

Ärende nr: Svk 2023/1561

Datum: 2023-05-09

Driftstörningen den 26 april 2023

Beskrivning av störningens händelseförlopp

Svenska kraftnät

Svenska kraftnät är systemansvarig myndighet, med uppgift att på ett affärsmässigt sätt förvalta, driva och utveckla ett kostnadseffektivt, driftsäkert och miljöanpassat kraftöverföringssystem. Det omfattar ledningar för 400 kV och 220 kV med stationer och utlandsförbindelser. Svenska kraftnät 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

Sammanfattning	4
1. Inledning.....	5
2. Driftläget före störningen.....	6
2.1 Arbeten i nätet.....	6
2.2 Flöden i nätet	6
2.3 Produktionsläget i nätet.....	7
2.4 Kommentar till driftläget före störning	8
3. Händelseförloppet	9
3.1 Kopplingar	9
3.2 Felbortkoppling.....	10
4. Konsekvenser för kraftsystemet	11
4.1 Spänningsnivåer i det elektriska närområdet.....	11
4.2 Bortkopplingen av Forsmark 1 och 2 i FT46.....	14
4.3 Analys och påverkan på Forsmark 3	15
4.4 Bortfall av annan produktion	16
4.5 Frekvensavvikelse vid frånkoppling av Forsmark 1 och 2.....	18
4.5.1 Interaktion mellan spänning och frekvens	20
4.5.2 Återgång.....	20
5. Systemdrifttillstånd	22
5.1 Systemdrifttillstånd med avseende på spänning	22
5.2 Systemdrifttillstånd med avseende på frekvens	24
6. Konstaterade brister	25

Sammanfattning

Föreliggande rapport beskriver driftstörningens händelseförlopp.

Onsdagsmorgonen den 26 april, kl. 06.40 inträffade en mycket allvarlig driftstörning i det svenska transmissionsnätet. Den primära orsaken var ett fel i samband med kopplingar för elektriska arbeten i station Hagby, norr om Stockholm. Den automatiska skyddsutrustningen i stationen fungerade inte korrekt på grund av två av varandra oberoende fel i kontrollanläggningen.

Under felet blev driftspänningen mycket låg i stora delar av transmissions- och distributionsnäten i Stockholmsregionen med omnejd. Den låga driftspänningen varade i sju sekunder och orsakade störningar i Stockholmsregionens elförsörjning och i viktiga samhällsfunktioner, t.ex. spårbunden kollektivtrafik, trafikljus, trafikleder, radio- och TV-sändningar. Inga fysiska personskador inträffade.

Under driftstörningen var spänningarna så låga att systemet befann sig i nöddrifttillstånd. Spänningarna var också utanför den kravställda spänningsprofilen för Forsmark FT46, vilket medförde att störningen ej omfattades av kraven på störningstålighet för kortslutningar och spänningsvariationer. Som en följd av detta fränkopplades Forsmark 1 och 2 automatiskt, felbortkopplingen förefaller som rimlig. Även annan kraftproduktion kopplades bort som en följd utav de låga spänningarna, t.ex. Värtan KVV8.

Produktionsbortfallet medförde en frekvensavvikelse på 49,3 Hz. Frekvensavvikelsen triggade aktivering av frekvensåterställningsreserverna samt EPC. Frekvensen återställdes med hjälp av frekvensåterställningsreserven samt störningsreserven. Kraftsystemet befann sig i normaldrift med avseende på frekvens under hela förloppet. Störningar i elförsörjningen orsakades av mycket låga driftspänningar, frekvensstörningen bedöms inte ha orsakat några störningar i elförsörjningen.

1. Inledning

Under onsdagsmorgonen den 26 april, kl. 06.40, inträffade en mycket allvarlig driftstörning på grund av flera av varandra beroende och oberoende fel. Driftstörningen orsakades primärt av ett fel i samband med kopplingar för elektriska arbeten i Hagby, norr om Stockholm. Felet gav upphov till mycket låga spänningar i stora delar av Mälardalsregionen. De låga spänningarna kvarstod i sju sekunder och orsakade flertalet följdstörningar, en utav dessa var en automatisk fränkoppling av Forsmark 1 och 2 från transmissionsnätet.

I den här rapporten beskriver Svenska kraftnät händelseförloppet i station Hagby som föranledde störningen samt redogör för följeffekterna från de låga spänningarna. Rapporten redogör även för den efterföljande frekvensstörningen. Slutligen beskrivs de konstaterade brister som Svenska kraftnät har identifierat i samband med denna initiala utredning.

2. Driftläget före störningen

Nedan beskrivs driftläget i kraftsystemet före driftsstörningen i station Hagby inträffade.

2.1 Arbeten i nätet

På morgonen den 26 april pågick ett antal arbeten i överföringssystemet som medförde att nätkomponenter i Tabell 1 var planerat ur drift i södra Sverige.

Tabell 1. Relevanta nätkomponenter som var planerat ur drift i överföringssystemet innan störningen inträffade.

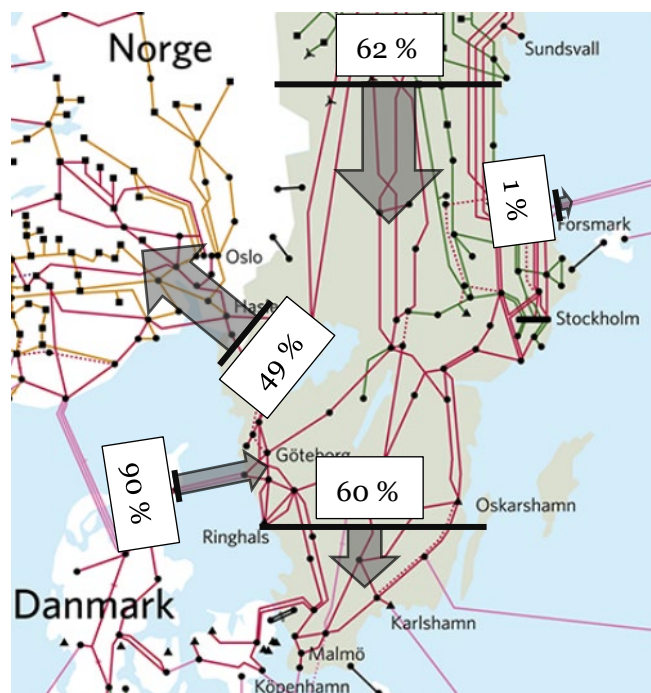
Arbeten	Kommentar
Ekhyddan-Alvesta	Arbeten inför ny 400 kV-station Hageskruv
Hallsberg-Timmersdala-Stenkullen	Förberedande arbeten inför förnyelse av 400 kV-stationen Timmersdala
Högdalen-Skanstull	Ur drift i samband med Ellevios projektarbete
Djurmo EK4	Förbikopplad i samband med underhåll
Stöde EK1	Förbikopplad för att reglera spänningen i Stornorrforfen (efter tidigare haveri på X1). Av samma anledning var påsticket i Hjälta i drift.
Hagby	Hagby T2, en av 220 kV ledningarna Hagby-Järva, 220 kV ledningarna Hagby-Vallentuna och Hagby-Måby var planerat frånkopplade i samband med arbetet i Hagby.
Hallsberg	Underhåll pågick på en samlingskене-sektion i Hallsberg

2.2 Flöden i nätet

Innan störningen inträffade var överföringen måttlig till/från elområde SE3 (se Tabell 2). Snitt 2 och Snitt 4 utnyttjade ca 60 % av tilldelad handelskapacitet vilket gav ca 2 000 MW marginal mot det dimensionerande N-1 felet som handelskapaciteten för de snitten varit tilldelade utifrån. Överföringssystemet var därmed i normaldrifttillstånd. Se Figur 1 för överblicksbild av flödesmönstret innan störningen.

Tabell 2. Utnyttjande av snittflöden till/från SE3 relativt tilldelad handelskapacitet Total Transfer Capacity (TTC).

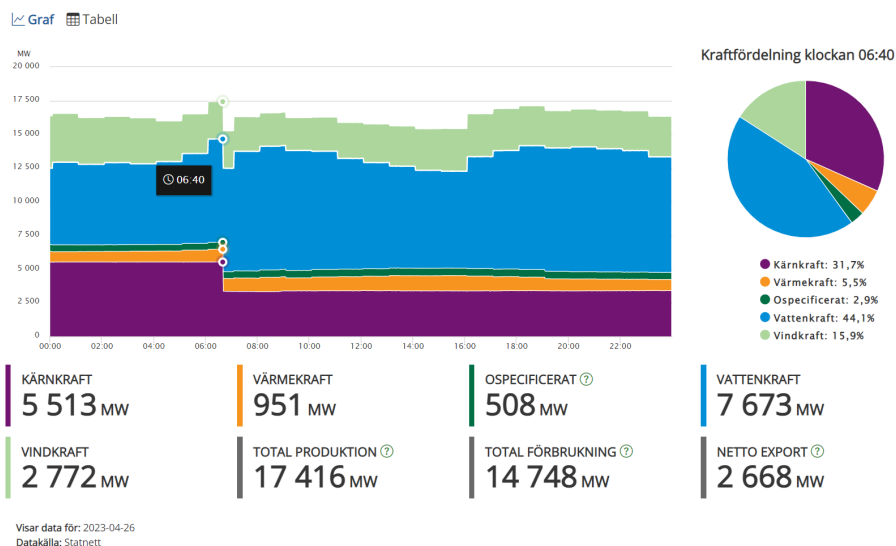
Snitt	Handelskapacitet TTC [MW]	Utnyttjande [%]	Kommentar
SE2 > SE3	6 300	62	Ca 2400 MW marginal
SE3 > SE4	4 300	60	Ca 1740 MW marginal
SE3 > NO1	2 141	49	Ca 1100 MW marginal
DK1 > SE3	600	90	Ca 60 MW marginal
SE3 > SE3LS	546	92	Ca 45 MW marginal
SE3 > FI	1 200	1	Ca 1189 MW marginal

**Figur 1.** Överblicksbild av flödena till/från elområde SE3 före störningen.

2.3 Produktionsläget i nätet

Totalt producerade det svenska kraftsystemet ca 17,0 GW, hade en total förbrukning på ca 14,6 GW och exporterade ca 2,7 GW före störningen inträffade. Vattenkraft utgjorde ca 44 % av total produktion, kärnkraft ca 32 %

och vindkraft ca 16 %. Figur 2 visar den rapporterade elproduktionen före störningen.¹



Figur 2. Visar produktionsläget enligt kontrollrumssidan den 26 april 2023 precis innan störningen.

2.4 Kommentar till driftläget före störning

Driftläget på morgonen den 26 april kännetecknades av goda marginaler till tilldelade handelskapaciteter och därmed till det dimensionerade N–1 felet. Med marginalerna som fanns vid den aktuella tidpunkten så var förutsättningarna i kraftsystemet goda för att kunna hantera ett större felfall än det dimensionerande N–1 felet. Utan dessa marginaler hade kraftsystemet haft helt andra förutsättningar för att kunna hantera större felfall. Driftläget var därmed gynnsamt för den händelse som senare kom att inträffa.

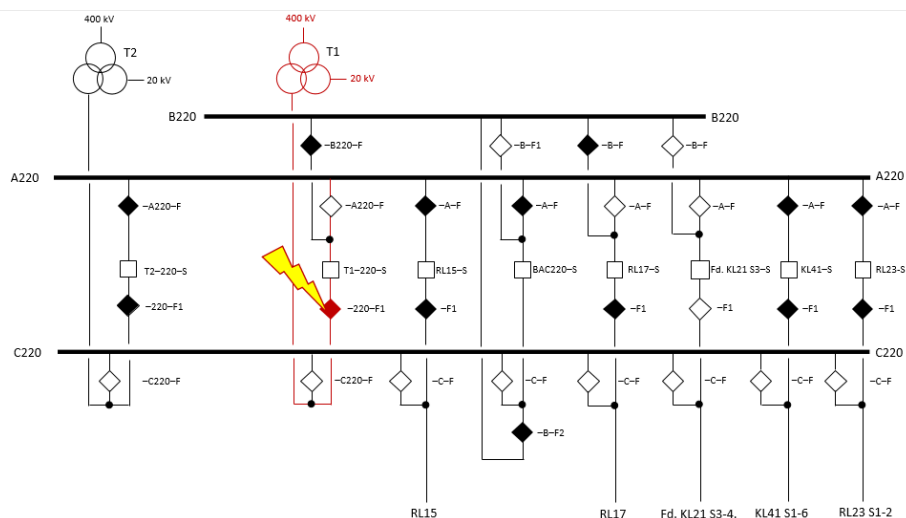
¹Figur 2 är hämtad från [Kontrollrummet | Svenska kraftnät \(svk.se\)](#). Figuren visar produktionsläget precis före störningen. Anledningen till att motsvarande bild precis efter störningen utelämnats är att detta inte är representativt på sidan eftersom alla data inte uppdateras synkroniserat. Det är först runt kl. 08:00 som data på sidan återspeglar det faktiska produktionsläget (när primärt vattenkraften och exporten har förändrats för att täcka bortfallet av kärnkraftsproduktionen).

3. Händelseförloppet

I samband med det planerade underhållsarbetet i ställverket i Hagby öppnades en 220 kV frånskiljare med genomgående driftström. Frånskiljare är inte gjorda för detta och en ljusbåge uppstod. Detta resulterade i en felström i två faser som senare utvecklades till en felström i alla tre faser. Forsmark 1 och 2 fränkopplades från 400 kV nätet p.g.a. underspänning efter ca 1 sekund, strax därefter fränkopplas generatorbrytarna. Primärfelet i Hagby fränkopplas först efter ca 7 sekunder vilket leder till mycket låga driftspänningar i transmissions- och distributionsnäten i regionen under feltiden. Nedan följer en mer detaljerad beskrivning av händelseförloppet.

3.1 Kopplingar

Vid planerade kopplingar inför elektriska arbeten A och B enligt driftorder Svk nr 242/2023 angavs förutsättningar i punkter 1-4. Kopplingar under ledning av Eldriftledare från och med punkt 5. I punkt 13 skulle frånskiljare RL23-A-F i CT65 Hagby öppnas genom fjärrmanöver, vilket inte gick. Fjärrmanöver fungerade inte p.g.a. att förreglingslogiken i stationen felaktigt indikerade att X1-A220-F låg i mellanläge. X1-A220-F fanns i ett fack som hade rivits och syntes därför inte i SCADA-systemet. Detta innebar att frånskiljarblockeringen behövde upphävas för att möjliggöra manöver av frånskiljare. Att X1-A220-F var i mellanläge var inte känt för Eldriftledare eller kopplingsbiträde. Därför upphävdes frånskiljarblockering för CT65 Hagby och kopplingar för att öppna frånskiljare fortsatte till och med punkt 16. I punkt 17 skulle frånskiljare T2-220-F1 i CT65 Hagby öppnas men istället manövrerades T1-220-F1 i CT65 Hagby, då öppnades denna med driftström varvid en tvåfasig kortslutning L1-L2 via ljusbåge uppstod som sedan övergick till en felström i samtliga tre faser. I Figur 3 illustreras vart i 220 kV ställverket i Hagby felet uppstod.



Figur 3. Driftläggningsschemat för 220 kV-ställverket i Hagby där kortslutningen som uppstod vid kopplingar är markerad med en blixtpikt.

3.2 Felbortkoppling

Skyddsutrustningen i CT65 Hagby är dimensionerad för att följa enkelfelskriteriet. På 220 kV finns redundanta samlingsskeneskydd och brytarfelsskydd. Innan primärfelet fanns ett känt fel på 2 av 3 fasers samlingsskeneskydd Sub 1. Byte av skyddet är planerat sedan tidigare och den kända bristen har inte påverkat felbortkopplingen vid primärfelet i Hagby.

Kortslutningen innebar att båda 220 kV samlingsskeneskydden löste momentant i CT65 Hagby och slog från samtliga 220 kV-brytare. Detta är korrekt eftersom samlingsskeneskydden mäter på T1-220-IT, som sitter i T1:s genomföring, vilket innebar att felet var i mätzonen. Dock var felet inte bortkopplat när T1-220-S slogs från eftersom det fortfarande fanns en felströmsinmatning från 400 kV-nätet via T1:s 400 kV-fack. På grund av två av varandra oberoende fel i kontrollanläggningen skedde ingen bortkoppling av T1-400-F-S förrän efter cirka 7 sekunder. Felsökning i Hagby efter störningen har påvisat ett konstruktionsfel i skyddssystemet i Sub 1 samt ett fel i utlösningsskretsen för Sub 2, som kan förklara den initialt uteblivna utlösningen av T1-400-F-S. Primärfelet bortkopplades av T1:s nollspänningsautomatik.

Forsmark 1 och 2 kopplades bort från 400 kV-nätet efter ca 1 sekund efter kortslutningen p.g.a. den långvariga spänningsdippen som felet medförde, detta beskrivs mer utförligt i kapitel 4.2. Det har även varit en utlösning av FT41 Kolbotten FL4-S på grund av onormalt höga osymmetriska strömmar i kombination med höga fasströmmar på grund av störningen. Brytaren i FT41 Kolbotten kopplades in igen av driftåteruppbyggnadsautomatiken (DUBA) efter drygt 1 minut.

4. Konsekvenser för kraftsystemet

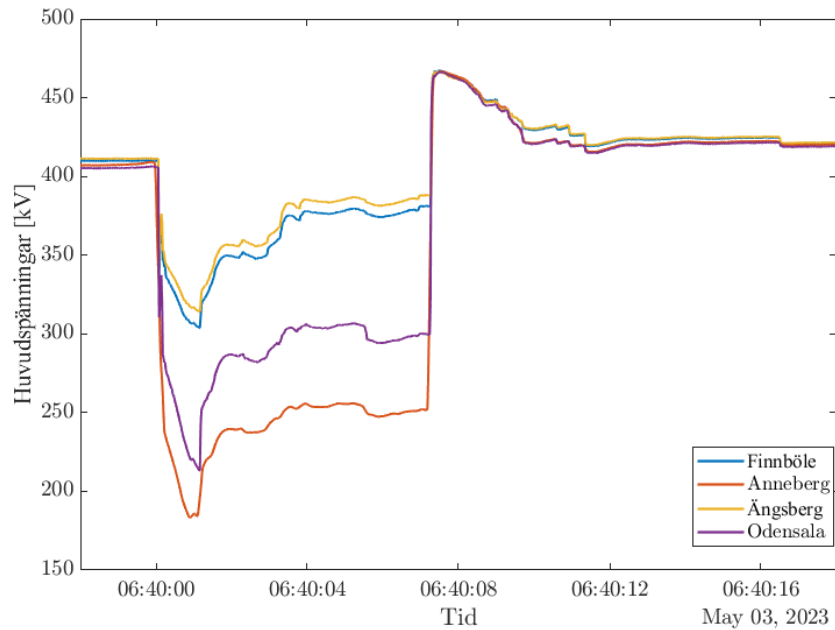
Primärfelet i station Hagby gav upphov till mycket låga spänningar. Detta orsakade störningar i Stockholmsregionens elförsörjning och viktiga samhällsfunktioner, ex. spårbunden kollektivtrafik, trafikljus, trafikleder, radio- och TV-sändningar. Inga fysiska personsador inträffade.

I samband med driftstörningen fränkopplades också ett flertal större produktionsanläggningar från transmissionsnätet, däribland Forsmark 1 och 2. Innan störningen inträffade hade Forsmark 1 och 2 tillsammans en produktion på ca 2 130 MW. Ytterligare kraftproduktion kan också ha bortkopplats i regionnät. Produktionsbortfallet var alltså minst 2 130 MW vilket är betydligt större än dimensionerande N-1 fel som vid tidpunkten för störningen var 1 400 MW. Frekvensen sjönk till 49,3 Hz men återställdes relativt snabbt.

Nedan följer en mer detaljerad redogörelse för de konsekvenser som uppstod i samband med driftstörningen, hantering av frekvensavvikelsen samt analys av systemparametrarna spänning och frekvens.

4.1 Spänningsnivåer i det elektriska närområdet

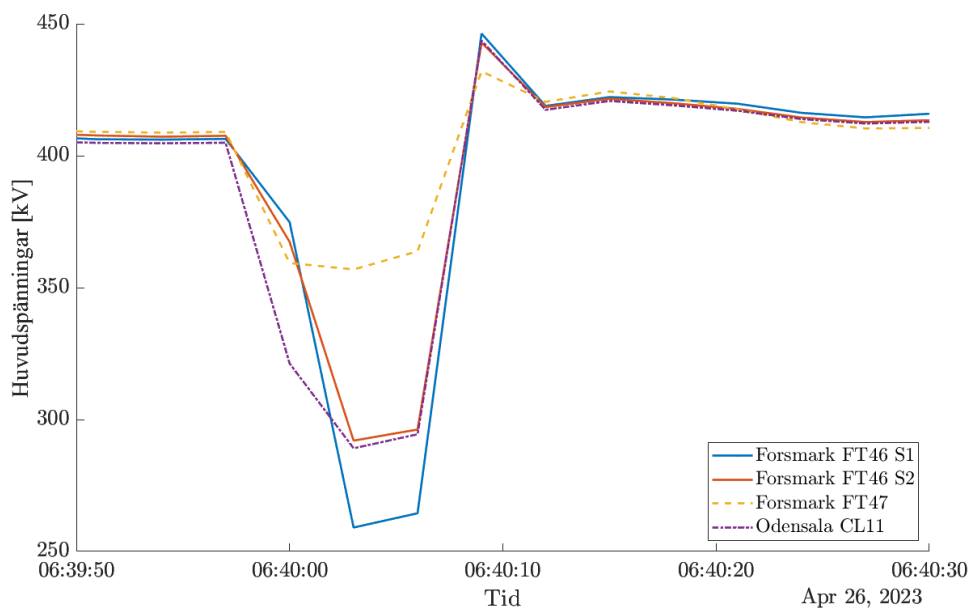
Höga felströmmar under driftstörningen i Hagby bidrog till en kraftig spänningssänkning i det elektriska närområdet. På grund av felets omfattning kunde en tydlig påverkan på andra mer avlägsna stationer även identifieras. I Figur 4 visas spänningsutvecklingen under händelseförloppet för några närliggande stationer. Felströmmen varade i cirka 7 sekunder tills att felet helt kunde kopplas bort. Efter bortkopplingen av felet ökade spänningen kraftigt, upp till cirka 465 kV, under ett antal sekunder innan magnetiseringssystem för kvarvarande produktionsanläggningar kunde återställa spänningen till en nivå närmare normalspänningsintervallet.



Figur 4. Uppmätta huvudspänningar (positiv sekvens) i stationer i det elektriska närområdet till Hagby.

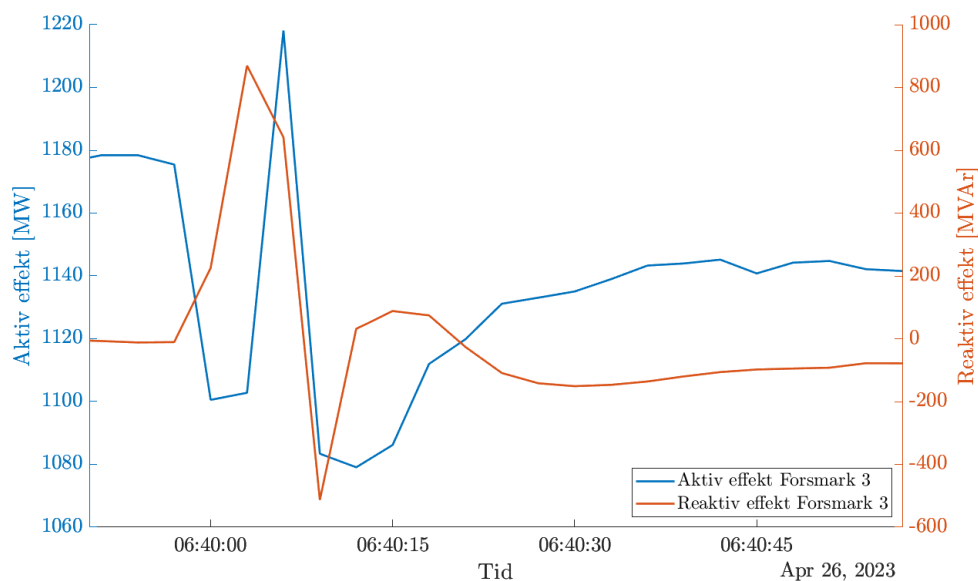
Högupplösta spänningsmätningar under *hela* störningsförloppet saknas för stationerna Forsmark FT46 samt Forsmark FT47, men genom analys av mätvärden från ALBA/energimätarsystemet² fås en ungefärlig bild av spänningarna under händelseförloppet vilket visas i Figur 5. Preliminära analyser av data från störningsskrivarna visar dock att spänningshöjningen efter felbortkopplingen troligen var signifikant högre, närmare 470 kV, än vad som visas i Figur 5.

² ALBA-data insamlas från energimätare som har en mätupplösning på 3 sekunder.



Figur 5. Huvudspänningar i Forsmark FT46 S1/S2, Forsmark FT47 (samt Odensala som referens) med mätningar från ALBA-systemet.

I Figur 6 visas den aktiva och reaktiva effektutmatningen från Forsmark 3 under, samt ett par sekunder efter, driftstörningen i Hagby. Då högupplöst data saknas för stationerna Forsmark FT46 samt Forsmark FT47 används ALBA-data och trots en relativt låg tidsupplösning kan produktionen av reaktiv effekt under felet, samt konsumtionen av reaktiv effekt efter att felet kopplats bort, ändå observeras tydligt. Under driftstörningen bidrog generatoren med reaktiv effekt till nätet med upp till 870 Mvar vilket stöttade systemspänningen. Efter att felet i Hagby hade kopplats bort höjdes spänningen momentant i nätet, vilket ledde till att magnetiseringssystemet istället arbetade för att sänka spänningen. Generatoren konsumerade därefter reaktiv effekt ned till 500 Mvar varpå den några sekunder senare återgick till en liknande nivå som före driftstörningen.



Figur 6. Aktiv och reaktiv effekt i Forsmark 3 under driftstörningen.

På grund av de kraftigt varierande spänningarna skedde ett större antal automatiska från- och tillkopplingar av shuntreaktorer och shuntkondensatorer. I samband med driftstörningen skedde totalt 25 från- och tillkopplingar av shuntreaktorer och shuntkondensatorer anslutna till antingen 400 eller 220 kV-näten under ett tidsintervall på ca 5 sekunder där samtliga bidrog till att höja spänningen i systemet. Den stora spänningshöjning som skedde efter att felet i Hagby kopplats bort kan därmed till stor del förklaras av den stora mängd reaktiva komponenter som kopplades in under felfallet.

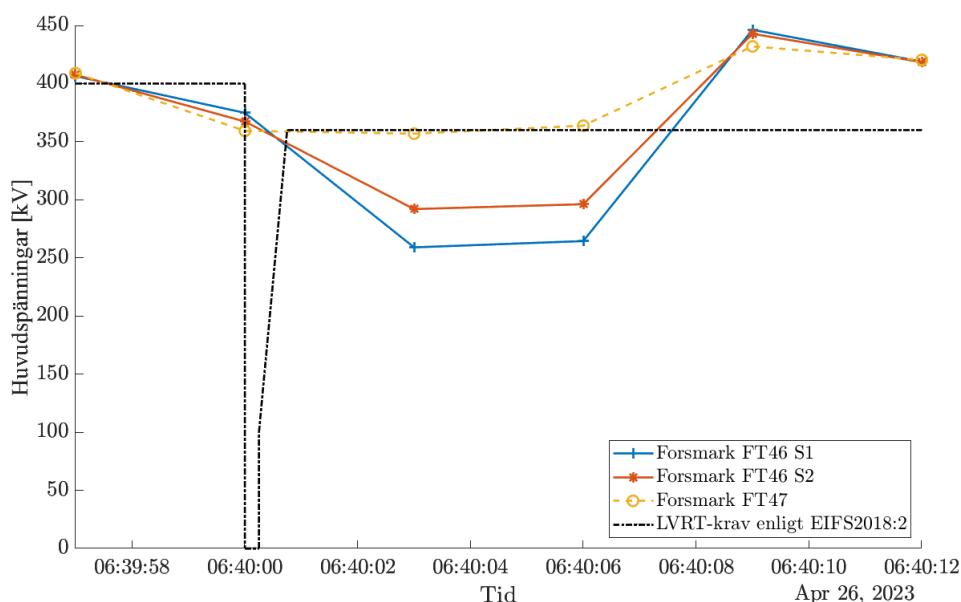
Efter att felet kopplades bort och inom loppet av 8 sekunder utfördes ytterligare 35 från- och tillkopplingar; där de flesta bidrog till att sänka spänningarna i systemet. Utöver bidraget från dessa komponenter tillkommer även reaktiv stöttning från reaktiva komponenter i distributionsnät.

4.2 Bortkopplingen av Forsmark 1 och 2 i FT46

Enligt störningsskrivarfiler från störningstillfället var systemspänningarna på samlingsckenorna i FT46 låga före felbortkopplingarna. Analys av data från störningsskrivare visar på att spänningen på samlingsckenorna i FT46 gick utanför den kravställda spänningsprofilen, enligt 3 kap. 5§ i SvkFS2005:2. De låga spänningar som uppstod ligger utanför kraven rörande störningstålighet för kortslutningar och spänningsvariationer. Felbortkopplingen bedöms därför som rimlig med hänsyn till spänningens låga magnitud och varaktighet.

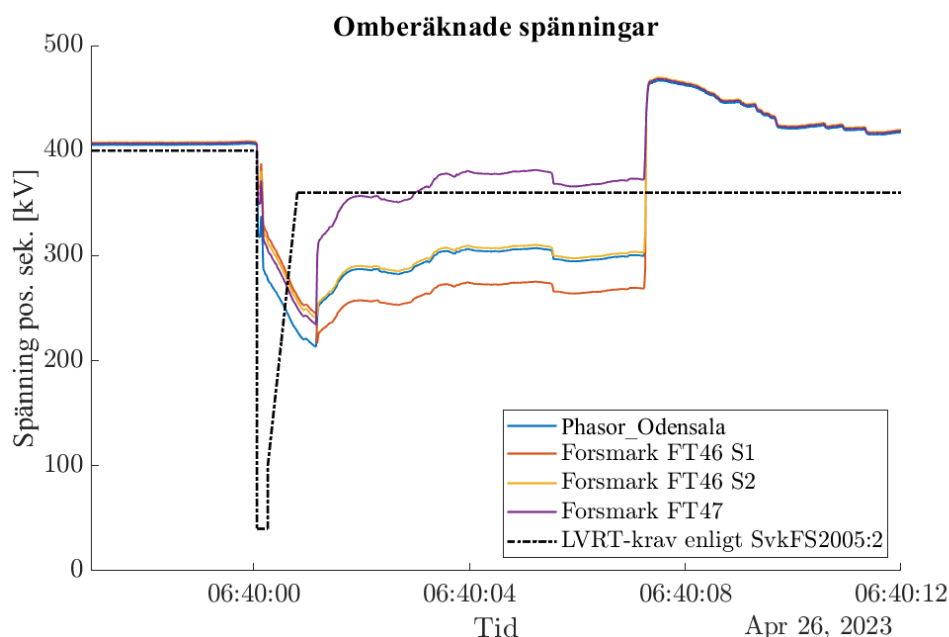
4.3 Analys och påverkan på Forsmark 3

Forsmark 3 kunde, trots stor påverkan på systemspänningen i den aktuella stationen, bibehålla sin anslutning till nätet. Högupplösta mätningar saknas i stationen varför ALBA-data har använts för att analysera störningsförloppet. I Figur 7 visas spänningarna i stationerna Forsmark FT46 S1/S2 samt Forsmark FT47 tillsammans med kraven på störningstålighet med avseende på spänningsnivåer över tid (LVRT) enligt SvkFS 2005:2. Det konstateras att spänningarna i Forsmark FT47 låg *väldigt nära* den kravställda spänningsprofilen för att anläggningen ska kunna hållas ansluten till nätet. I Figur 7 kan det även avläsas att de uppmätta spänningarna i Forsmark FT46 S1/S2 ligger väsentligt under de spänningar som kravställs för störningstålighet i SvkFS 2005:2.



Figur 7. Spänningar i Forsmark FT46 S1/S2 och Forsmark FT47 samt LVRT-krav enligt SvkFS 2005:2.

Genom att korrelera och omberäkna spänningar från PMU-mätning i Odensala mot ALBA-data från Forsmark FT46 S1/S2 samt Forsmark FT47 kan en uppskattning på hur spänningarna i dessa stationer sett ut under driftstörningen estimeras, vilket visas i Figur 8. Figuren visar att spänningsnivåerna för Forsmark FT47 kan ha legat *under* kraven för störningstålighet under 2 sekunder efter att felet inträffat. Dessa resultat är dock förenade med osäkerhet p.g.a. upplösningen på mätdata.



Figur 8. Omräknade och estimerade spänningar (positiv sekvens) Forsmark FT46 S1/S2 och Forsmark FT47 samt LVRT-krav enligt SvKFS 2005:2.

Den relativt stora skillnaden i spänningsnivåer mellan stationerna Forsmark FT46 S1/S2 och Forsmark FT47 berodde på aktuell nättopologi.

4.4 Bortfall av annan produktion

Genom analys av ALBA-mätdata och estimat från SCADA³-systemet kunde även andra produktionsanläggningar som blivit bortkopplade under driftstörningen identifieras. De gällande produktionsanläggningarna, deras lokalisering i respektive elområde, typ av produktionsanläggning, samt bortfall och maximal aktiv effekt presenteras i Tabell 3. Det är möjligt att fler produktionsanläggningar kan ha påverkats och vidare undersökningar kommer att utföras för att undersöka vad som orsakat bortkopplingarna. Det bör även nämnas att det finns en viss osäkerhet kring noggrannheten i estimaten och eventuellt bortfall av produktion behöver bekräftas ytterligare via transmissionsnätets eller anslutna distributionsnäts SCADA-system.

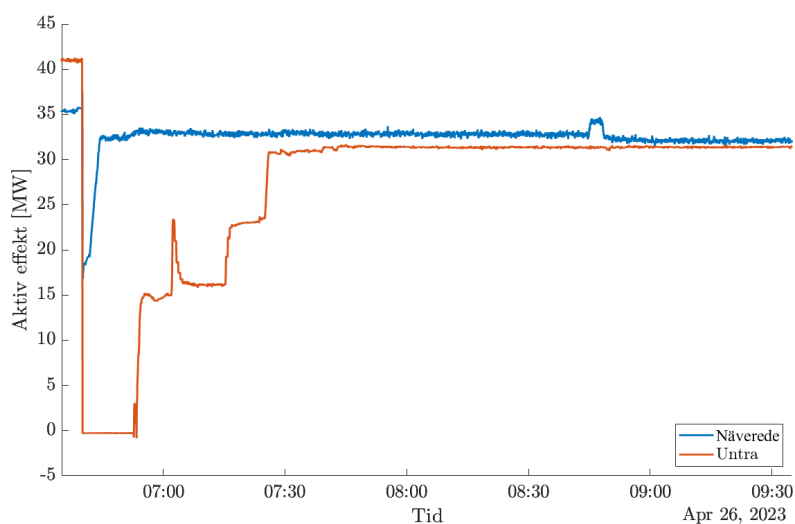
³ Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) utgör de funktioner som omfattar datainsamling, styrning och fjärrövervakning av det svenska stamnätet.

Tabell 3. Övriga produktionsanläggningar som påverkades av driftstörningen.

Produktionsanläggning	Elområde	Typ av produktionsanläggning	Bortfall av aktiv effekt	Maximal aktiv effekt
Värtanverket KVV8	SE3	Kraftvärmeverk	77 MW*	~140 MW
Untra kraftverk	SE3	Vattenkraftverk	39 MW**	~43 MW
Älvkarleby kraftverk	SE3	Vattenkraftverk	38 MW (av totalt 80 MW)*	~125 MW
Finnfors kraftstation	SE1	Vattenkraftverk	18 MW*	~44 MW (estimerat)

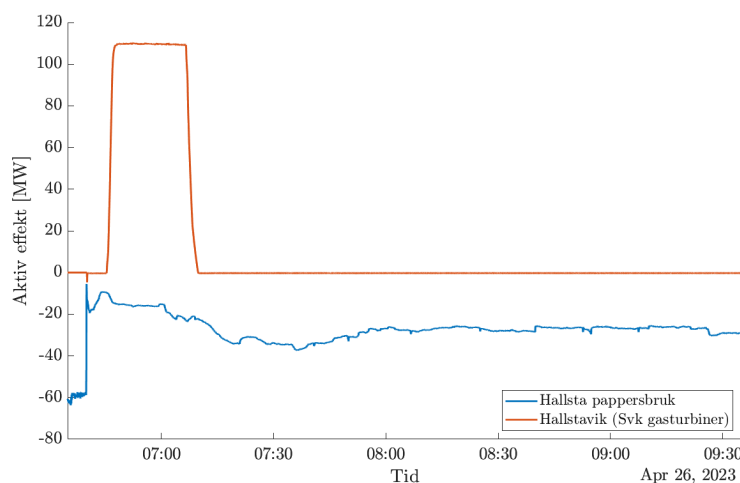
* Endast kontrollerat via SCADA-data. **Verifierat via ALBA-data.

I Figur 9 visas den aktiva effekten under och ett par timmar efter driftstörningen i Hagby för ett antal produktionsanläggningar där mätdata från ALBA-systemet fanns tillgängligt. En större påverkan kan identifieras på Untra kraftverk som under ett antal minuter blev helt bortkopplat från nätet. En stegvis återinkoppling till nätet kan sedan ses under efterföljande 30 minuter. Även produktion som är geografiskt och elektriskt svagt sammankopplat mot stationen i Hagby påverkades av driftstörningen. Vattenkraftverket i Näverede, i SE2, fick en initial påverkan av driftstörningen, men produktionsnivån återställdes inom ett par minuter.

**Figur 9.** Aktiv effekt för Nävereds vattenkraftverk, samt Untras kraftverk.

I 220 kV-stationen Hallstavik finns dels en större last i form av Hallsta Pappersbruk Holmen Paper, dels gasturbiner som drivs av Svenska kraftnät. I

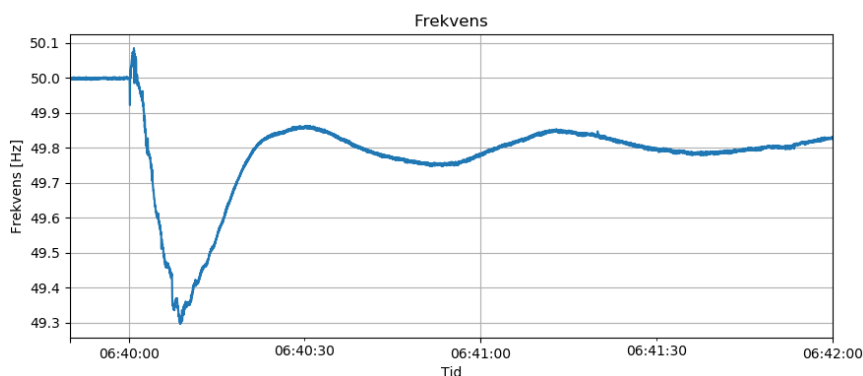
Figur 10 visar aktiveringen av gasturbinerna ett par minuter efter att driftstörningen inträffat. Samtidigt kan en relativt tydlig nedstyrning av lasten på Hallsta Pappersbruk identifieras, vilket troligtvis verkat stabiliserande för nätet. Lasten återhämtas därefter delvis efter att felet blivit bortkopplat.



Figur 10. Aktiv effekt för Hallsta pappersbruk samt SvK gasturbiner Hallstavik.

4.5 Frekvensavvikelse vid frånkoppling av Forsmark 1 och 2

Från det att skydden löste ut den första transformatorn i Forsmark FT46 till dess att både Forsmark 1 och 2 var frånkopplade tog det ca 0,5 sekunder. Det innebär att en plötslig differens mellan produktion och förbrukning uppstod vilket hade en direkt påverkan på frekvensen i det nordiska synkronområdet. I Figur 11 illustreras hur frekvensen snabbt sjönk i samband med driftstörningen, lägsta frekvens uppmättes till 49,3 Hz och inträffade ca 8 sekunder efter frånkopplingen av Forsmark 1 och 2.



Figur 11. Uppmätt frekvens i det nordiska synkronområdet i samband med störningen den 26 april. Frekvensmätningen är från station Hallsberg.

Innan skydden löste ut och Forsmark 1 och 2 fränkopplades producerade de sammanlagt 2 130 MW. Som framgår i kapitel 4.4 påverkades även annan produktion under driftstörningen vilket innebar att total volym produktion som kopplades bort sannolikt var något högre än 2 130 MW.

Frekvenshållningsreserven för störd drift uppreglering (FCR-D upp) är dimensionerad för att hantera störningar på upp till 1 450 MW. Totalt fanns 1450 MW FCR-D upp och 600 MW frekvenshållningsreserver för normaldrift (FCR-N) tillgängligt i det nordiska synkronområdet när störningen inträffade.

Den låga frekvensen innebar att nödeffektsingrepp (EPC) på flera likströmsförbindelser aktiverades, totalt bidrog EPC aktiverad på underfrekvens med ca 600 MW. Störningsreserven startade automatiskt på underfrekvens, samtliga enheter som fanns tillgängliga för underfrekvensstart aktiverades vilket motsvarade en volym på ca 500 MW. Utöver det aktiverades även ca 200 MW av störningsreserven manuellt. Totalt bidrog störningsreserven med 700 MW.

Eftersom minfrekvensen blev 49,3 Hz hade kraftsystemet god marginal till automatisk förbrukningsfränkoppling, AFK. Första steget i AFK aktiveras om frekvensen understiger 48,8 Hz.

Innan driftstörningen inträffade var rotationsenergin i synkronområdet 191 GWs, vilket är en medelhög nivå av rotationsenergi sett över ett helt år. Vid samma ändring i aktiv effekt, ΔP för störningen, kommer frekvensfallet att ske långsammare och frekvensavvikelsen blir lägre om rotationsenergin är hög jämfört med om den är lägre. Snabb frekvensreserv (FFR) avropas baserat på prognostiserad tillgänglig rotationsenergi i kraftsystemet. Eftersom prognosen indikerat att mängden rotationsenergi i kraftsystemet skulle vara tillräcklig hade ingen FFR avropats och den avhjälpande åtgärden fanns därför inte tillgänglig för aktivering.

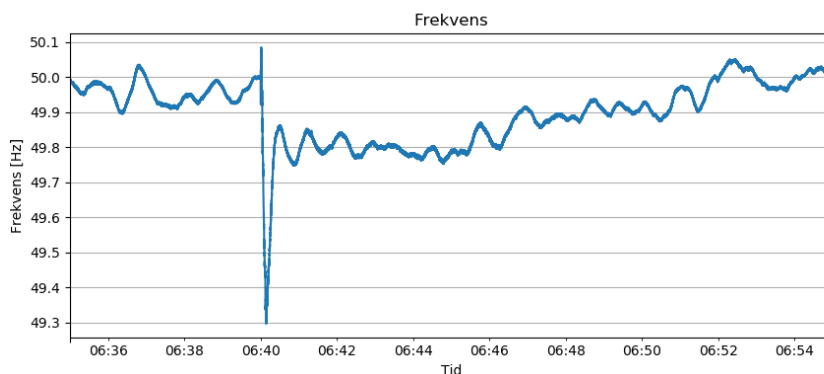
4.5.1 Interaktion mellan spänning och frekvens

I början av störningsförloppet, när spänningarna var mycket låga men innan Forsmark 1 och 2 hade frånkopplats, ökade frekvensen, se Figur 11. Denna frekvensökning förefaller indikera att förbrukningen reducerades initialt p.g.a. den låga spänningen som uppstod. Delar av förbrukningen i kraftsystemet är spänningsberoende, förbrukningen minskar när spänningen sjunker.

Förbrukningsreduktionen som följde av de låga spänningarna resulterade i att produktionen översteg förbrukningen vilket innebar att frekvensen ökade. När Forsmark 1 och 2 frånkopplas utgjorde den initiala förbrukningsreduktionen från de låga spänningarna en reduktion av resulterande felfall, ΔP för störningen. Frekvensavvikelsen blev därmed sannolikt mindre jämfört med om frånkopplingen av Forsmark 1 och 2 inte hade föranletts av låg spänning.

4.5.2 Återgång

Efter frekvensdippen förblev frekvensen utanför intervallet för kontinuerlig normaldrift (49,90-50,10 Hz) i 7 minuter. Frekvensen stabiliserades över 49,90 Hz efter ca 12 minuter, se Figur 12.



Figur 12. Frekvensen i det nordiska synkronområdet under och efter driftstörningen.

FCR-D upp, störningsreserven och EPC ersattes successivt av manuell frekvensåterställningsreserv (mFRR). Deaktiveringen av EPC påbörjades 10 minuter efter störningen, EPC på den sista likströmsförbindelsen deaktiverades kl. 07:07. Gasturbinerna deaktiverades efter att ha kört i ca 30 minuter. Totalt aktiverades 2 431 MW mFRR i Norden och det fanns fortfarande ca 7 600 MW mFRR bud kvar på budlistan.

Forsmark 1 och 2 anslöts inte samma dag och balansen korrigerades i drifttimmen med mFRR samt av aktörernas agerande på Intradag-marknaden. För timmen 07-08 den 26 april hade Intradag-marknaden redan stängt när störningen inträffade och intradaghandel kunde inte ske för den timmen. Aktörerna på marknaden uppdaterade sina handelsplaner för timmen 08-09 och 09-10 vilket innebar att strax efter kl. 9 var handeln i balans och mFRR deaktiverades.

5. Systemdrifttillstånd

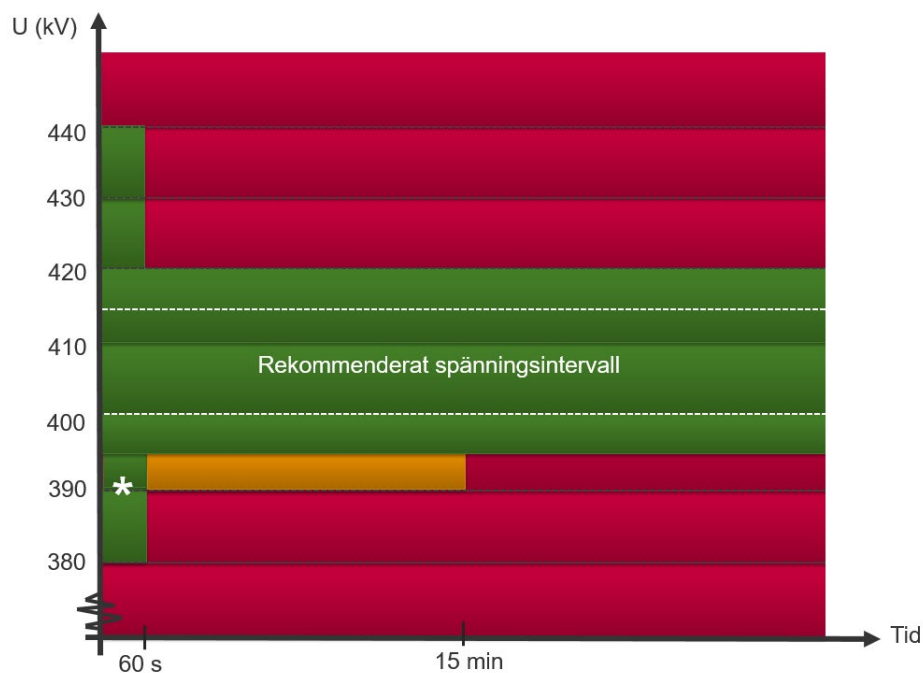
I Tabell 4 sammanfattas systemdrifttillstånden för det svenska kraftsystemet under störningen 26 april. En mer ingående beskrivning av systemdrifttillstånd med avseende på spänning och frekvens ges i kapitel 5.1 respektive 5.2.

Tabell 4. Sammanfattning av systemdrifttillstånd för spänning, frekvens respektive termisk överlast i det svenska kraftsystemet under störningen 26 april.

Kategori	Systemdrifttillstånd	Kommentar
Spänning	Nöddrift	Mycket låga spänningar under sju sekunder med efterföljande störningar i elförsörjningen som följd.
Frekvens	Normaldrift	Tillgängliga reserver var tillräckliga för att hålla frekvensen inom området för normaldrift.
Termisk överlast	-	Har ej ingått i den preliminära utvärderingen.

5.1 Systemdrifttillstånd med avseende på spänning

Felet i Hagby orsakade en kraftig spänningssänkning samt en spänningsökning när felet bortkopplades, sammantaget var kraftsystemet i systemdrifttillståndet nöddrift i 9 sekunder. Gränsvärdet för respektive drifttillstånd med avseende på spänning framgår av Figur 13.



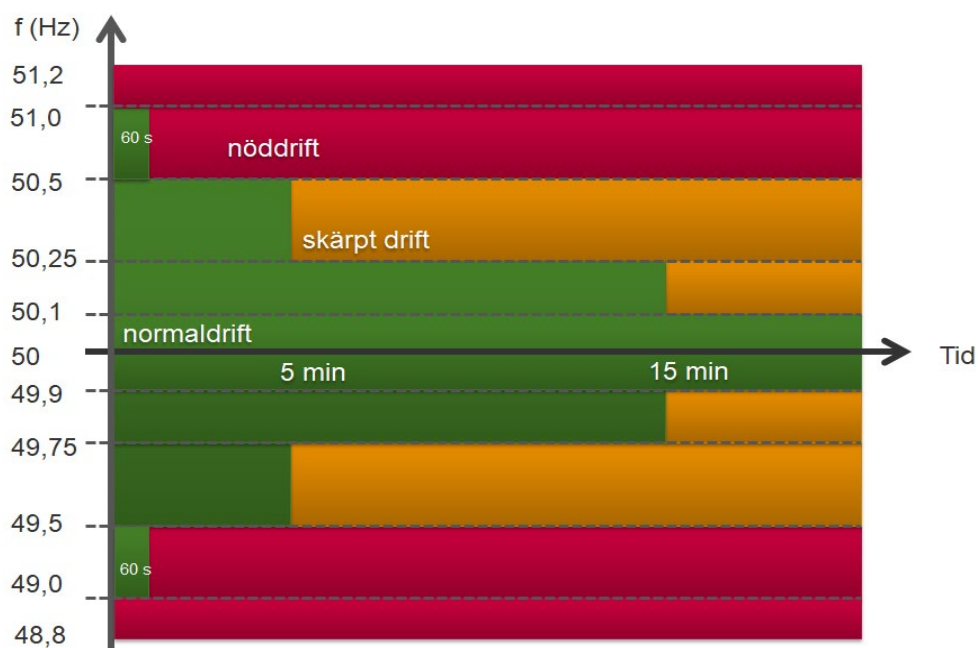
Figur 13. Systemdrifttillstånd för spänning.

I samband med att felet uppstod uppmättes en spänning på 183 kV i Anneberg (400 kV), den låga spänningen varade i 7 sekunder. Den undre gränsen för nöddrift är 380 kV, kraftsystemet var alltså i nöddrift p.g.a. låga spänningar i 7 sekunder. Spänningarna i andra stationer, se 4.1.

Efter bortkopplingen av felet ökade spänningen i flera stationer till cirka 465 kV, den höga spänningen varade i 2 sekunder. Den övre gränsen för nöddrift är 440 kV, systemet var alltså i nöddrift p.g.a. höga spänningar i 2 sekunder.

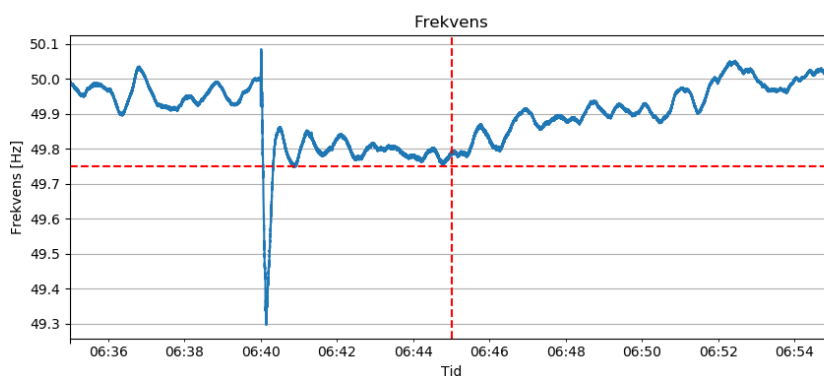
5.2 Systemdrifttillstånd med avseende på frekvens

Under hela störningsförloppet befann sig frekvensen inom gränserna för normaldrifttillstånd. Figur 14 illustrerar kriterierna för att frekvensen ska vara i normal-, skärpt- respektive nöddrift.



Figur 14. Systemdrifttillstånd för frekvensstabilitet.

För att inte hamna utanför normaldrift måste frekvensen vara över 49,75 Hz efter 5 minuter från störningens början. Stömlinjer har ritats in i Figur 15 tillsammans med frekvensmätningen.



Figur 15. Frekvensen i det nordiska synkronområdet under och efter störningen 26 april samt stömlinjer i rött som visar att frekvensen inte var under 49,75 Hz i mer än 5 minuter.

6. Konstaterade brister

Följande fel och brister har konstaterats i samband med driftstörningen den 26 april:

1. Frånskiljare i Hagby kunde inte manövreras på fjärr p.g.a. att förreglingslogiken i stationen felaktigt indikerar att X1-A220-F ligger i mellanläge. Detta innebär att frånskiljarblockeringen behövde upphävas för att möjliggöra manöver av frånskiljare. X1-fack är sedan tidigare rivet.
2. Manöver av fel frånskiljare T1-220-F1 öppnades med driftström (avsteg från driftorder).
3. 220 kV brytarfelsskydd Sub 1 skulle skickat en utlösningsspuls till T1-400-F-S i Hagby men den uteblev på grund av ett konstruktionsfel.
4. 220 kV samlingsskeneskydd Sub 2 skulle skickat en utlösningsspuls till T1-400-F-S i Hagby men den uteblev på grund av ett fel i utlösningsskretsarna.

Upphävningen av frånskiljarblockering var en förutsättning för att genomföra kopplingar för planerade arbeten och betraktas därför inte som ett fel. Upphävning av frånskiljarblockering reglerades inte i driftordern.

Svenska kraftnät är systemansvarig myndighet, med uppgift att på ett affärsmässigt sätt förvalta, driva och utveckla ett kostnadseffektivt, driftsäkert och miljöanpassat kraftöverföringssystem. Det omfattar ledningar för 400 kV och 220 kV med stationer och utlandsförbindelser. Svenska kraftnät 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

