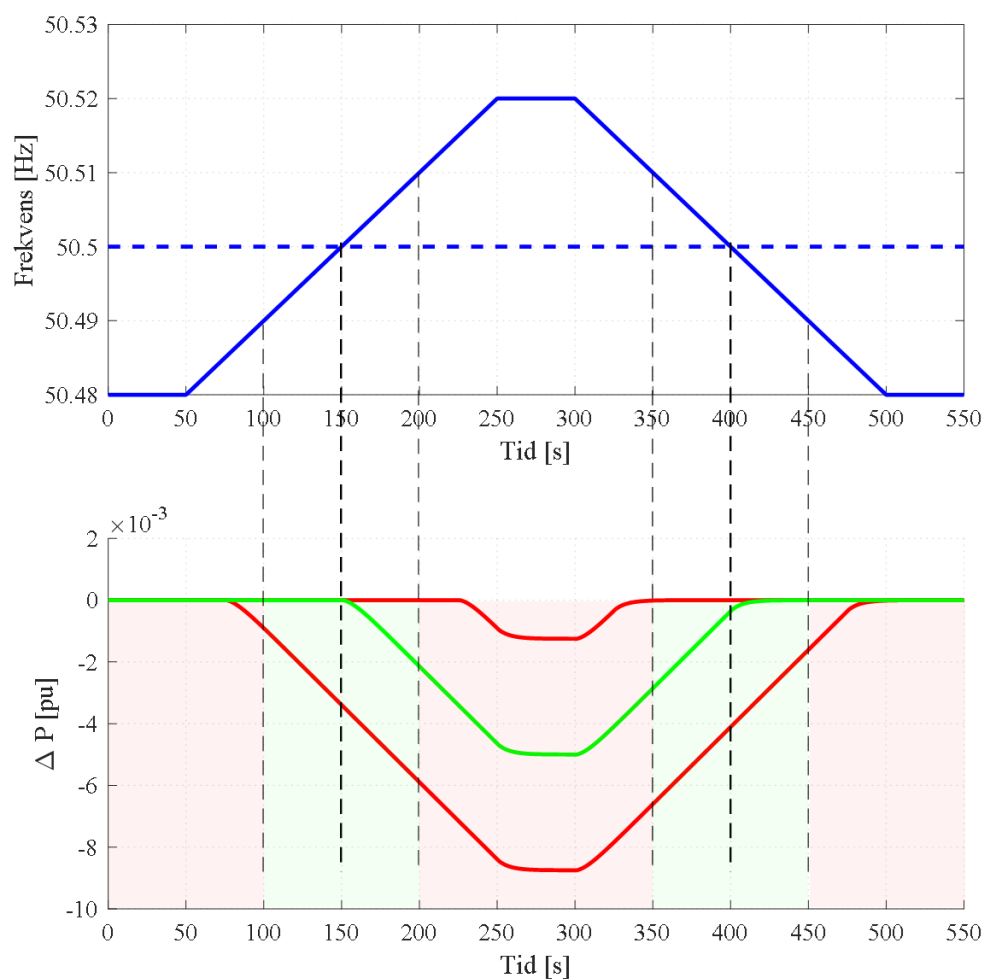
Tabell 1 Frekvensförändringar som påförs regulatorn vid LFSM-O prov.

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. Det rekommenderas att en ny frekvensändring inte startas inom 5 minuter från slutet på föregående frekvensändring.

Prov 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 Prov 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

Prov utförs med 2 % respektive 12 % statik, S_3 , och $\pm 0,5$ Hz frekvensdödband, f_i . 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 regulatoren 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 $t > 7 * T_I$, alternativt $t > 5$ minuter, 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 prov

Frekvensrampsproven 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 provet fast med ännu lägre frekvensramp än 0,2 mHz/s.

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

3.5.5 Kravuppfyllnad

Provet ska anses som godkänt om:

- > Frekvensrampsproven 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 effektöverföringen i enlighet med Tabell 4, Figur 2 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 7 och Figur 3. 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 prov på effektnivå 2 och 2 % statik, medför att aktiv effektnivå 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 effektbövärdet vid den lägsta effektnivå och frekvensen 50,7 Hz (steg 4b) resulterar inte i någon förändring av den aktiva effektnivå.

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

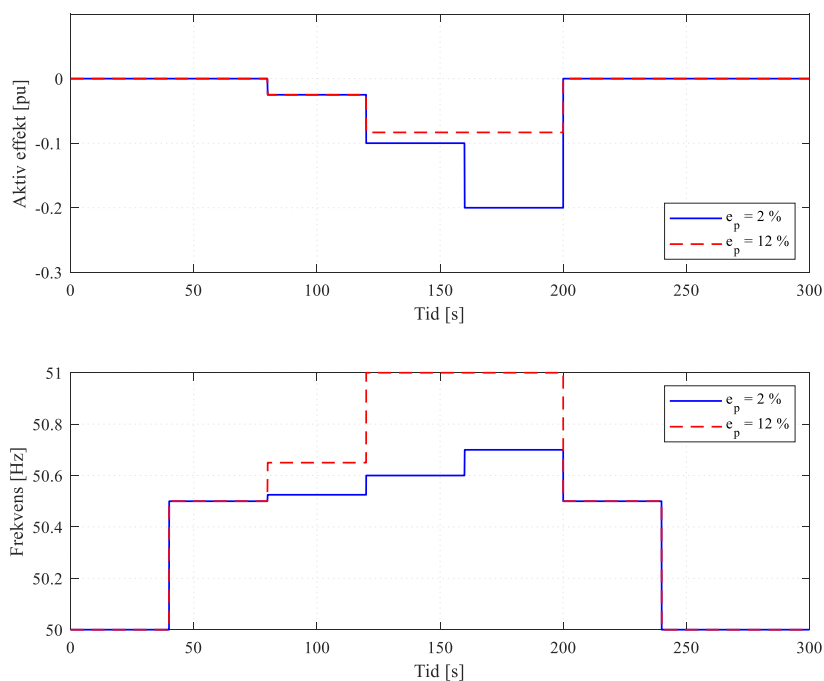
Steg	Frekvenssteg	ΔP (% av $P_{\max}$)	ΔP_{tot} (% av $P_{\max}$)
Steg 1	50,00 => 50,50 Hz	0	0
Steg 2	50,50 => 50,525 Hz	-2,5	-2,5
Steg 3	50,525 => 50,60 Hz	-7,5	-10
Steg 4	50,60 => 50,70 Hz	-10*	-20**
Steg 5	50,70 => 50,50 Hz	+20**	0
Steg 6	50,50 => 50,00 Hz	0	0

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

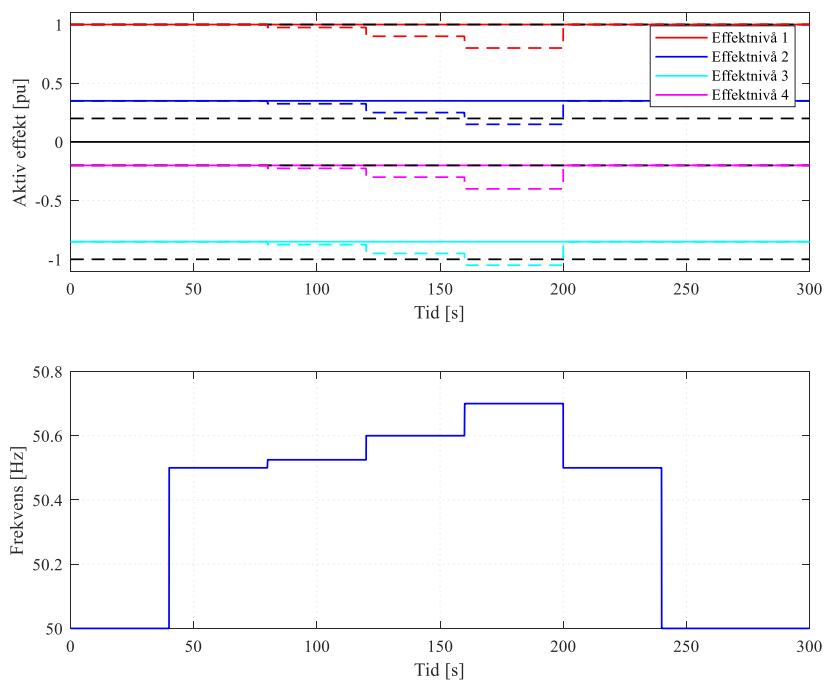
** ± 15 %vid effektnivå 2 och 3 pga begränsning vid lägsta nivå med reglerförmåga och förändring av effektbövärdet.

Tabell 5 Krav på effektförändring vid prov 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 prov

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 prov

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

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

Frekvensramp

Provet 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.

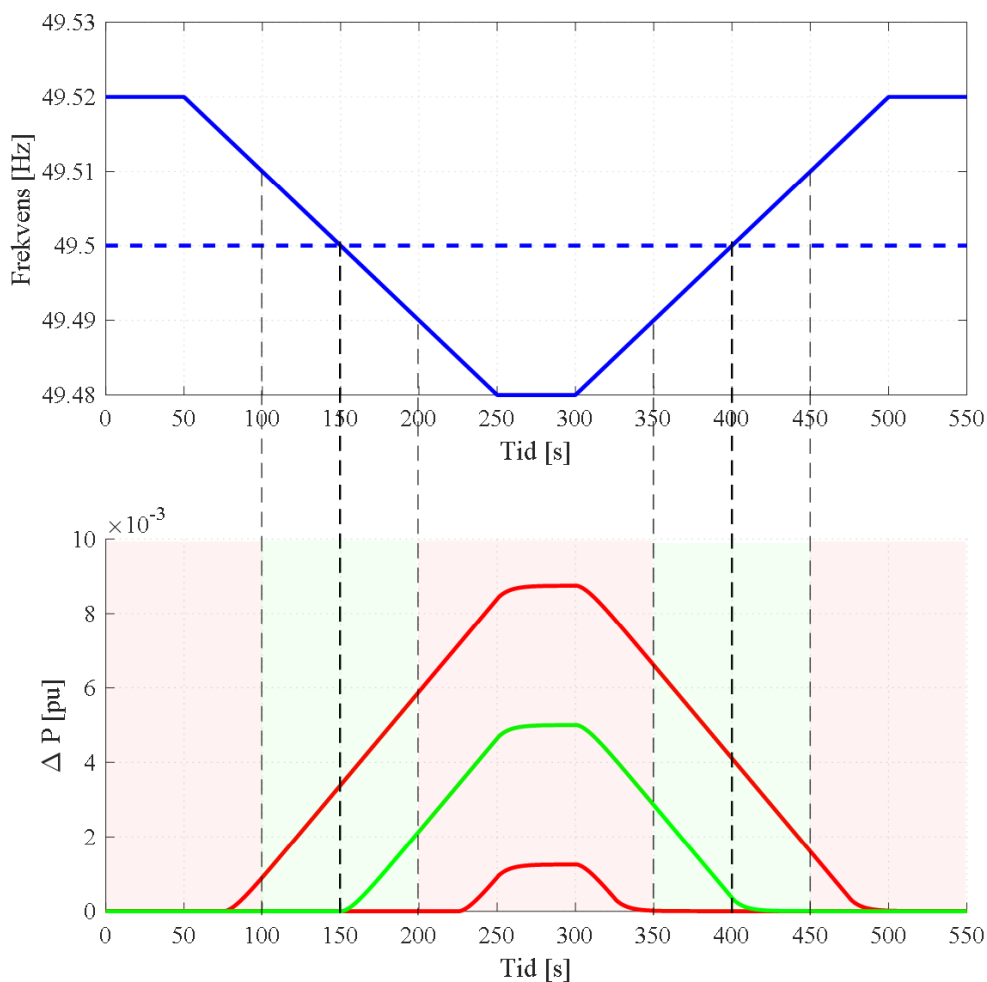
Tabell 6 Frekvensförändringar som påförs regulatorn vid LFSM-U prov.

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. Det rekommenderas att en ny frekvensändring inte startas inom 5 minuter från slutet på föregående frekvensändring.

Provet 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 + $0,20 \cdot P_{\max}$, import



Figur 4 Prov med frekvensramp 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

Provet utförs med 2 % respektive 12 % statik, S_4 , och $\pm 0,5$ Hz frekvensdödband, f_2 . De olika frekvenssteg som påförs regulatorn visas i Tabell 7 och Tabell 8.

Tabell 7 Frekvenssteg som påförs regulatorn 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 regulatorn 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 $t > 7 \cdot T_I$, alternativt $t > 5$ minuter, 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 prov

Frekvensrampsproven 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 provet fast med ännu lägre frekvensramp än 0,2 mHz/s.

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

3.6.5 Kravuppfyllnad

Provet ska anses som godkänt om:

- > Frekvensrampsproven 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 9 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.

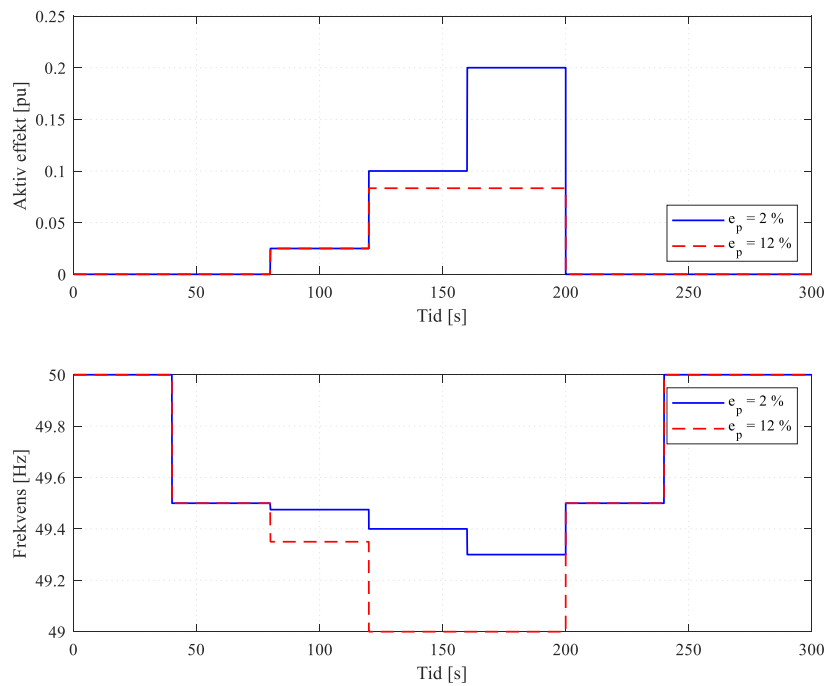
- > Snabbheten i regleringen innebär att den aktiva effekten vid frekvenssteg 4 vid 2 % statik kan öka med 10 % av $P_{\max}$ på 30 s (en tolerans på $\pm 0,5$ % accepteras, dvs. ökningen skall vara inom intervallet 9,5–10,5 % av $P_{\max}$ efter 30 s).
- > Påläggning av frekvenssteg inte resulterar i stationära aktiva effektpendlingar med en amplitud större än 0,1 % av $P_{\max}$.

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

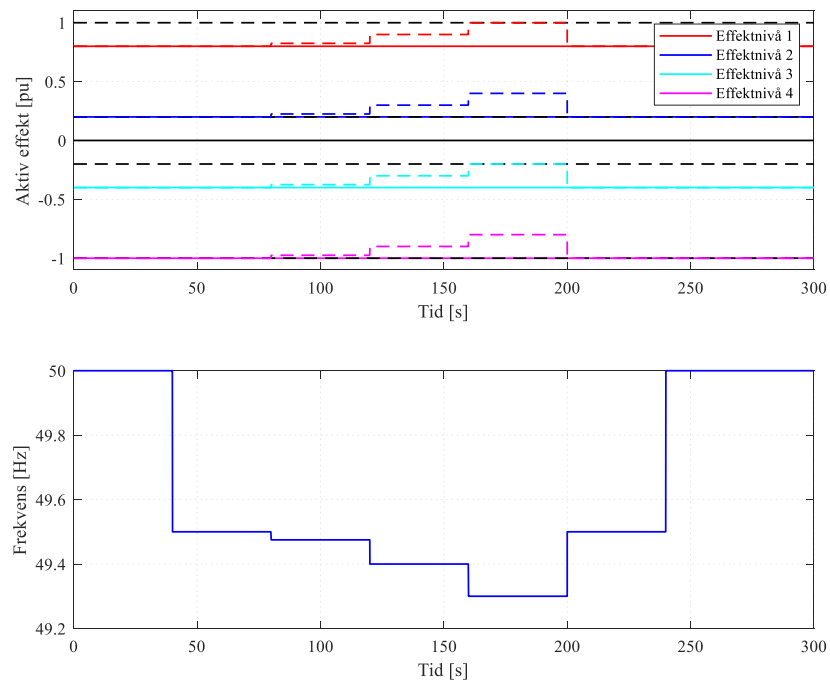
Steg	Frekvenssteg	ΔP (% av $P_{\max}$)	ΔP_{tot} (% av $P_{\max}$)
Steg 1	50,00 => 49,50 Hz	0	0
Steg 2	49,50 => 49,475 Hz	+2,5	+2,5
Steg 3	49,475 => 49,40 Hz	+7,5	+10
Steg 4	49,40 => 49,30 Hz	+10	+20
Steg 5	49,30 => 49,50 Hz	-20	0
Steg 6	49,50 => 50,00 Hz	0	0

Tabell 10 Krav på effektförändring vid prov 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 med lägsta nivå vid 2 % statik 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 prov

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 provet är att säkerställa att dödbandet kan regleras och 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 prov

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

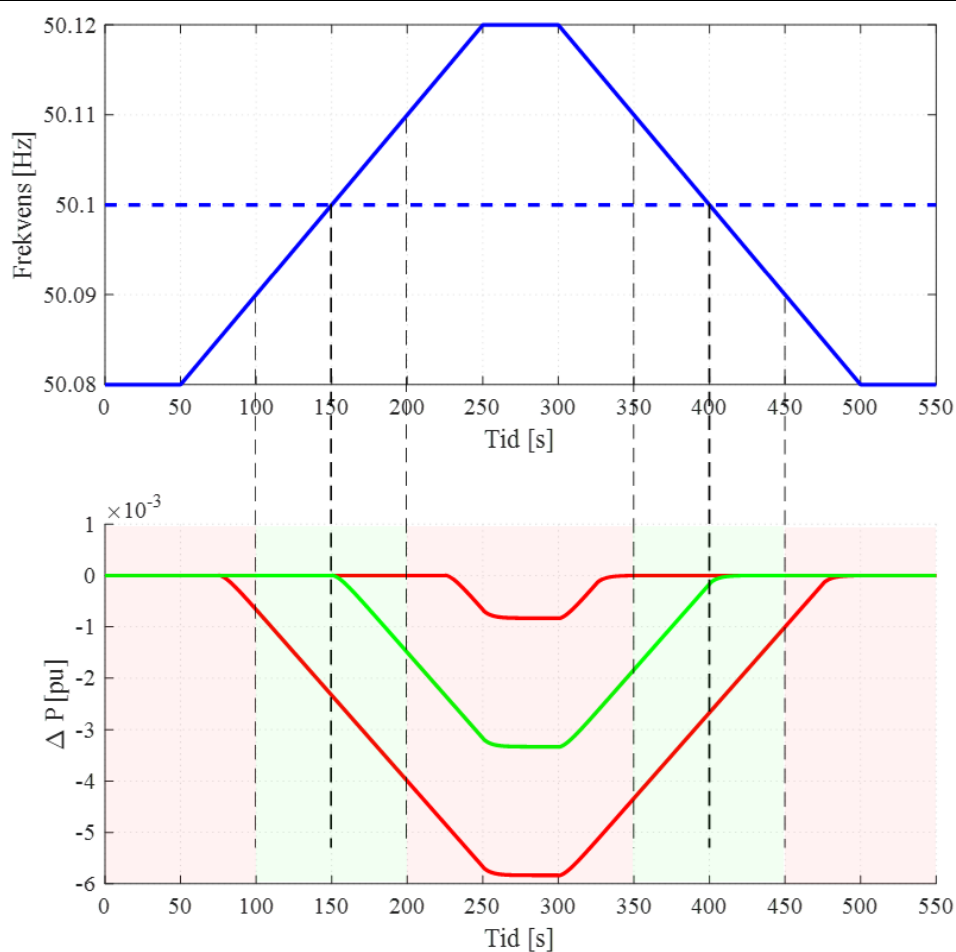
Berörd systemansvarig kan efterfråga ytterligare prov. Detta enligt överenskommelse för varje projekt.

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

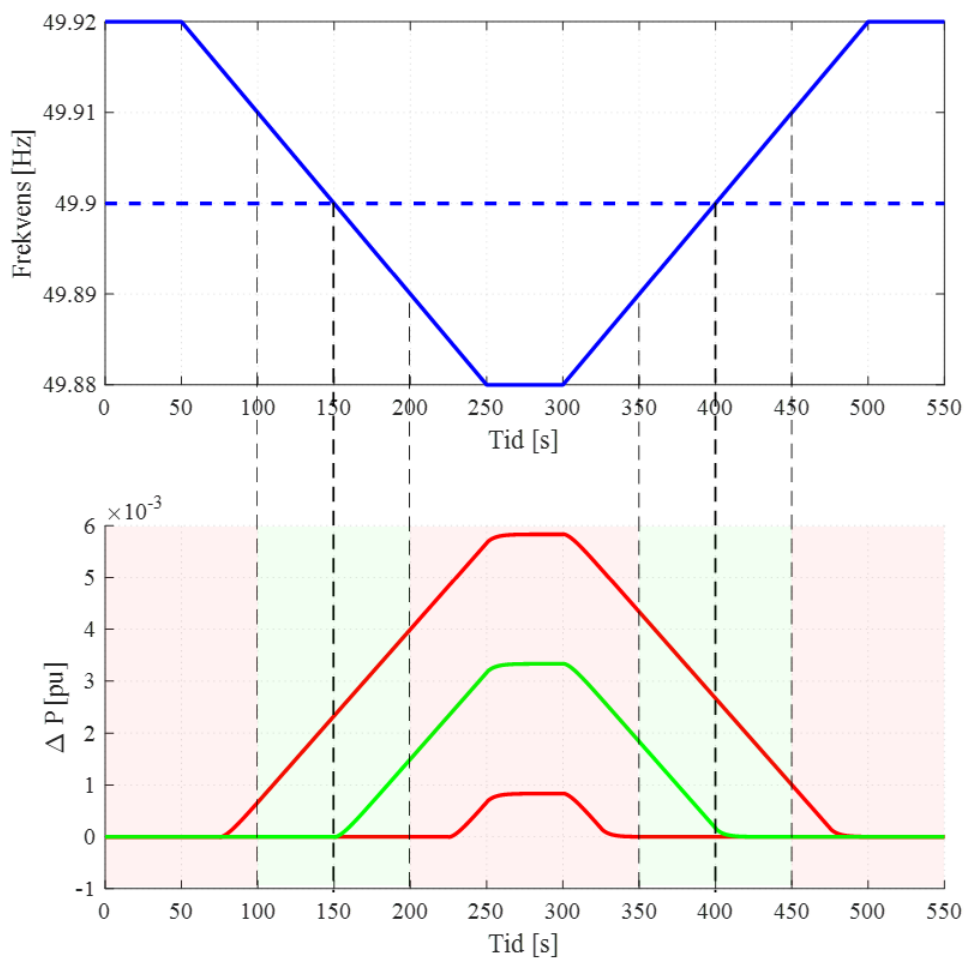
Tabell 11 Frekvensförändringar som påförs regulatorn vid prov av FSM vid frekvensdödband $\pm 0,1$ Hz och statik 12 %.

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 Prov 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 Prov 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 tydligt ha uppnåtts. Det rekommenderas att en ny frekvensändring inte startas inom 5 minuter från slutet på föregående frekvensändring.

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

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

3.7.4 Analys av prov

Prov 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

Provet ska anses godkänt 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 prov

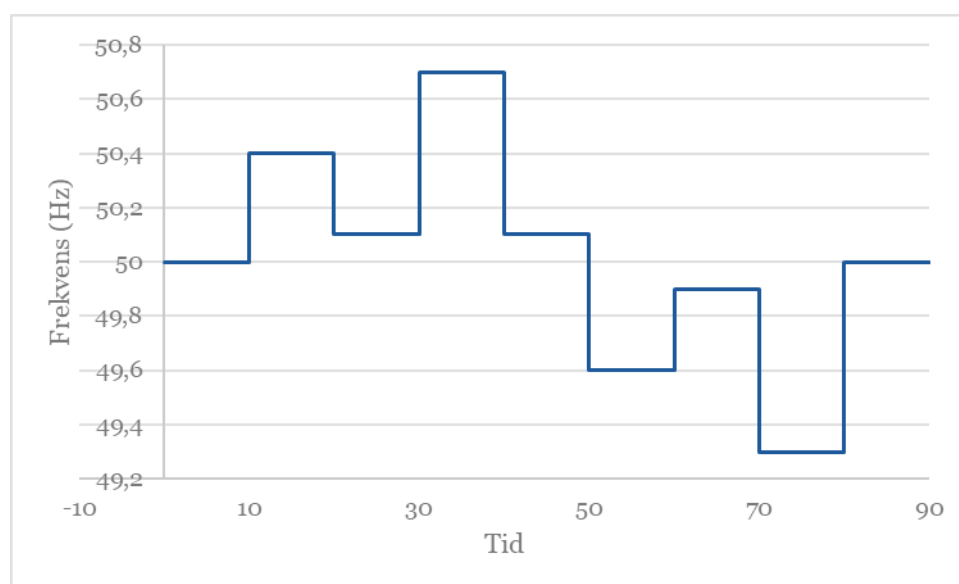
Den tekniska förmågan för systemet för högspänd likström att kontinuerligt reglera aktiv effekt för att bidra till frekvensreglering vid en ökning eller minskning av frekvensen ska visas vid olika effektnivåer. Syftet med provet är att säkerställa snabbheten i den respons som fås i samband med stegförändringar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

3.8.3 Utförande av prov

Provet 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 regulatoren.

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 prov 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 $t > 7 \cdot T_I$, alternativt $t > 5$ minuter, där t anger tiden då frekvenssteget appliceras.

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

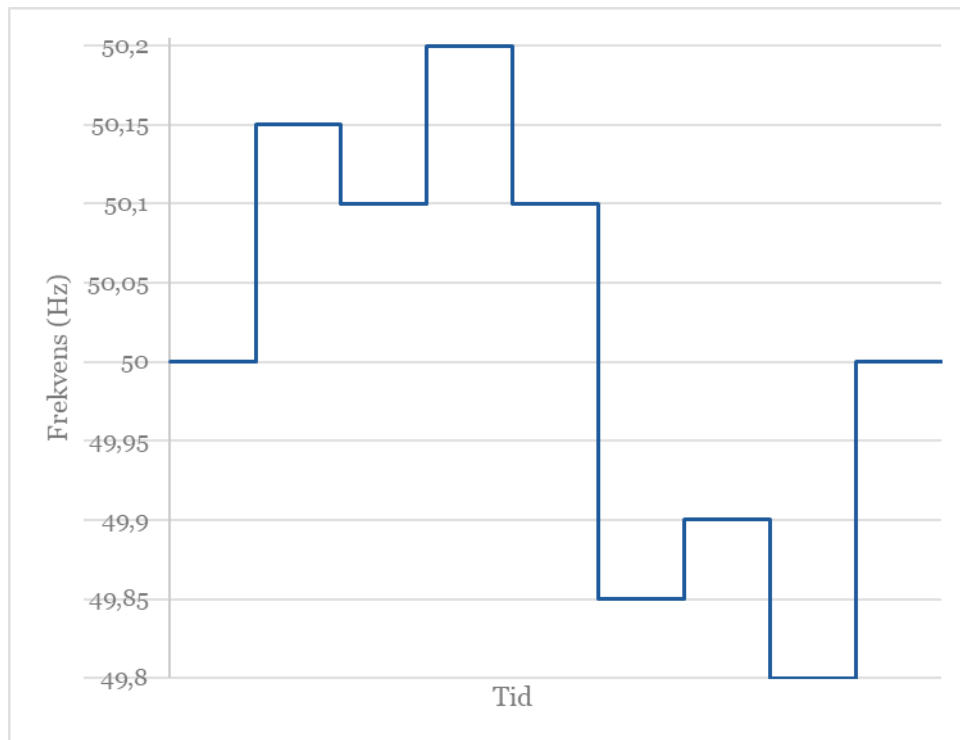
- > Effektnivå 1: $0,9 \cdot P_{\max}$, import
- > Effektnivå 2: $0,5 \cdot (P_{\max} + \text{Lägst nivå med reglerförmåga})$, import

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

För effektnivåerna 1 och 3, dvs. 90 % av $P_{\max}$ (både import och export), utförs även prov 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 provet med mindre frekvenssteg enligt Tabell 13 och Figur 10.

Tabell 13 Frekvenssteg vid prov 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 $0,95 \cdot P_{\max}$ (import) och effektnivå 3 $0,85 \cdot P_{\max}$ (export)
Steg 9c	Återställ effektbörvärdet för nivå 1 och 3 till $0,9 \cdot P_{\max}$ (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 $0,85 \cdot P_{\max}$ (import) och effektnivå 3 $0,95 \cdot P_{\max}$ (export)
Steg 13c	Återställ effektbörvärdet för nivå 1 och 3 till $0,9 \cdot P_{\max}$ (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 prov av snabbheten för FSM vid frekvensdödband $\pm 0,1$ Hz och statik 12 %.

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

3.8.4 Analys av prov

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

3.8.5 Kravuppfyllnad

Provet ska anses som godkänt 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 prov 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

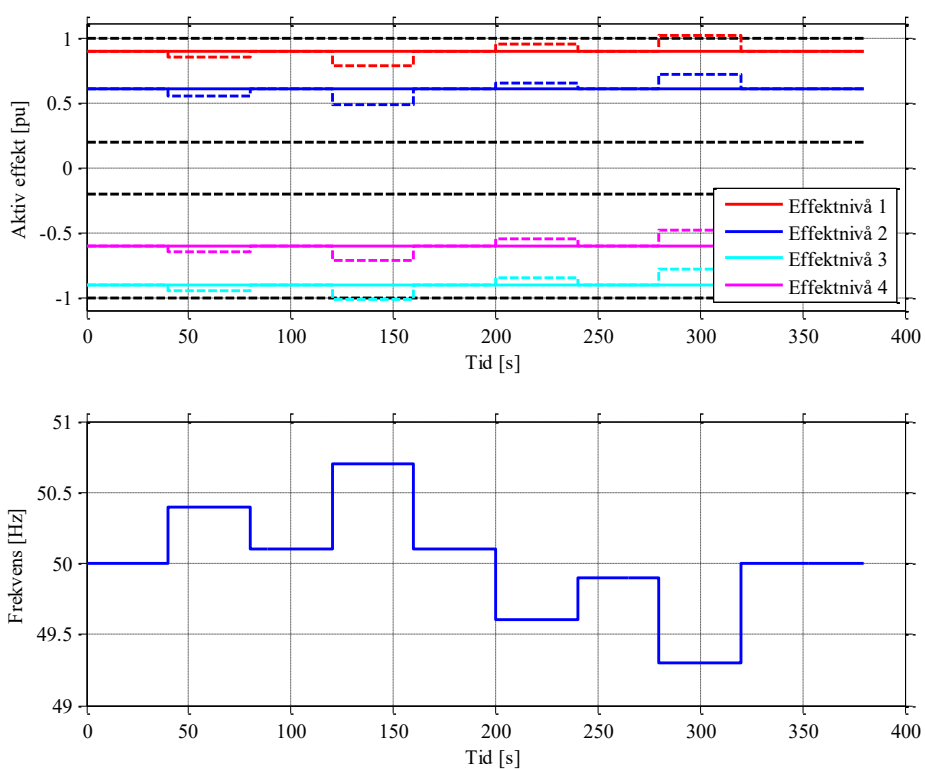
* Notera att LFSM-O aktiveras vid 50,5 Hz. ΔP kan begränsas av $P_{\max}$. I tabellen ovan är resultatet beräknat med 8 % statik för LFSM-O.

** 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.

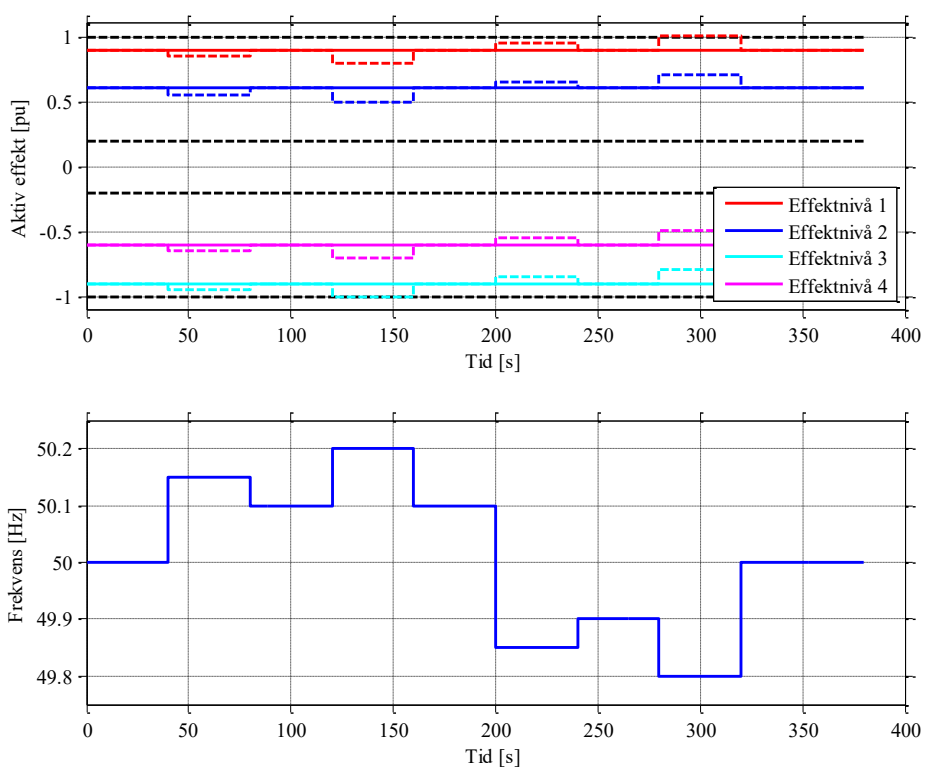
Tabell 15 Krav på effektförändring vid prov av olika frekvenssteg vid FSM med 2 % statik och $\pm 0,1$ Hz frekvensdödband.

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

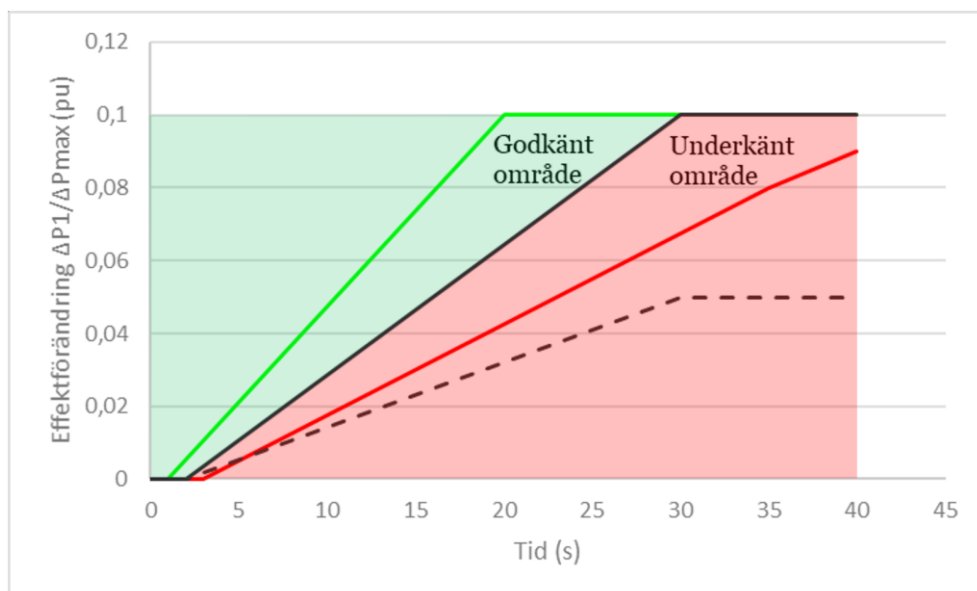
Steg 11	50,10 => 50,20 Hz	-10,0	-10,0
Steg 12	50,20 => 50,10 Hz	+10,0	0
Steg 13	50,10 => 49,85 Hz	+5,0	+5,0
Steg 14	49,85 => 49,90 Hz	-5,0	0
Steg 15	49,90 => 49,80 Hz	+10,0	+10,0
Steg 16	49,80 => 50,00 Hz	-10,0	0



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 Resulterande 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 effektrespons vid en stegförändring av frekvensen med $-0,1$ Hz vid en statik på 2 % som ska ge en effektrespons på $+10$ % av $P_{\max}$. Helledragen svart linje visar gränsen för kravuppfyllnad, grön ett prov som visar godkänt och röd ett prov som visar underkänt resultat. Svartstreckad linje visar motsvarande krav som ska ge en effektrespons 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 prov

Syftet med provet 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 prov

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

Provet ska anses godkänt 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 prov

Syftet med provet 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 prov

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

Provet ska anses godkänt om:

- > Systemet för högspänd 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 prov

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

3.11.3 Utförande av prov

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

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

3.11.4 Kravuppfyllnad

Provet anses godkänd om:

- > Systemet för högspänd 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 prov.

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, 22.4 och 22.6
- > HVDC-förordningen: Avdelning 3, kapitel 2, artikel 48.2

4.1.2 Syfte med prov

Provet 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 provet till att visa att förändringen av reaktiv effekt sker inom den tid som är angiven av berörd systemansvarig och fjärrstyrning av reaktiv effekt ska verifieras.

4.1.3 Utförande av prov

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.

Även den utrustning som behövs för att relevanta börvärden och reglerlägen för reaktiv effektstyrning ska kunna justeras via fjärrstyrning är ett projektspecifikt krav, som är listat i bilaga 1, avsnitt 4.

4.1.4 Kravuppfyllnad

Provet ska anses som godkänt om:

- > Regleringen av reaktiv effekt uppfyller de krav som angivits av berörd systemansvarig i samråd med berörd systemansvarig för överföringssystemet.

- > Systemet för högspänd likström kan producera och förbruka den givna reaktiva effekten.
- > Utrustningen för fjärrstyrning av relevanta börvärden och reglerlägen är utformad enligt överenskommelse med berörda systemansvarige i samordning med den berörda systemansvarige för överföringssystemet samt att regleringen uppfyller de givna kraven på prestanda vid fjärrstyrning.

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 prov

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. Dessutom ska fjärrstyrning av reaktiv effekt verifieras.

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 prov

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.

Även den utrustning som behövs för att relevanta börvärden och reglerlägen för reaktiv effektstyrning ska kunna justeras via fjärrstyrning är ett projektspecifikt krav, som är listat i bilaga 1, avsnitt 4.

4.2.4 Kravuppfyllnad

Provet ska anses som godkänt om:

- > Spänningsbörvärdet 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.
- > Q-U lutning (statikfaktor) kan justeras inom det givna området 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.
- > Utrustningen för fjärrstyrning av relevanta börvärden och reglerlägen är utformad enligt överenskommelse med berörda systemansvarige i samordning med den berörda systemansvarige för överföringssystemet samt att regleringen uppfyller de givna kraven på prestanda vid fjärrstyrning.

4.3 Reglerbarhet av effektfaktor/ $\cos \varphi$

4.3.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 2, artikel 22.1, 22.2, 22.5 och 22.6

4.3.2 Syfte med prov

Syftet med provet är att visa att systemet för högspänd likström kan tillhandhålla reglering för effektfaktor/ $\cos \varphi$ i anslutningspunkten med den givna snabbheten och toleransen vid en plötslig förändring av den aktiva effekten. Dessutom ska fjärrstyrning av reaktiv effekt verifieras.

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 prov

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.

Även den utrustning som behövs för att relevanta börvärden och reglerlägen för reaktiv effekstyrning ska kunna justeras via fjärrstyrning är ett projektspecifikt krav, som är listat i bilaga 1, avsnitt 4.

4.3.4 Kravuppfyllnad

Provet ska anses som godkänt 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.
- > Utrustningen för fjärrstyrning av relevanta börvärden och reglerlägen är utformad enligt överenskommelse med berörda systemansvarige i samordning med den berörda systemansvarige för överföringssystemet samt att regleringen uppfyller de givna kraven på prestanda vid fjärrstyrning.

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 prov

Provet 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. Den tekniska förmågan hos omriktarenheten för högspänd likström eller omriktarstationen för högspänd likström att tillhandahålla reaktiv effekt med positiv och negativ fasförskjutning i enlighet med artikel 20 ska visas.

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

4.4.3 Utförande av prov

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

Provet ska anses som godkänt 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.

4.5 Utbyte av reaktiv effekt mot nätet

4.5.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 2, artikel 21

4.5.2 Syfte med prov

Visa de reglerfunktioner som begränsar både den reaktiva effekten som utbyts till nätet och den resulterande spänningen i anslutningspunkten till de värden

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 3.

4.5.3 Utförande av prov

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

4.5.4 Resultat av provet

Kravet anses uppfyllt om de reglerfunktioner som begränsar både den reaktiva effekten som utbyts till nätet och den resulterande spänningen i anslutningspunkten till de värden som anges av den berörda systemansvarige i samordning med den berörda systemansvarige för överföringssystemet verifieras.

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.

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 prov

Syftet med provet 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 prov

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

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

5.1.4 Resultat av provet

Provet ska anses som godkänt om:

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

5.2 Växelverkan 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 prov

Syftet med provet är att studera växelverkan 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 prov

Provet 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 Resultat av provet

Provet ska anses som godkänd om:

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

5.2.5 Resultat av provet

Provet ska anses som godkänd om:

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

5.3 Elkvalitet

5.3.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 2, artikel 24
- > HVDC-förordningen: Avdelning 3, kapitel 2, artikel 50

5.3.2 Syfte med prov

Säkerställa att systemets anslutning till nätet inte leder till en nivå av distorsion eller variation av försörjningsspänningen i nätet, vid anslutningspunkten, som

överstiger den nivå 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 5.

5.3.3 Utförande av prov

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.

5.3.4 Resultat av provet

Kravet anses uppfyllt om:

- > Systemets anslutning till nätet inte leder till en nivå av distorsion eller variation av försörjningsspänningen i nätet, vid anslutningspunkten, som överstiger den nivå som anges av den berörda systemansvarige i samordning med den berörda systemansvarige för överföringssystemet.

6 Driftövervakning och fjärrkontroll

Den kommunikation som finns kravställd för system för högspänd likström behandlas i detta kapitel.

6.1 Felregistrering och övervakning

6.1.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 4, artikel 53

6.1.2 Syfte med prov

Verifiera utrustningen för felregistrering och övervakning.

6.1.3 Utförande av prov

Detta är ett projektspecifikt krav där övervakning och felregistrering specificeras. Det är en del av de projektspecifika uppgifterna och kraven som är listade i bilaga 1, avsnitt 4.

Utförandet av provningen av dessa kriterier bestäms i samråd med berörd systemansvarig och berörd systemansvarig för överföringssystemet och kan innefatta:

- > Verifiering av parametrar som ska registreras, inklusive parametrar för leveranskvalitet.
- > Verifiering av utformning av felregistreringsutrustning, inklusive analoga och digitala signaler, inställningar inklusive kriterier för utlösning och avläsningsfrekvens.
- > Prov av övervakning av systempendlingar.
- > Prov av fjärråtkomst av registrerade uppgifter inklusive kommunikationsprotokollen.

6.1.4 Kravuppfyllnad

Kravet anses uppfyllt om:

- > De överenskomna parametrarna registreras. Registreringar ska utformas enligt de projektspecifika kraven och innehåller åtminstone följande parametrar:
 - Växel- och likspänning.
 - Växel- och likström.
 - Aktiv effekt.
 - Reaktiv effekt.
 - Frekvens.
- > Parametrar för leveranskvalitet om så angivits.
- > Utformningen av felregistreringsutrustning, inklusive analoga och digitala signaler, inställningar inklusive kriterier för utlösning och avläsningsfrekvens är enligt överenskommelse med den berörda systemansvarige och den berörda systemansvarige för överföringssystemet.
- > Systemet för fjärråtkomst av övervakning av leveranskvalitet och systemdynamik beskrivs och följer överenskommelse med den berörda systemansvarige för överföringssystemet.

6.2 Drift och ändringar för skydd och reglering

6.2.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 5, artikel 36, 51.1 och 52

6.2.2 Syfte med prov

Att visa att systemet för högspänd likström är utrustad med en automatisk reglerenhet där reglerlägen, parametrar och skyddsinställningar kan ändras enligt förfarande, inkluderat fjärrstyrning, enligt överenskommelse med 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 4.

6.2.3 Utförande av prov

Redovisa utformning och inställningar av den automatiska reglerenheten samt verifiera fjärrstyrning och förfarandet för ändringar av reglerlägen och skyddsinställningar.

6.2.4 Kravuppfyllnad

Kravet anses uppfyllt om:

- > Förfarandet för ändringar av reglerlägen och skyddsinställningar är utformat enligt överenskommelse med den berörda systemansvarige i samordning med den berörda systemansvarige för överföringssystemet.
- > Reglerlägen och skyddsinställningar kan ändras via fjärrstyrning om detta anges av den berörda systemansvarige i samordning med den berörda systemansvarige för överföringssystemet.
- > Den automatiska reglerenheten sköter driften av omriktarenheterna för högspänd likström i systemet för högspänd likström på ett samordnat sätt.
- > Hierarkin för den automatiska reglerenheten per omriktarenhet för högspänd likström är utformad enligt instruktioner från den berörda systemansvarige.
- > Parametrarna och inställningarna för reglerfunktionerna angivna av berörda systemansvarige i samordning med den berörda systemansvarige för överföringssystemet och HVDC koden artikel 52 är införda inom en sådan reglerhierarki att de kan ändras vid behov.
- > Parametrarna och inställningarna för de huvudsakliga reglerfunktionerna i systemet för högspänd likström är valda enligt överenskommelse med den berörda systemansvarige i samordning med den berörda systemansvarige för överföringssystemet.

6.3 Drift- och larmsignaler

6.3.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 2, kapitel 5, artikel 51.2, 51.3 och 51.4

6.3.2 Syfte med prov

Att visa att den automatiska reglerenheten för systemet för högspänd likström beskriven i punkt 51.1 kan både skicka och ta emot signaler enligt

specifikation av berörd systemansvarig både avseende specifikation av signaler och kvaliteten på signalerna.

Det är en del av de projektspecifika uppgifterna och kraven som är listade i bilaga 1, avsnitt 4.

6.3.3 Utförande av prov

Redovisa de signaler som kan tas emot och skickas av den automatiska reglerenheten samt kvaliteten på dessa signaler.

6.3.4 Kravuppfyllnad

Kravet anses uppfyllt om:

- > De signaler som skickas av den automatiska reglerenheten uppfyller kraven i artikel 51.2 och specifikation av berörd systemansvarig.
- > De signaler som tas emot av den automatiska reglerenheten uppfyller kraven i artikel 51.3 och specifikation av berörd systemansvarig.
- > Signalerna uppfyller den kvalitet som angivits av berörd systemansvarig.

6.4 Kommunikation av nätfrekvens

6.4.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 3, kapitel 2, artikel 47.2

6.4.2 Syfte med prov

Redovisa att den borte omriktarstationen kan tillhandahålla nätfrekvensen vid anslutningspunkten till en likströmsansluten kraftparksmodul.

6.4.3 Utförande av prov

Detta är ett projektspecifikt krav där kommunikationen av nätfrekvensen i anslutningspunkten till en kraftparksmodul ansluten till den borte omriktarstationen redovisas. Det är en del av de projektspecifika uppgifterna och kraven som är listade i bilaga 1, avsnitt 4.

Utförandet av prov av dessa kriterier bestäms i samråd med berörd systemansvarig och berörd systemansvarig för överföringssystemet.

6.4.4 Kravuppfyllnad

Kravet anses uppfyllt om:

- > Systemet för högspänd likström ska kunna tillhandahålla nätfrekvensen vid anslutningspunkten som en signal enligt överenskommelse med berörd systemansvarig för överföringssystemet och ägaren av den likströmsanslutna kraftparksmodulen.

7 Utformning av provprogram

7.1 Hänvisning till krav

- > HVDC-förordningen: Avdelning 5, kapitel 1, artikel 57.3.f-g

7.2 Bakgrund

Inför utförandet av överensstämmelseprovning behöver testproceduren specificeras och de parter som har rätt att närvara vid provningen ska informeras om tidpunkt och bjudas in att delta.

Instruktioner för utförande av överensstämmelseprov ges i den här bilagan, men en del specifikationer behöver göras inför provningen på varje enskilt system för högspänd likström. Detta innebär:

- > Vilka krav som är tillämpliga, dvs. vilka prov behöver utföras för att påvisa kravuppfyllnad för dessa krav.
- > Tidpunkt och program för provning.
- > Arbetspunkter vid vilka proven ska utföras.
- > Driftlägen vid prov.

7.3 Utformning av provprogram

Provprogrammet ska innehålla, men inte begränsas till följande uppgifter:

- > Datum och tidsschema för planerad provning.
- > Beskrivning av utförande av prov, förslagsvis enligt instruktioner givna i detta dokument.
- > Driftlägen vid provning.
- > Arbetspunkter vid vilka prov ska utföras.

Provprogrammet ska tillhandahållas inför tillfälligt driftsmeddelande och utformas i samråd med behörig systemansvarig och behörig systemansvarig för överföringssystemet.

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

