

Analys av Öresundsverket med avseende på subsynkron resonans.

Fredrik Wemming

Industriell elektroteknik och automation
Lunds tekniska högskola
Juni 2004

Innehållsförteckning

Innehållsförteckning.....	2
Inledning	3
Subsynkron resonans.....	3
Fenomenet	3
Tidigare erfarenheter	5
Baltic Cable	5
Analys	6
Val av modell	6
Indata	7
Modellen	8
Öresundsverket	8
Pi	10
Baltic Cable	12
Simulering i EMTDC.....	13
Modellens begränsningar	13
Simuleringar	14
Resultat	17
Resultat i EMTDC	17
Grafer	17
Diskussion om resultat	27
Slutsats	27
Problem som kan uppstå	27
Vad bör man välja för lösning	28
Giltighet	28
Svar på problemställningen	28
Referenser	29
Bilaga 1	30
Öresundsverket	30
Pi	31
Styrenhet för växelriktaren	33
Styrenhet för likriktaren	34
Bilaga 2	35

Inledning

I projektbeskrivningen som upprättades av handledaren inför examensarbetet ställdes vissa stolpar upp. Beskrivningen löd i stort som följer.

I Malmö planerar man att modernisera Öresundsverket genom att bygga en helt ny gaskombi-anläggning. Detta nya kraftverk kommer efter färdigställandet att befinna sig elektriskt nära strömriktarstationen för Baltic Cable HVDC-länk. Detta innebär att under vissa omständigheter finns en risk för att subsynkron resonans kan uppkomma vilket kan ge stora skador på långa axlar tillhörande det nya kraftverkets generatorer och turbiner.

Examensarbetets inriktning och mål ska vara:

- Beskriva SSR ur allmän synpunkt kopplat till långa axlar tillhörande generator/turbin och HVDC-länkar.
- Studera information/utförda mätningar kring nuvarande risker för SSR med Baltic Cable länken och Barsebäck.
- Skapa en lämplig EMTDC simuleringsmodell för det aktuella fallet innehållande generatorer/turbiner, elnät samt Baltic Cable HVDC-länk.
- Genomföra simuleringar med målsättning att belysa vilken teknisk utformning som inte bör väljas för generatorer och turbiner i det nya kraftverket.

Subsynkron resonans

Fenomenet

Subsynkron resonans är ett elektriskt fenomen som kan uppstå p.g.a. samverkan mellan elnät och generatorer. Dess inverkan på långa axlar i t.ex. generatoranläggningar kan få mycket allvarliga konsekvenser. Den allmänna definitionen är framtaget av IEEE, här hämtat från [1], och lyder:

Subsynchronous resonance is an electric power system condition where the electric network exchanges energy with a turbine generator at one or more of the natural frequencies of the combined system below the synchronous frequency of the system.

Fenomenet kan uppstå i en mängd sammanhang, dock kan man säga att några av orsakerna är mer generella än de övriga. De tre viktigaste av dessa är följande.

- Asynkronverkan.
- Torsionssamverkan.
- Transienta axelpåkänningar.

Asynkronverkan (Induction generator effect).

Anledningen till att asynkronverkan uppstår är ledningar med seriekondensatorer. Dessa har subsynkrona (d.v.s. under nätets 50 Hz) elektriska resonanser. Vid dessa frekvenser uppträder synkrongeneratorer som asynkrongeneratorer vilka i förhållande till resonansfrekvenserna roterar med högre hastighet. Detta leder till att generatorerna får negativ resistans i förhållande till nätet i övrigt som har positiv resistans. Vanligtvis så är nätets positiva resistansbidrag mycket större än generatorns negativa, om det omvända dock skulle inträffa så kan en odämpad resonans inträffa, en så kallad asynkronverkan.

Torsionssamverkan (Torsional interaction effect).

Varje axel har en naturlig frekvens (f_m), vid vilken den kommer att svänga om den sätts i torsionssvängning. Om komplementfrekvensen ($f_c=50-f_m$) är nära det elektriska nätets resonansfrekvens kan elektrisk resonans uppstå. Resonansen överförs sedan till den mekaniska axeln där torsionssvängningen kan bli så stor att axeln skadas.

Transienta axelpåkänningar (Transient torque effect).

Vid störningar, t.ex. kortslutningar, utsätts det elektriska nätet för transienta strömmar av olika slag. Om det inte finns några seriekopplade kondensatorer i nätet är dessa transienter alltid av likströmskaraktär och kommer att dö ut efter en kort stund. Finns det däremot seriekopplade kondensatorer kan störningen ge svängningar vid olika frekvenser, varav en del kommer att vara subsynkrona. Är någon av dessa frekvenser överensstämmande med

generatoraxelns naturliga frekvens kommer påfrestningarna på axeln att bli avsevärda. Även om självsvängning inte uppstår så kan fel ändå ge upphov till avsevärda påfrestningar på axeln om denna befinner sig elektriskt nära felkällan.

Nedan följer grafer (se fig.1) från EMTDC för ett typiskt SSR-fall [10].

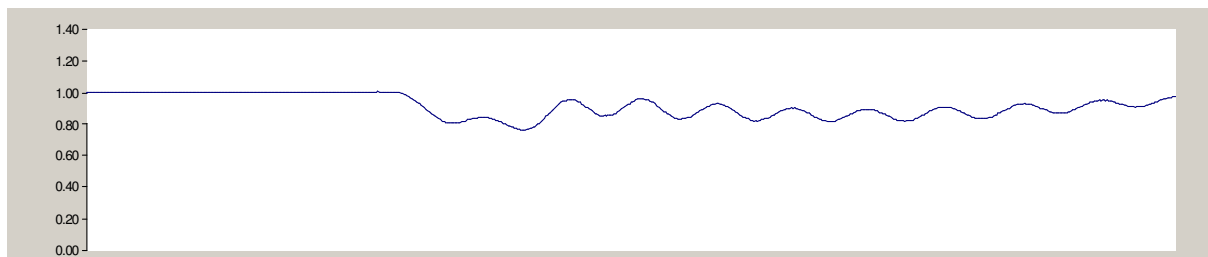


Fig. 1a. Spänning, p.u.

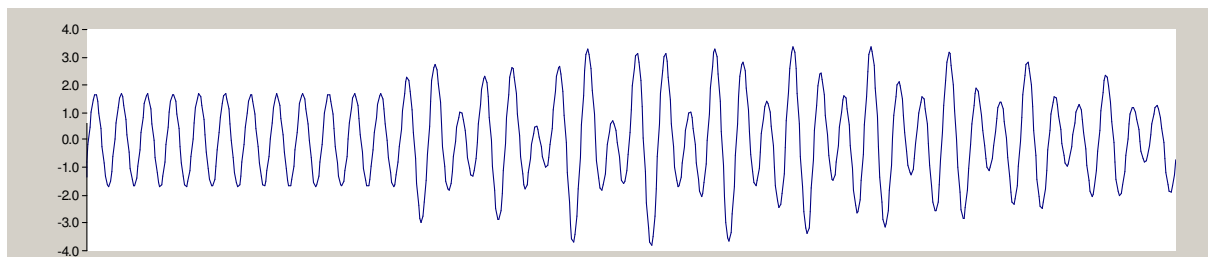


Fig. 1b. Ström, p.u.

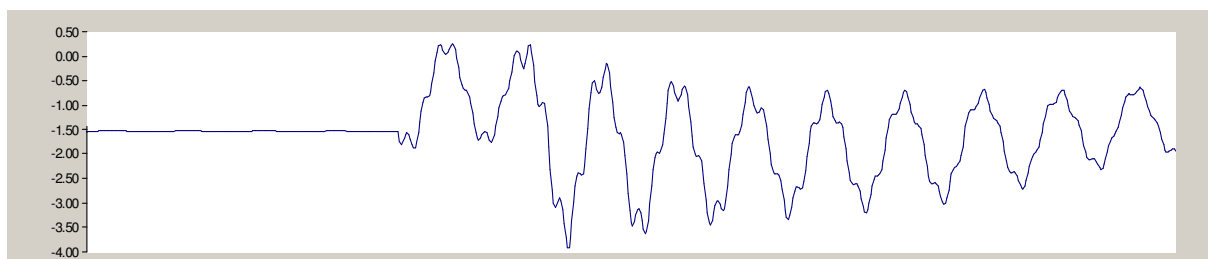


Fig. 1c. Generatorns elektriskt moment, p.u.

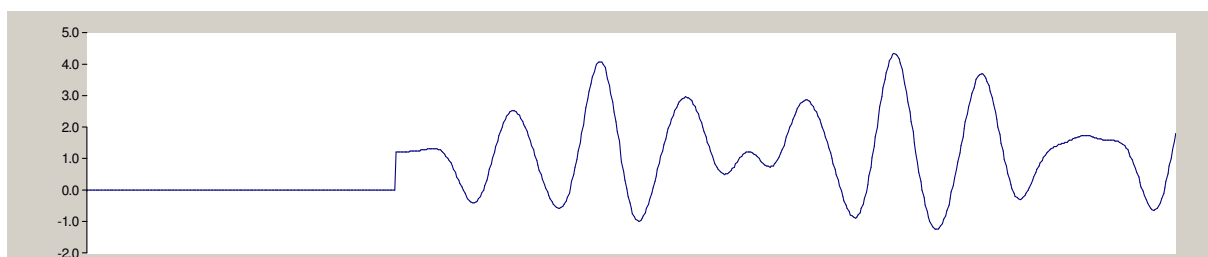


Fig. 1d. Moment mellan turbin a och b, p.u.

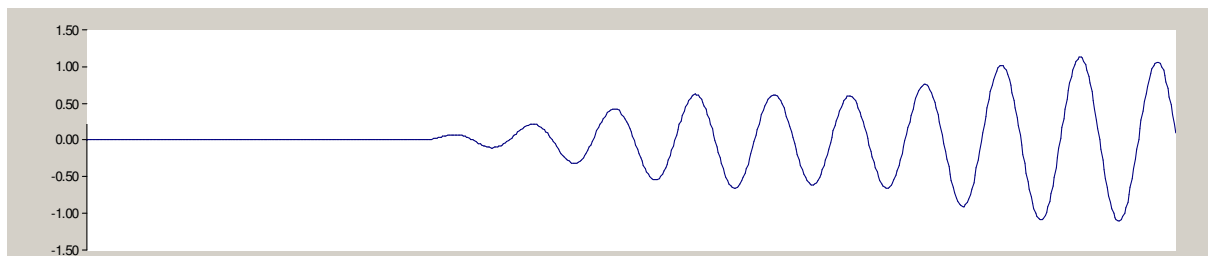


Fig. 1e. Moment mellan generator och matare, p.u.

Tidigare erfarenheter

Internationellt sett har problem med SSR tidigare uppkommit vid en rad olika tillfällen och situationer. Orsaken till problemen har skiftat, de viktigaste som skulle kunna beröra Öresundsverket genom Baltic Cable har här sammanfattats.

Frekvensskillnader: När två icke-synkrona elnät ska sammankopplas används som bekant likström för att lösa problemet. Vid vissa tillfällen har de sammankopplade näten haft en liten frekvensskillnad, vilket har lett till att överlagrade frekvenser har förts in i det mottagande växelströmsnätet. Dessa fall har nästan enbart varit ett problem vid s.k. "Back to Back" stationer (se fig.2), d.v.s. när det inte finns någon kabel mellan likriktar och växelriktarstationen, t.ex. mellan Tjeckien och Tyskland. I fallet med Baltic Cable, när det handlar om 250km ledning, anses detta inte vara något problem.



Fig. 2. Etzenricht, Tyskland.

Asynkronverkan: Fallet med seriekondensatorer, s.k. asynkronverkan, har tidigare inte setts som något problem i samband med Baltic Cable, då avståndet mellan södra Sverige och kondensatorbatterierna i mellersta Sverige anses vara tillräckligt långt. En ny aspekt har dock uppkommit då man på den tyska sidan planerar att installera en SVC, i praktiken ett avancerat kondensatorbatteri.

Kommuteringsfel: En betydligt allvarigare situation uppstår vid kommuteringsfel på Baltic Cable, vilket innebär fel på en eller flera tyristorer i riktarstationerna. Felet kan variera från försenad/förtidig till helt utebliven tändning [3] vilket kan medföra allvarliga störningar på nätet. Detta tillstånd inträffar oftast när omriktarstationen arbetar som växelriktare [4, 5], ofta i samband med spänningsdippar i AC nätet. Enligt [5] anses en spänningssänkning på 10-14% vara tillräckligt för att fel ska uppstå. Kommuteringsfelen kvarstår i vanliga fall i 150-300ms innan 90% av kabelns kapacitet är återställd [6].

Fel och jordfel: Simulering med både enfas och flerfasfel samt jordfel bör utföras då dessa fel är den vanligaste orsaken till störningar på nätet.

Effektförändring: På Barsebäck har man vid olika tillfällen satt upp utrustning för mätning av torsionsvängningar på generatoraxlarna. När sedan subsynkrona svängningar har registrerats har man samkört tidpunkterna med drifrapporterna från Baltic Cable och försökt se om det fanns ett samband. Från 2003-12-10 och en månad framåt uppmättes svängningar vid fem tillfällen. Baltic Cable anses vara upphovet till en av dessa och anledningen var en snabb nedrampning med 100MW/s. Det bör belysas att kabeln har stängts ned med en hastighet av 3000MW/s vilket borde ha gett betydligt större påverkan på Barsebäcks generatoraxel. Dock var mätutrustningen då borttagen och ingen mätning finns från tillfället. Med anledning av detta bör simuleringar med verklighetstroga, snabba, effektförändringar på kabeln ske.

Baltic Cable

1991 påbörjades projektet med den HVDC-länk (High Voltage Direct Current) mellan Sverige och Tyskland som när det var färdigt i december 1994 kallas Baltic Cable. Länken var då 250km lång (se fig.3), kapabel till 600MW vid 450kV [6].



Fig. 3. Ledningssträcka Baltic Cable.

Anledningen till att kabeln kom till var skillnaderna i elproduktion mellan Sverige och Tyskland, en optimering av resurserna. Med sina många kärnkraftverk, överproducerar Tyskland elektricitet nattetid, men lider brist på dagtid. Detta har lett till att ett tydligt mönster har kunnat skönjas i överföringen, under dagen exporterar Sverige och när sedan priset på el sjunker under kvällen börjar man istället importera.

Ett problem som har uppstått vid användandet av kabeln är att den planerade matningen till det Tyska stamnätet har uteblivit. På grund av byråkrati och miljörelsen i Tyskland har aldrig de sista 4-500 metrarna 400kV-ledning byggts, utan man har varit tvungen att mata ut på regionalnätet (130kV). Detta olyckliga faktum har lett till att kabeln inte har kunnat utnyttjas till full kapacitet då regionalnätet inte har klarat av mer än 450MW. Efter flera års processande har det nu beslutats att istället förstärka regionalnätet så att kabelns fulla kapacitet kan utnyttjas. Åtgärderna innefattar bl.a. nya ledningar och en SVC (Static Var Compensation), vilka tillsammans gör att man från och med den 1:a januari 2005 kan överföra de tänkta 600MW.

Analys

Val av modell

Vid skapande av en modell så måste för eller senare ett beslut tas hur man ska utföra sina beräkningar. Ett val man ställs inför är om man ska använda sig av en olineär eller en lineär modell, dock är valet ofta ganska enkelt.

- Lineär modell.

Metoden hittar alla moder direkt och bygger på analys med hjälp av egenvärden

Det finns exempel som är väl beskrivna av IEEE [10], nackdelen är att detta exempel beskriver ett väldigt enkelt system med i princip bara en generator, luftledning och en spänningskälla med oändligt stor kortslutningsimpedans. Verklighetsbaserade beräkningar med stora system är ytterst datorkrävande och använder ofta det senaste i datorteknik. En enklare förklaring av hur den grundläggande tekniken fungerar kan vara på sin plats och följer här.

Ett system kan beskrivas av differentialekvationer som kan skrivas enligt följande ekvation.

$$\begin{aligned} \dot{Y}_1 &= AY_1 + BF \\ Y_2 &= CY_1 + DF \end{aligned} \quad Y_1: \text{Systemvariabler. } Y_2: \text{Utparametrar. } F: \text{Inparametrar.}$$

Antalet element i tillståndsvektorn Y_1 varierar beroende på hur många dynamiska tillstånd man vill ha med för att beskriva t.ex. en synkronmaskin. Ordningen på Y_1 är lika med antalet tillstånd i systemmatrisen.

Om man för enkelhetens skull väljer ett slutet system utan in och utparametrar får vi ett enkelt system med utseendet:

$$\dot{Y}_1 = AY$$

Där A är en $n \times n$ -matris och Y är den tillståndsvektor av storleken n som innehåller de tillstånd man valt, t.ex. rotorström, vinkelhastighet etc.

Egenvärden/egenvektorer beräknas med de klassiska ekvationerna:

$$AX = \lambda X$$

$$\det(A - \lambda I) = 0$$

λ : Egenvärdena till A. X: De tillhörande egenvektorerna.

Om sedan något av egenvärdena som ligger i vänster halvplan överensstämmer eller befinner sig i närheten av de resonansfrekvenser man undersöker kan SSR uppstå. För den intresserade rekommenderas [1].

Detta är naturligtvis en kort och väldigt förenklad genomgång. När system innehållande flera hundra systemparametrar ska undersökas inses snabbt att åtskilligt med datorkapacitet och erfarenhet behövs. I denna studie har inte denna metod använts då systemet ansågs vara för stort.

- Olineär modell.

I detta fall jobbar man med datorprogram baserade på tidssimulering. Metoden är generell och relativt enkel.

Behovet av att kunna utföra simuleringar på elnät gjorde att man tidigt började utnyttja datorerna då de tillhörande beräkningarna kan vara mycket tidskrävande. 1975 började man på Manitoba Hydro i Kanada [7] att utveckla ett program för att kunna studera HVDC-kabeln¹ vid Nelson River och driften av denna. Slutprodukten blev EMTDC som står för Electromagnetic Transients including DC.

Programmet använder sig av det grafiska gränssnittet PSCAD som är av "klipp och klistra" typ och resultatet presenteras med fördel i grafer i tidsdomänen. Det är med hjälp av detta program som denna studie har utförts.

Indata

För att kunna få fram ett bra resultat krävs en relativt omfattande modell. Några av aspekterna som kan komma att spela in på resultatet är:

1. 400kV-nätet i södra Sverige.
 2. 130kV nätet i Skåne.
 3. Kraftverken i Barsebäck och Karlshamn.
 4. Parametrar för det moderniserade Öresundsverket.
 5. HVDC-kabeln Baltic cable.
 6. Hur pass väl man lyckas modellera resterande elnät och kraftverk.
1. De ledningar som utgör 400kV nätet i södra delen av Sverige är relativt få och sträckningen är i huvudsak i tre stråk, från Malmö längs öst och västkusten, samt ett centralt stråk genom Alvesta. I modellen är enbart sträckningen mellan Arrie (AIE) och Sege (SEE) inkluderad. Parametrarna till modellen är hämtade från Svenska Kraftnäts dokumentation från uppförandet av ledningarna.
 2. Beslut fattades att trots 130kV nätet i Skåne är ganska omfattande, skulle enbart sträckningen mellan Sege (SEE) och Öresundsverket (ÖVT) inkluderas. Parametrarna till ledningarna är hämtade från Sydkrafts dokumentation angående ledningarna.
 3. Karlshamnsverket ansågs ligga elektriskt för långt borta för att påverka resultatet i någon mening och finns därmed inte med i modellen. Barsebäck är representerad först som en spänningsskälla med viss impedans (se avsnittet **Pi i Modellen**) men resultatet blev ett ytterst instabilt nät som efter kort tid hamnade i självsvängning även i normal drift. Beslut togs att exkludera Barsebäck för att kunna köra längre simuleringar och därmed få en bättre överblick. Detta beslut diskuteras utförligare i avsnittet **Modellens begränsningar**.

¹ High Voltage Direct Current

4. Bland de viktigaste delsystemen i en SSR modell är det verk på vilken försöken skall göras. Möjliga leverantörer kontaktades för att kunna bistå med tekniska data till troliga maskiner. Av leverantörerna var det bara Siemens som svarade vilket har lett till att det bara är parametrar till deras utrustning som har använts.
5. Då examensarbetet inriktade sig på att se länkens möjliga påverkan på Öresundsverket, är länkens inparametrar av stor betydelse. För tekniska data och information bistod företaget bakom länken, Baltic Cable.
6. För modellen av omkringliggande elnät och kraftverk har enkla Thévenin-ekvivalenter gjorts. För att kunna bestämma impedansen har både Sydkraft och Baltic Cable bidragit med kortslutningseffekter i berörda punkter.

Modellen

Som grund till modellen ligger en tidigare studie av SSR-fenomenet som gjordes av Tobias Svensson på dåvarande SYCON Energikonsult AB. Modellen var enkel och avsåg främst att ge in introduktion till fenomenet samt visa att EMTDC lämpade sig väl för SSR-studier. Rapporten avslutas med följande:

"Genom att utöka modellen till verkliga situationer skulle det gå att avgöra om någon speciell generator skulle ligga i farozonen för subsynkron resonans."

Detta är det problem som ställdes i inledningen vilket gör att rapporten var en bra inledning på problemet. Då den ursprungliga modellen utfördes i en mycket tidig version av EMTDC på en Unixdator som inte längre fanns att tillgå kunde inga tidigare lösningar/modeller användas. Första steget blev därmed att bygga en grundläggande modell (se fig.4) med samma inparametrar som i den tidigare rapporten för att sedan utöka, förbättra och anpassa den. För innehållet i blocken se bilaga 1.

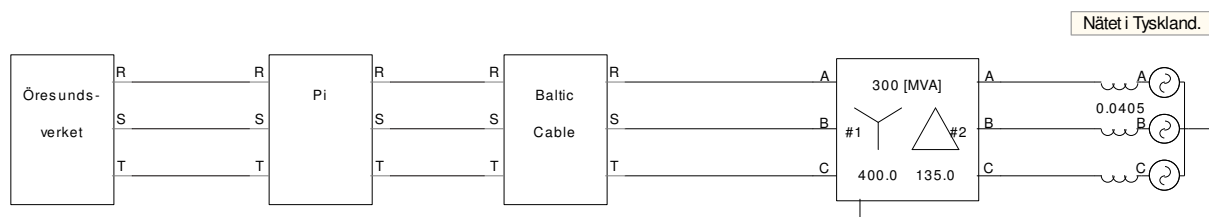


Fig. 4. Övergripande bild av modellen.

Öresundsverket

Då kraftverket ännu inte fått klartecken från miljödomstolen och senare regeringen så är fortfarande stora delar ovisst vad det gäller utformning och val av delar. Följande är vad man tror vid dags datum (30/3 2004):

- Två generatorer. En på 250MW och en mindre på 150MW som kommer att vara separerade enheter med var sin generatoraxel.
- Två separata transformatorer.
- Båda generatorerna är anslutna via separata fack till 130kVställverket.
- En gasturbin och två ångturbiner, en högtryck och en lågtryck.

Dessa punkter är alltså vad man tror, vad som fortfarande är oklart är t.ex. val av turbiner, transformatorer, generatorer etc. Därför är data och utformning av Öresundsverket byggt på kvalificerade gissningar och antaganden [9].

Modellen av verket består av tre beståndsdelar:

1. Synkronmaskiner. En av de möjliga leverantörerna till generatorerna, Siemens, bidrog med standardvärden för turbogeneratorer av tänkt storlek, d.v.s. en på 250MW (se fig.5), samt en mindre på 150MW.

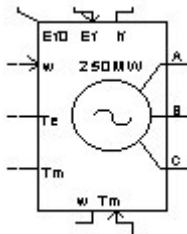


Fig. 5. 250MW synkronmaskin.

A, B, C: Trefas utspänning.

If: Fältström.

Ef: Fältspänning.

w, Tm: Styrning av hastighet. Antingen genom vinkelhastigheten (w), eller ett moment (Tm).

Te: Elektriskt moment till simulering av generatoraxeln.

Ef0: Fältspänningen vid tiden 0.

Data till synkronmaskinerna. Ej angivna data är p.u.

	V(L-N)	Ra	Xd	Xd'	Xd''	Xq	Xq'	Xq''	Td0'	Td0''	Tq0'	Tq0''
150MW	11.55kV	0	1.79	0.25	0.19	1.79	0.25	0.19	10	0.04	10	0.04
250MW	11.55kV	0	1.79	0.25	0.19	1.79	0.25	0.19	10	0.04	10	0.04

2. Generatoraxlar med tillhörande turbiner. För värden på turbinerna (se fig.6) bistod återigen Siemens med data. En intressant sak gällande långa axlar är egenfrekvensen vilken beräknas från fall till fall av tillverkaren. Att hitta motsvarande frekvenser till modellens axlar är ett mycket tidsödande arbete som inte har utförts. Anledningen till detta är att frekvensen är intressant då man kan få självsvängning i nätet p.g.a. seriekondensatorer, vilket inte finns elektriskt nära ÖVT. I figur 6b visas en enkel skiss av aggregaten, där turbin 2 inte finns med på axeln för 250MW-generatorn.



Fig. 6a. Axelpaket för maskiner innehållande turbiner.

wrad: Utsignal till synkronmaskinen angående vinkelhastigheten..

Te: Elektriskt moment från maskinen.

Tm: Momentet från maskinen.

Testdy: Inparameter för mjukstart av maskinen.

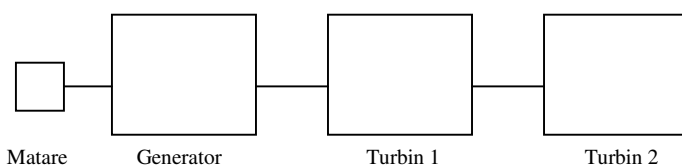


Fig. 6b. Modell av axelpaketet.

Data för 150MW-aggregatet.

Massa	Tröghetskonst. (s)	Fjäderkonst. (p.u.)	Momentfördelning
Roterande matare	0.055673		
		1060	
Generator	1.391818		
		69000	
HP	7.99797		0.52
		39000	
IP	0.247333		0.48

Data för 250MW-aggregatet.

Massa	Tröghetskonst. (s)	Fjäderkonst. (p.u.)	Momentfördelning
Roterande matare	0.04848		
		1060	
Generator	1.211993		
		56000	
HP	5.679984		
IP			

3. Transformatorstationer. Ett påslag på 10 % har gjorts i förhållande till generatorernas kapacitet för att få en liten säkerhetsmarginal.

Pi

Detta block ska motsvara den elektriska världen mellan Baltic Cable och Öresundverket. Symbolen öppnas med ett dubbelklick och innehållet kan ses i bilaga 1. De olika delarna beskrivs kort nedan.

Svenska elnätet.

I modellen utgörs Sverige av tre spänningskällor med låg impedans (se fig.7).

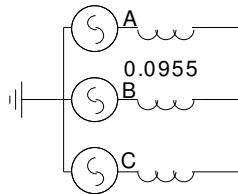


Fig. 7. Spänningskälla i EMTDC.

Spänningskällans induktans, i fallet ovan i Sege, visas som 0,0866, beräknas med Seges kortslutningsström på 410kV-sidan, samt med kortslutningseffekten vid hög last, enligt följande.

$$\frac{S_k}{U \cdot \sqrt{3}} = I$$

$$\frac{9700M}{410k \cdot \sqrt{3}} = I \Rightarrow I = 13659A$$

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{410kV}{13.659kA} = 30.02\Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = \omega L \Leftrightarrow L = \frac{30.02\Omega}{314.16 \text{ rad/sek}} = 0.0956H$$

I ekvationen ovan är R försvinnande litet och försummas därmed.

Då den SSR som ska undersökas i detta examensarbete uppkommer i första hand av Baltic Cable och störningar i det svenska kraftnätet, har en spänningskälla (se fig. samma som i "Sverige" ovan) fått representera det tyska nätet. Då man lätt ställer in frekvens på spänningskällan kan ett ovanligt fall som frekvenskillnader mellan näten testas.

För samtliga externa anslutningar gäller följande ungefärliga data.

Plats	U (kV)	S _{HL} (MVA)	S _{NL} (MVA)	Fasvinkel (°)
Arie (AIE)	138	5200	4600	3
Sege (SEE)	410	9700	4000	0
Tyskland	130	2300	2300	0

Ledningsträckningarna.

Eftersom Baltic Cable ansluter vid Arrie är det därifrån, via Sege, som ledningssträckan i Pi går. Ledningarna består av två beståndsdelar, det första är anslutningarna (se fig.8) och den andra är ledningskomponenten (se fig.9) i vilken de viktigaste data ska införas. Ett dubbelklick på ikonerna öppnar inställningarna.

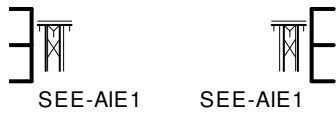


Fig. 8. Anslutningar i EMTDC.



Fig. 9. Ledningskomponent i EMTDC.

Ett problem uppstår när man har med korta ledningar i modellen. Anledningen är att längden på tidstegen i simuleringen måste kortas för att inte vara längre än sträckan delat på ljusets hastighet. Detta faktum leder till långa simuleringstider. Lösningen är att skapa egna ledningsekvivalenter (se fig.10).

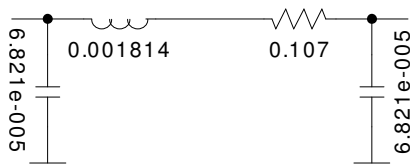


Fig. 10 Ledningsekvivalent för en fas.

Data till dessa har hämtats från Sydkrafts arkiv. I modellen finns dessa i blocken märkta t.ex. "Linjesträckning mellan SEE-ÖVT1". Ett dubbelklick på blocken öppnar dem. Vissa av blocken har fler än två anslutningar, vilket är resultatet av att matningen från 130kV-ställverket i Sege till Malmö/Öresundsverket sker på olika vägar.

Transformatorn.

Transformatorn (se fig.11) som sammanlänkar 400kVs nätet från 130kV är den transformator som i Sege benämns T2. Data har hämtats från Sydkrafts arkiv.

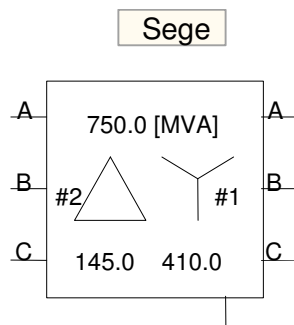


Fig. 11. Transformator i EMTDC.

Baltic Cable

Innehållet i blocket "Baltic Cable" kan ses i bilaga 1 och består av Baltic Cable med tillhörande transformatorer, kontrollenheter, filter etc. Ett grundläggande exempel på en HVDC länk går att hitta i EMTDCs bibliotek. Exemplet, se [10], användes som grund för att sedan modifieras så att det passade in i modellen.

Modifierandet av exemplet är dock inte helt tillfredsställande. Styrsystemet är relativt komplicerat och det går inte på något enkelt sätt att ändra styrvinklarna under simulering. En annan aspekt är att styrsystemet saknar SSR-dämpande utrustning vilket det riktiga systemet har.

De olika byggstenarna i modellen av HVDC-länken förklaras här.

Sexpulsbrygga.

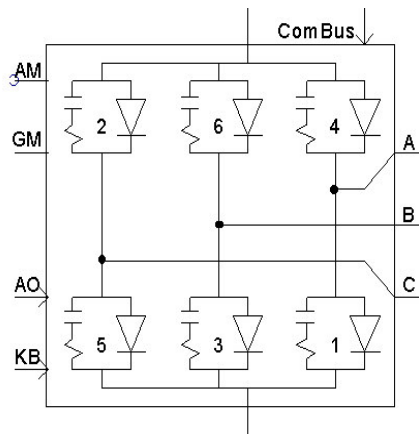


Fig 12. Sexpulsbrygga i EMTDC.

A, B, C:	Växelspänningsnätets faser (R, S, T).
Com Bus:	Insignal för trefas nätspänning för kommutering.
AM (Alpha Measured):	Utsignal för mätning av styrvinkeln alfa.
GM (Gamma Measured):	Utsignal för mätning av styrvinkeln gamma.
AO (Alpha Order):	Insignal för yttre styrning av vinkeln alfa.
KB:	Insignal för möjlig blockering av tyristorerna där 1 = normal drift. 0 = blockering av samtliga tyristorer. -1 till -6 = Blockering av enskild tyristor. -7 = Ett ständigt ledande par skapas, t.ex. 1 och 4, 3 och 6, övriga tyristorer blockeras.

Styrenhet för växelriktaren.

Innehållet i kontrollenheten (se fig.13) är hämtat från EMTDCs bibliotek. Se bilaga 1 för mer information.

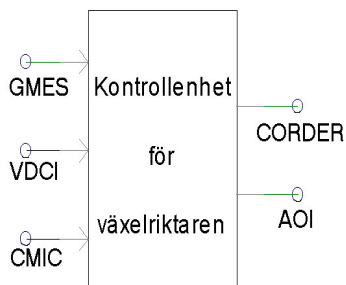


Fig. 13. Kontrollenhet för växelriktaren.

GMES (Gamma Measured):	Det minsta gamma värdet från de båda växelriktarna.
VDCI (Voltage DC Inverter):	Insignal av den för växelriktarna inkommande likspänningen.
CMIC (Current Measured Inverter Control):	Insignal av den för växelriktarna inkommande likströmmen.

CORDER (Current Order):

Utsignal för den strömorder som skall skickas till likriktarens kontrollenhet.

AOI (Alpha Order Input):

Utsignal för styrning av växelriktarnas alfa.

Styrenhet för likriktaren.

Innehållet i kontrollenheten (se fig.14) är hämtat från EMTDCs bibliotek. Se bilaga 1 för mer information.

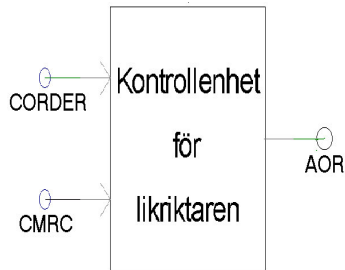


Fig. 14. Styrenhet för likriktaren.

CORDER (Current Order):

Insignal för den strömorder som skickas från växelriktaren.

CMRC (Current Measured Rectifier Control):

Insignal av den för likriktarna utgående likströmmen.

AOR (Alpha Order Rectifier):

Utsignal för styrning av likriktarnas alfa.

Simulering i EMTDC

Modellens begränsningar

Vid skapandet av modellen så begicks en del misstag som för framtida användare av EMTDC kan ha nytta av att veta.

I den del av modellen som kallas Pi ställs man inför problemet med omfattningen av elnätet. Ska man bara ta med el-förbindelsen mellan generatoren och i detta fall Baltic Cable, eller ska man utöka den till att omfatta Skåne? Kanske hela Sverige? Hur stor betydelse har nätet i Tyskland? Frågorna är flera och i många fall ganska komplicerade.

Beslut togs i början av examensarbetet att Pi skulle omfatta ungefär halva Skånes 130kV och hela 400kV-nät. Då arbetet att bygga en sådan modell är ganska omfattande, i detta fall tre veckor, bör man vara på det klara med nackdelarna med stora modeller.

- För att kunna använda fler än 20 ledningssträckor krävs att datorn som simuleringarna ska utföras på har en tämligen avancerad kompilator t.ex. Digital Fortran 90 alt. Compaq Fortran 90.
- Korta ledningssträckor kräver korta tidssteg. I vissa extrema fall krävs det att man går från 50 μ s till 1 μ s med följd att när dessa avsnitt infogas i den stora modellen måste hela modellen köras med 1 μ s tidssteg. För att få en acceptabel längd på dessa simuleringar kan man få kompileringstider som mäts i tiotals minuter.

Varför väljer man då inte bara små modeller? Anledningen är som bekant att sådana modeller begränsar simuleringssmöjligheterna, möjliga testfall är begränsad och noggrannheten minskar.

När modellen var färdig dök ovan nämnda problem upp och beslut fattades att förenkla representationen av Pi avsevärt. Den nya modellen innehåller en detaljerad beskrivning av el-förbindelsen mellan Baltic Cables Sverigeanslutning och Öresundsverket. Laster som ansågs vara relevanta var Malmös, vilka infogades, medan övriga Sverige representeras av en 400kV spänningskälla med låg impedans, placerad vid Sege. Även nätet i Tyskland är en spänningskälla med låg impedans som ansluts vid länkens Tysklandsände.

Förenklingen visade sig dock vara för stor då tester började köras. Vid simulering av svagt nät sjönk spänningen avsevärt, från 400 till 320kV. För att motverka detta och öka simuleringalternativen infördes ytterligare en inmatningspunkt, i Arrie, på 130kV-nätet.

Det troliga resultatet av förenklingen av Pi är att påverkan på slutresultatet är liten, medan vinsten i förkortad simuleringstid är avsevärt större.

En stor utmaning i arbetet var styrningen av Baltic Cable. Då styrenheten betraktas som företagshemlighet hos ABB så kan alltså en sådan inte vara med i ett examensarbete. Ett alternativ är att inhandla en färdig EMTDC modell av ABB men detta innebär en avsevärd summa pengar. Med bakgrund av detta har möjligheten till styrning av kabeln minskat avsevärt eftersom uppbyggnad och styrning av en HVDC är ett examensarbete i sig. I modellen finns nu ingen möjlighet att vända effektriktningen, utan två separata modeller med olika effektriktningar har använts. Vad har då effekten av denna åtgärd på resultatet?

Vid normal drift rampar kabeln med en hastighet av 30MW/min och bidraget till SSR är obefintligt. När sedan även simuleringstiderna mycket sällan sträcker sig över några sekunder är begränsningen i effektriktning ett ringa problem. Vad som istället är intressant är de tillfällen när kabeln kan bidra till torsionssvängningar. Som tidigare sagts är det huvudsakligen transienta strömmar som antagligen kommer att påverka generatoraxlarna i Öresundsverket. I de simuleringsfall där Baltic Cable kan vara upphovet till de transienta strömmarna, kommer anledningen att vara följande:

- Tyristorfel.
- Snabba effektförändringar från något driftläge till noll. Dvs. en avstängning av kabeln.
- Kortslutning på den tyska sidan.

Då inget av dessa fel kommer att påverkas av att man inte kan ändra effektriktningen under simulering, bör inte resultatet bli annorlunda mot en fullt styrbar kabel.

Några parametrar i modellen kommer att ha större inverkan än andra. Särskilt data till generatorerna, turbinerna och de tillhörande axlarna kommer att vara viktiga. Tyvärr så är det i dagsläget inte bestämt vem som ska förse verket med denna utrustning vilket har lett till en del problem. En förfrågan skickades till tänkta tillverkare, Siemens och Alstom om tekniska data för 250 och 150MW's lösningar. Då enbart Siemens svarade har deras data använts. Problemet man nu ställs inför är hur stor skillnad det blir på resultatet om andra maskiner används än de som Siemens skickade data för? Då det krävs stor erfarenhet att själv ändra data i aggregaten och fortfarande få ett giltigt svar har inga andra lösningar än Siemens studerats.

Några data som dock var tvunget att ändras var axelns fjäderkonstanter. Trots ihärdig kontakt med Siemens i Tyskland och de i sin tur med undertillverkare kunde inga sådana värden erhållas. Fjäderkonstanterna har därmed tagits fram med kvalificerade gissningar från andra exempel, vilket kan ha påverkan på modellen.

I avsnittet **Indata** diskuterades att spänningskällan som representerade Barsebäck togs bort då modellen blev instabil. Orsaken till detta var att spänningsvinklarna inte tagits med i beräkningarna. Tyvärr uppdagades inte misstaget att Barsebäck nu kunde tas med i modellen förrän all testning genomförts. Kompletterande testning med Barsebäck inkluderat har genomförts men resultatet har inte avvikit från de redan erhållna resultaten.

Kommer då begränsningen av modellen ge några effekter på slutresultatet? Frågan är svår att ge svar på då det enda sättet att undersöka är att utöka modell för att kunna utföra tester mot kända resultat. Förhoppningen är att modellen dock ska kunna stå sig väl mot övriga modeller.

Simuleringar

En mängd simuleringar för olika fall utfördes. Som grund för testerna användes följande:

- Normaltillstånd.
- Kommuteringsfel.
- Rampning.
- Jordfel.

Detta är bara grunden i testerna, förändringar som högt/normalt lastat nät, överföring till/från Sverige etc. användes för att testa de viktigaste scenarierna. Ett ord som förekommer vid testerna om kommuteringsfel är bypass pair. Detta innebär att två tyristorer som är kopplade till samma fas leder hela tiden, medan övriga tyristorer inte tänds.

Nedan ses det protokoll som användes för att logga simuleringarna, samtliga kan ses i bilaga 2.

Testfallsnummer: Nummer för det specifika fallet.

Scenario: Eventuella fel på Baltic Cable eller nätet som kan påverka axlarna. Om inget annat anges så förutsätts normallast och inga övriga störningar.

Driftläge Baltic Cable: Anger hur länken körs, aspekter som matning, effekter etc. skrivs här.

Anmärkningar: Eventuella anmärkningar.

Resultat: Om något anmärkningsvärt inträffar, i annat fall skrivs inget.

För att förenkla proceduren att finna det testfall man är intresserad av har varje testfall kodats med sju siffror. Varje siffra specificerar sen olika driftlägen enligt nedan.

Första siffran i koden, nätbelastning.

1-----	Högt lastat nät.
2-----	Normalt lastat nät.

Andra siffran i koden, Baltic Cable.

-1-----	Baltic Cable matar till Sverige.
-2-----	Baltic Cable matar till Tyskland.

Tredje siffran i koden, filter.

--0----	Normalt fungerande filter.
--1----	Filterbortfall på svensk sida.

Fjärde siffran i koden, nätstörningar.

---0---	Inget fel.
---1---	Enfasfel till jord.
---2---	Tvåfasfel.
---3---	Tvåfasfel till jord.
---4---	Trefasfel.
---5---	Trefasfel till jord.
---6---	Dubbla enfasfel till jord.
---7---	Tillkoppling av ledning.

Femte siffran i koden, störningar från Baltic Cable.

----0--	Inget fel.
----1--	Återkommande tyristorfel
----2--	Encykligt tyristorfel.
----3--	Bypass pair
----4--	Encykligt bypass pair
----5--	Rampning 5000MW/s
----6--	Rampning 3000MW/s
----7--	0.1 Hz frekvensskillnad mellan näten.
----8--	0.3 Hz frekvensskillnad mellan näten.
----9--	0.5 Hz frekvensskillnad mellan näten.

Sjätte och sjunde siffran, geografisk placering på felet.

----00	Ingen specifik plats.
----01	Likriktarstationen
----02	Växelriktarstationen
----03	Mellan 150MW-aggregatet och trafo.
----04	Mellan 250MW-aggregatet och trafo.
----05	Vid ÖVTs 130kV-ställverk.
----06	Vid Seges 130kV-ställverk.
----07	Vid Seges 400kV-ställverk.
----08	Vid Herrenwyks 400kV-ställverk.
----XX	Kombination av två ställen.

I följande register kan man med hjälp av koden ovan snabbt se vilket testfall man ska titta på.

Kod	Testfall
1100000	1
1100101	5
1100102	3
1100201	6
1100202	4
1100301	21
1100302	19
1100401	22
1100402	20
1100500	35
1100600	37
1100700	111
1100800	112
1100900	113
1101003	43
1101004	48
1101005	53
1101006	58
1101007	63
1101008	68
1102003	42
1102004	47
1102005	52
1102006	57
1102007	62
1102008	67
1103003	41
1103004	46
1103005	51
1103006	56
1103007	61
1103008	66
1104003	40
1104004	45
1104005	50
1104006	55
1104007	60
1104008	65
1105003	39
1105004	44
1105005	49

1105006	54
1105007	59
1105008	64
1106056	99
1106067	100
1110000	118
1110101	105
1110102	103
1110201	106
1110202	104
1200000	2
1200101	13
1200102	11
1200201	14
1200202	12
1200301	29
1200302	27
1200401	30
1200402	28
2100000	119
2100101	9
2100102	7
2100201	10
2100202	8
2100301	25
2100302	23
2100401	26
2100402	24
2100500	36
2100600	38
2100700	114
2100800	115
2100900	116
2101003	73
2101004	78
2101005	83
2101006	88
2101007	93
2101008	98
2102003	72
2102004	77
2102005	82

2102006	87
2102007	92
2102008	97
2103003	71
2103004	76
2103005	81
2103006	86
2103007	91
2103008	96
2104003	70
2104004	75
2104005	80
2104006	85
2104007	90
2104008	95
2105003	69
2105004	74
2105005	79
2105006	84
2105007	89
2105008	94
2106056	101
2106067	102
2107007	117
2110000	121
2110101	109
2110102	107
2110201	110
2110202	108
2200000	120
2200101	17
2200102	15
2200201	18
2200202	16
2200301	33
2200302	31
2200401	34
2200402	32

Resultat

Resultat i EMTDC

Innan simuleringarna startade uppskattades att endast ett av SSR-fallen, som nämns i avsnittet **Subsynkron resonans**, skulle vara aktuellt, nämligen transienta axelpåkänningar. Eftersom inga seriekopplade kondensatorer finns elektriskt nära borde inte de andra två fallen komma i fråga och det är vad modellen visar. Generatoraxlarna utsätts för kraftiga påkänningar men eftersom dessa är av likströmskaraktär dör transienterna ut, bestående torsionssvängningar observerades dock.

Det är nu viktigt att påpeka en sak, nämligen att torsionssvängningarna som kvarstod aldrig ökade i magnitud! Ökande torsionssvängningar är det man är mest rädd för, medan kvarstående bör diskuteras. För frågan är nu alltså om dessa svängningar är tillräckligt stora för att vara farliga?

Vid tillverkning av generatorer så dimensioneras dessa alltid för att klara s.k. klämshortslutning, en kortslutning direkt i anslutning till maskinen. Ett rimligt antagande är då att även andra komponenter i aggregatet är dimensionerade på samma sätt. I förhållande till klämshortslutning är fel på nätet, som i denna rapport, mindre allvarligt. Alltså borde aggregatet klara svängningarna som uppstår av felströmmar. De bör sedan dö ut eftersom varje aggregat är konstruerat med negativ förstärkningskoefficient, d.v.s. att axeln är till viss grad självdämpande.

Det bör tilläggas att olika situationer och driftlägen på nätet påverkar resultatet. Ett trefasfel till jord ger större påverkan på ÖVT's axlar än ett enfas, ett högre belastat nät ger mindre påverkan än ett normalt då induktansen i ledningarna sjunker och naturligtvis påverkar avståndet mellan fel och ÖVT.

Grafer

Samtliga grafer från testerna finns inte representerade i rapporten då de flesta ser identiska ut, nämligen ingen påverkan kan ses. Istället har ett fåtal valts ut för att representera ytterligheterna. Övriga grafer finns tillgängliga om så önskas.

Man bör inte se graferna som ett absolut svar utan mer som en fingervisning i diskussionen om uppkomst av SSR p.g.a. Baltic Cable.

För utseende av aggregaten se bild 6b i avsnittet **Modellen**.

Det graferna visar är det elektriska momentet på generatorerna och momentet mellan delarna på axlarna i aggregaten. Samtliga y-axlar är graderade i p.u. och x-axeln sträcker sig från 1.4 till 2.5 sekunder. Eventuella fel inträffar efter 1.5 sekunders normaldrift. Anledningen till steget i graferna b, e och f är att modellen med turbinerna kopplas in vid 1.49 sekunder, strax innan eventuellt fel.

Första exemplet är testfall 119, ett fall för att visa graferna (se fig.15) på en opåverkad modell.

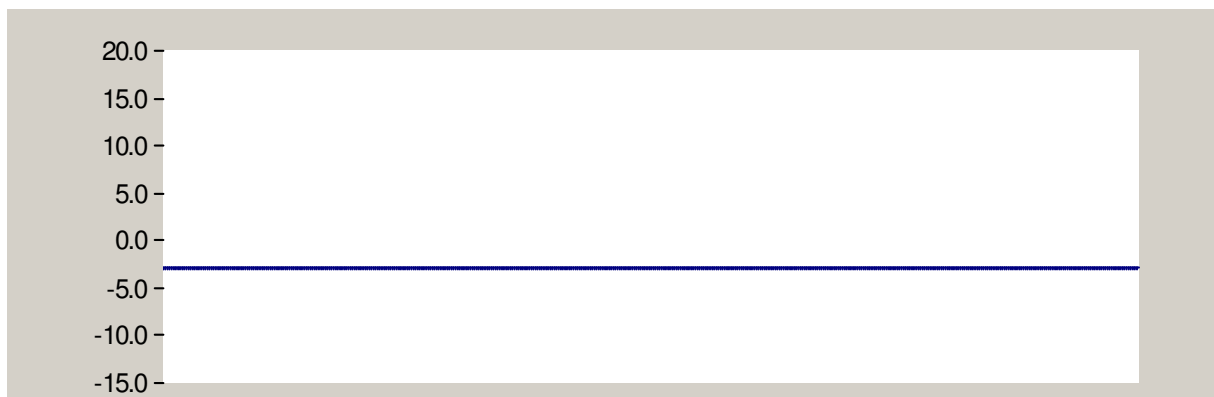


Fig. 15a. 250MW-generatorns elektriska moment.

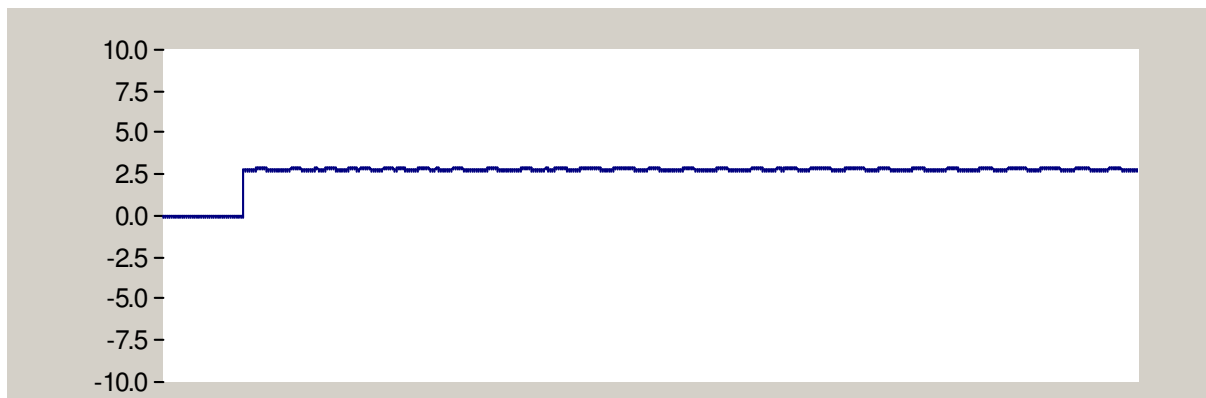


Fig. 15b. Momentet mellan turbinen och 250MW-generatorn.

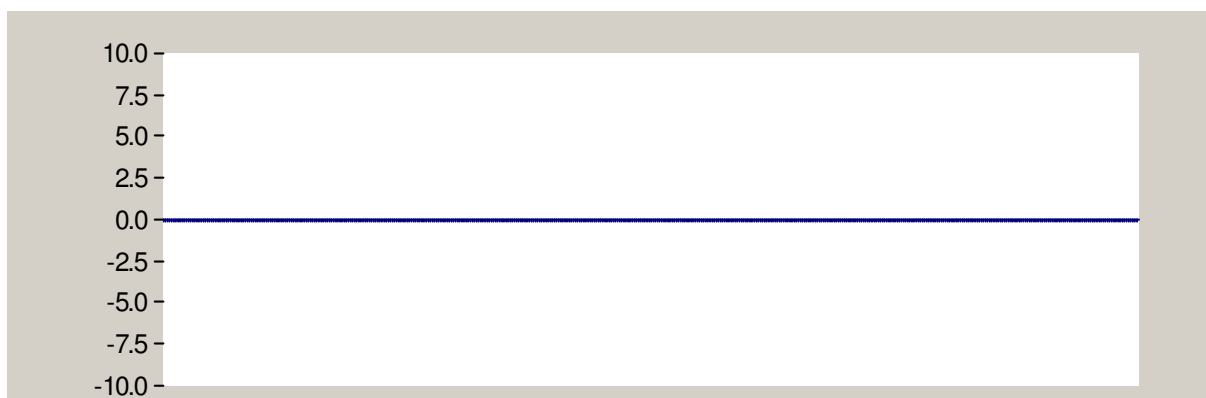


Fig. 15c. Momentet mellan mataren och 250MW-generatorn.

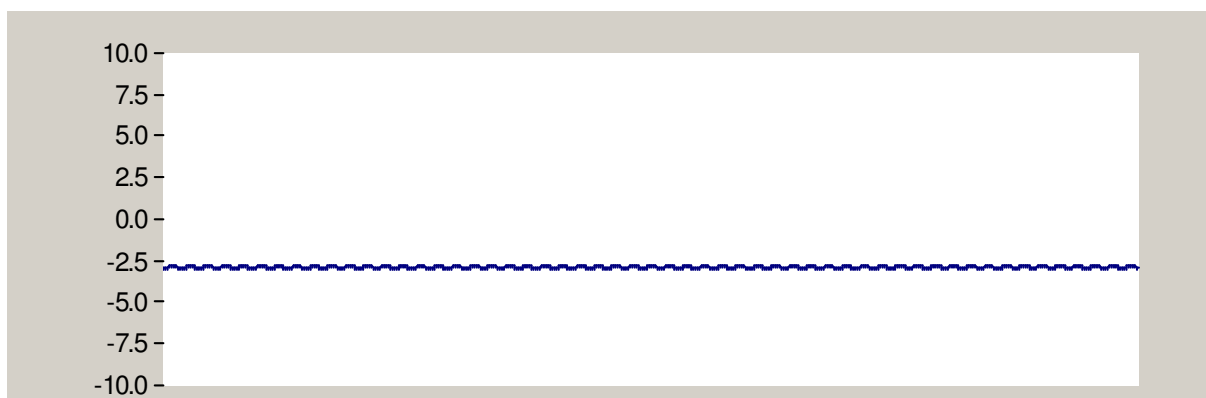


Fig. 15d. 150MW-generatorns elektriska moment.

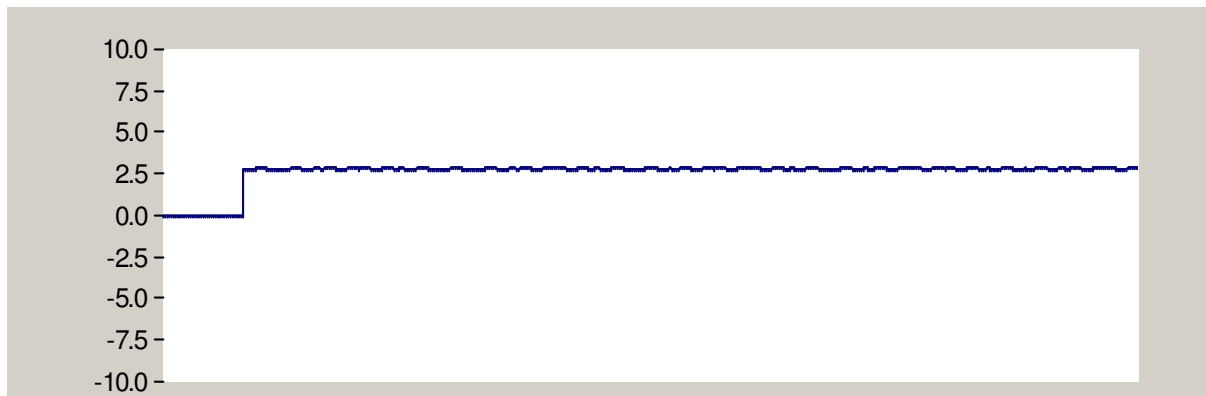


Fig. 15e. Momentet mellan turbinen och 150MW-generatorn.

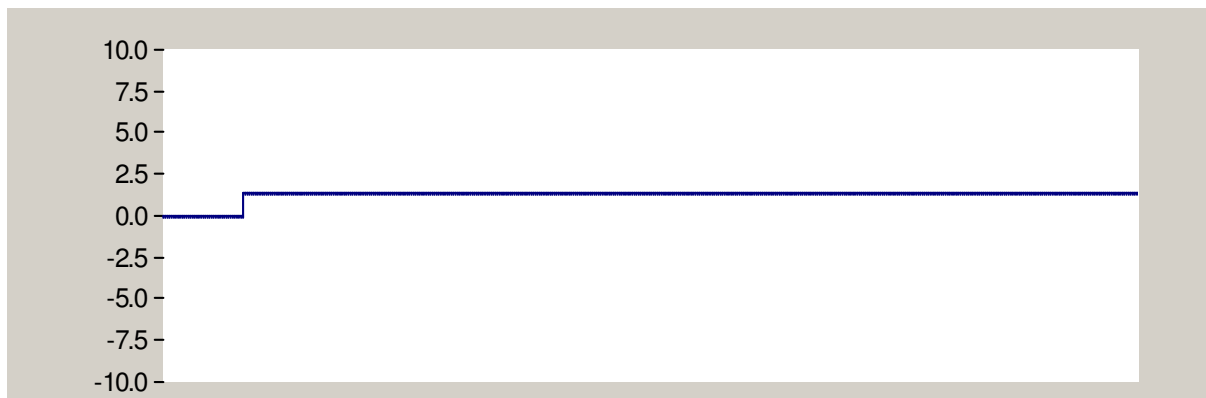


Fig. 15f. Momentet mellan turbinerna i 150MW-aggregatet.

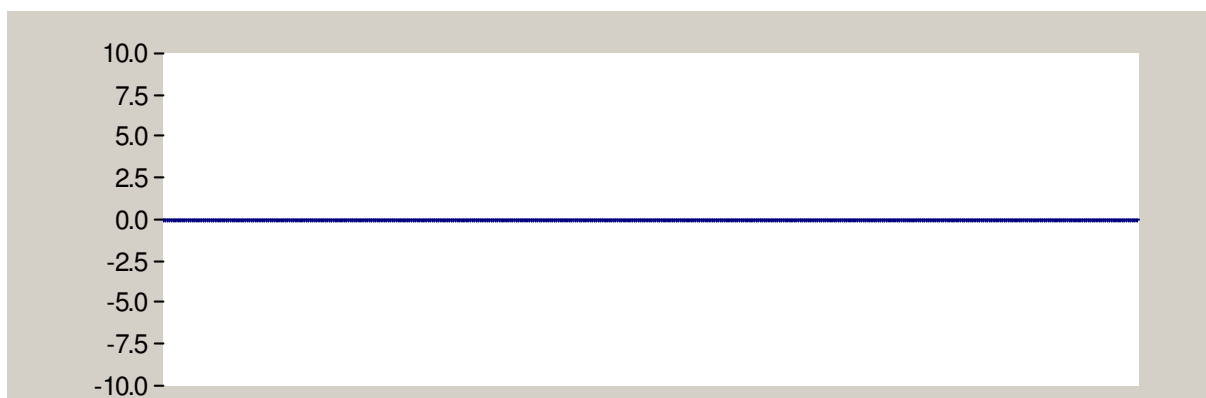


Fig. 15g. Momentet mellan mataren och 150MW-generatorn.

Andra exemplet är testfall 38, en snabb neddrampning på 3000MW/s, där en ytterst liten synbar påverkan kan skönjas (se fig.16).

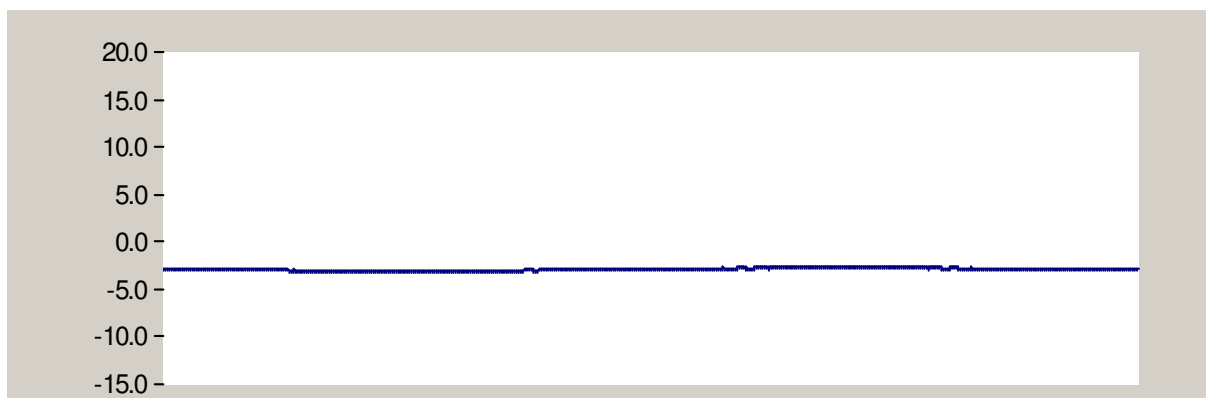


Fig. 16a. 250MW-generatorns elektriska moment.

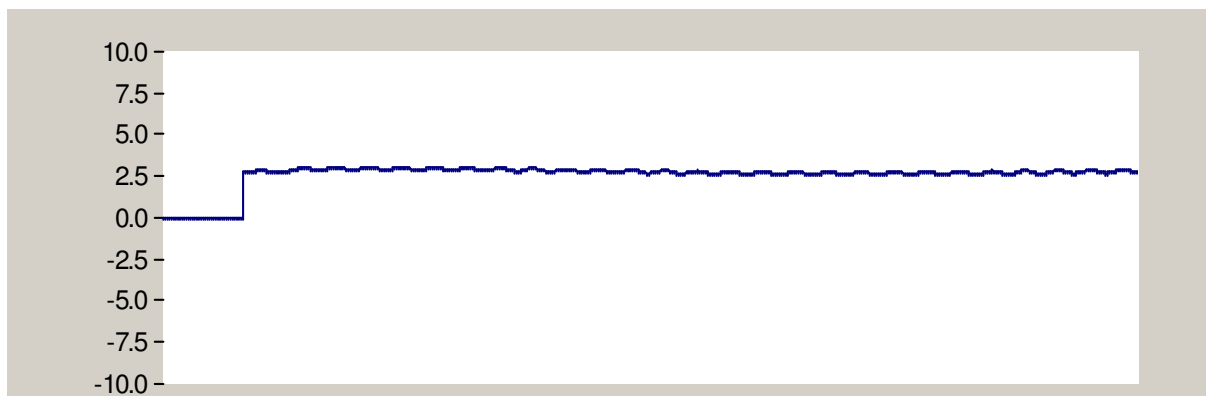


Fig. 16b. Momentet mellan turbinen och 250MW-generatorn.

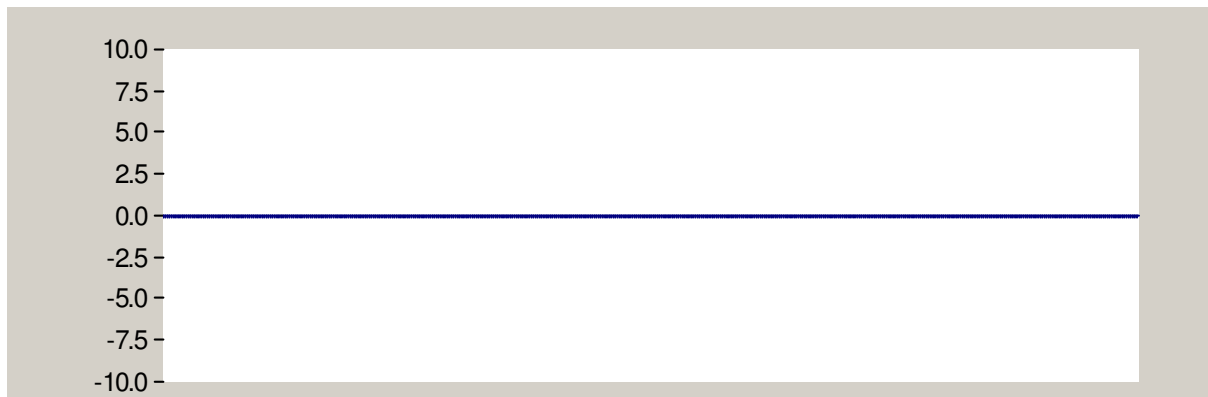


Fig. 16c. Momentet mellan mataren och 250MW-generatorn.

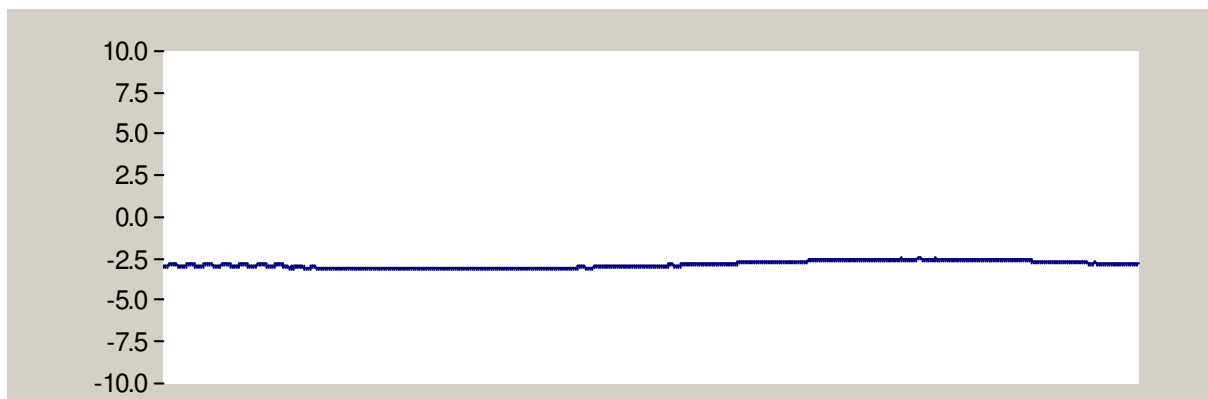


Fig. 16d. 150MW-generatorns elektriska moment.

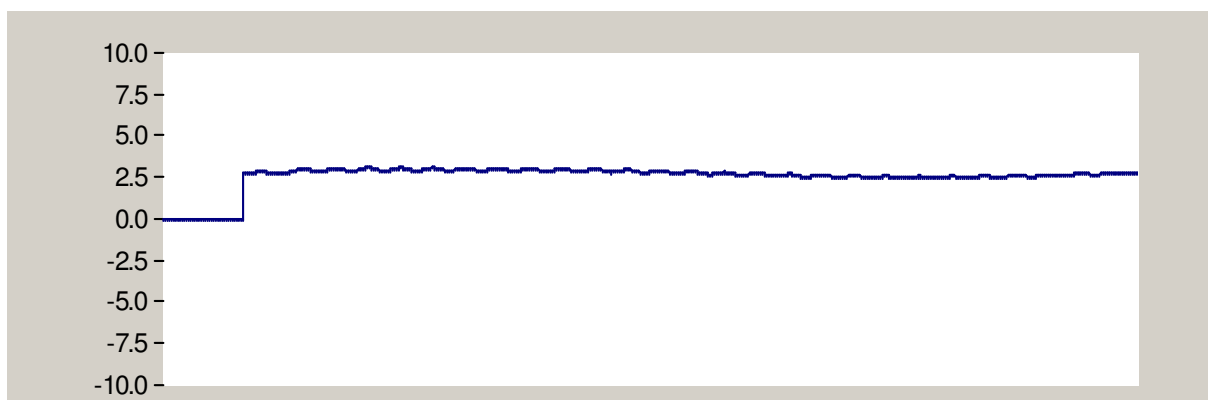


Fig. 16e. Momentet mellan turbinen och 150MW-generatorn.

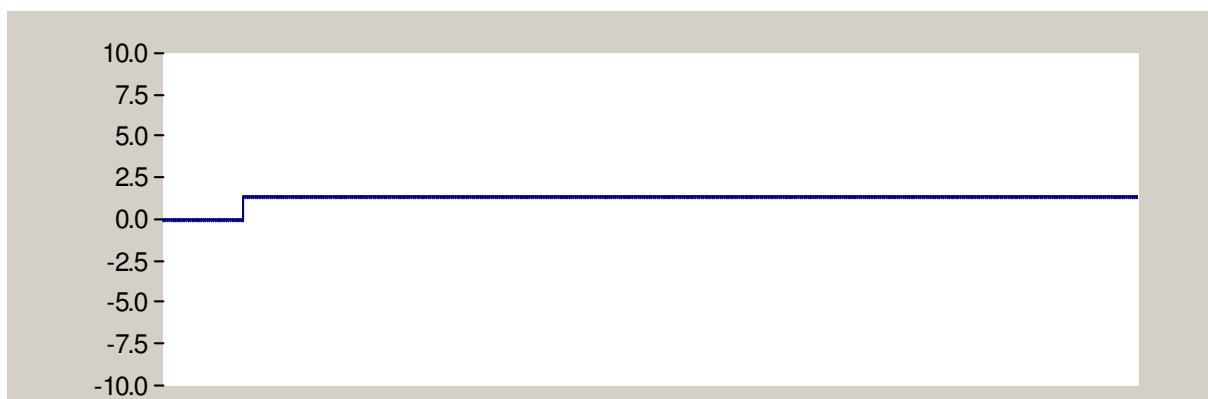


Fig. 16f. Momentet mellan turbinerna i 150MW-aggregatet.

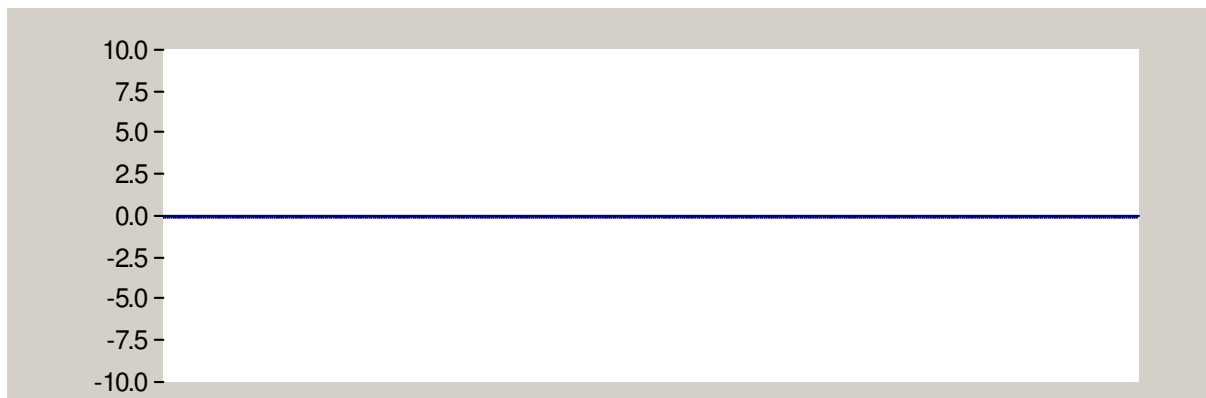


Fig. 16g. Momentet mellan mataren och 150MW-generatorn.

Tredje exemplet är testfall 107, ett återkommande tyristorfel vid växelriktarstationen med samtidigt filterbortfall, där en liten synbar påverkan kan skönjas (se fig.17).

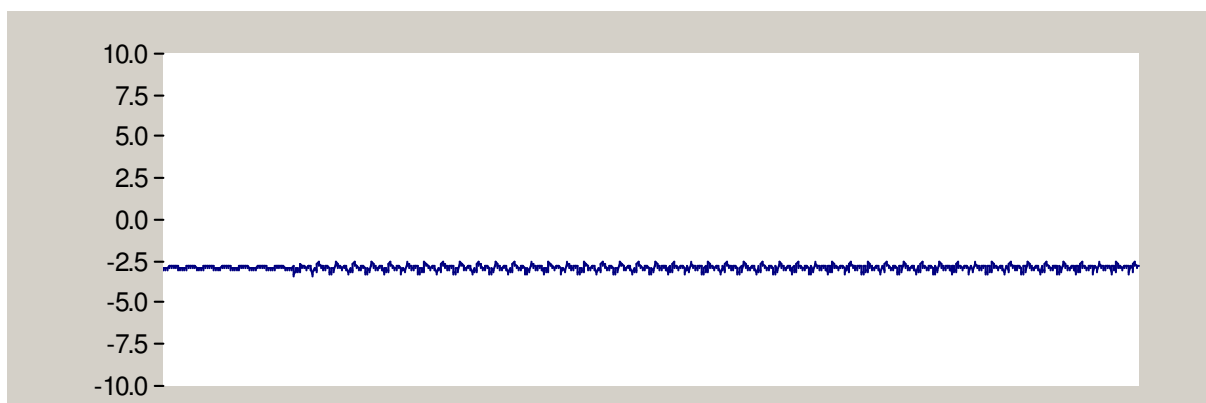


Fig. 17a. 250MW-generators elektriska moment.

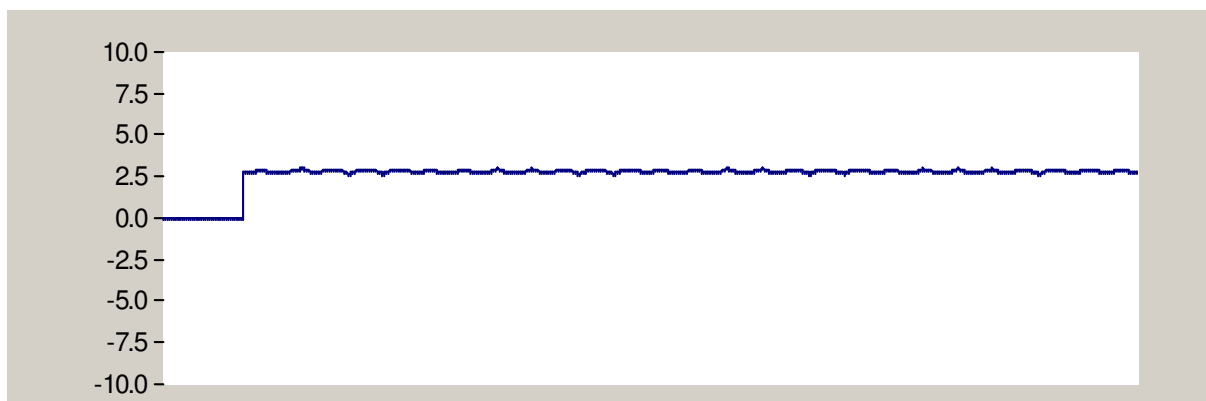


Fig. 17b. Momentet mellan turbinen och 250MW-generatorn.

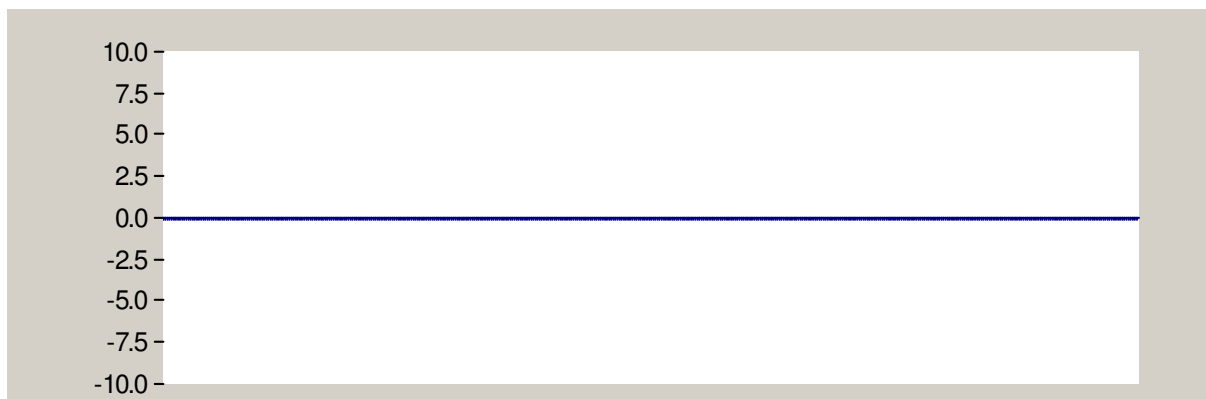


Fig. 17c. Momentet mellan mataren och 250MW-generatorn.

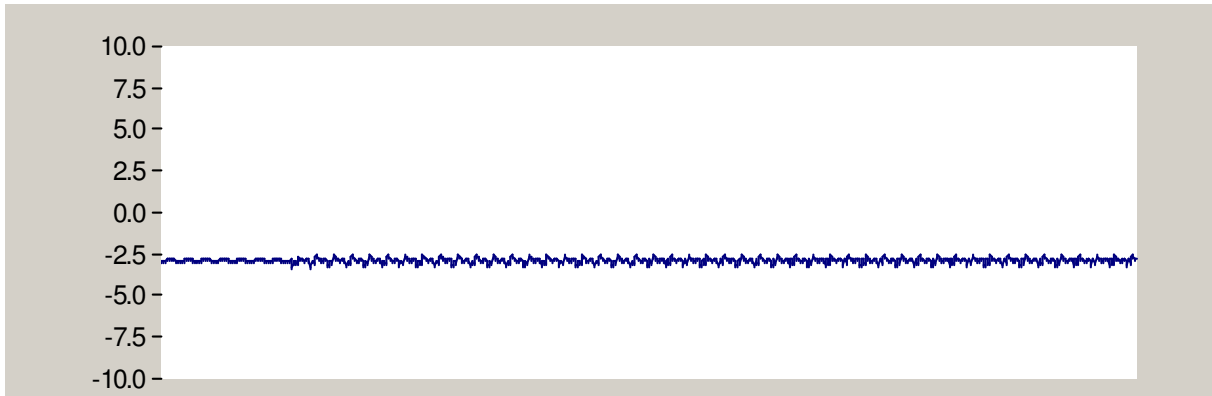


Fig. 17d. 150MW-generatorns elektriska moment.

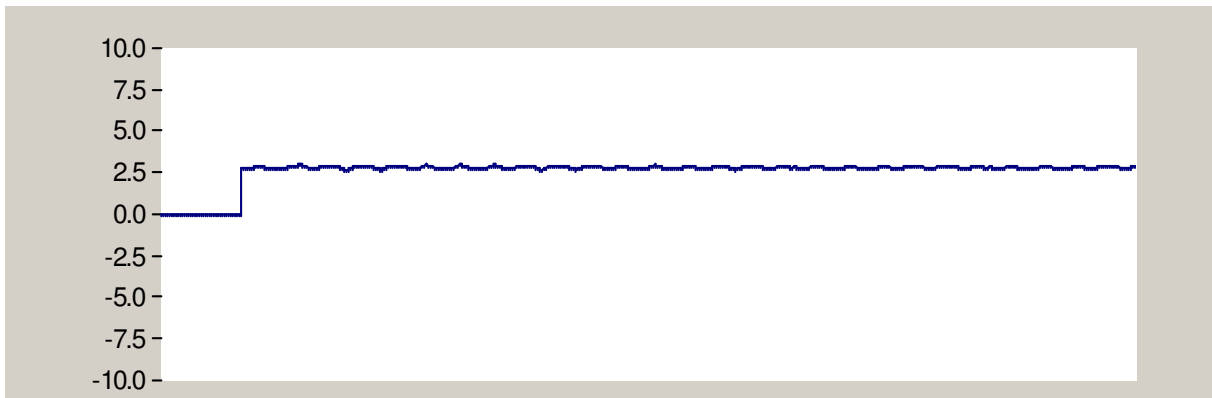


Fig. 17e. Momentet mellan turbinen och 150MW-generatorn.

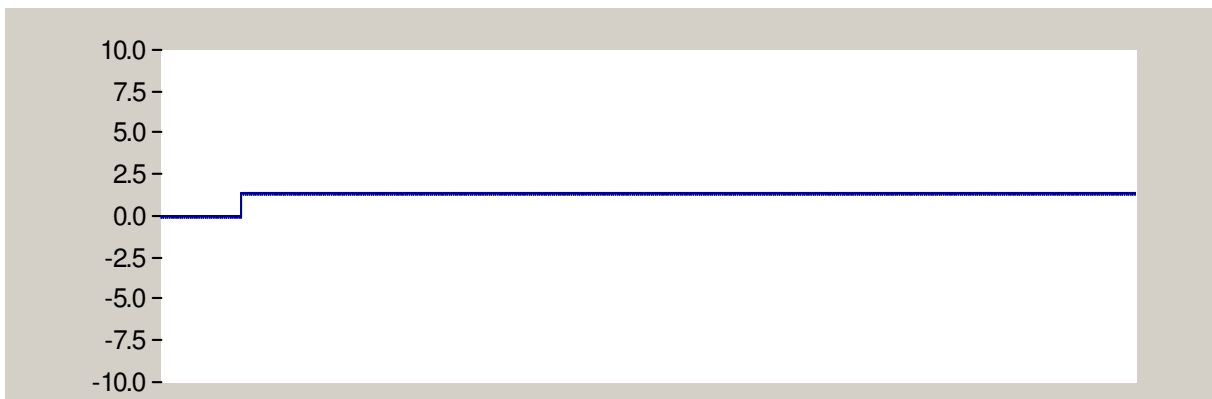


Fig. 17f. Momentet mellan turbinerna i 150MW-aggregatet.

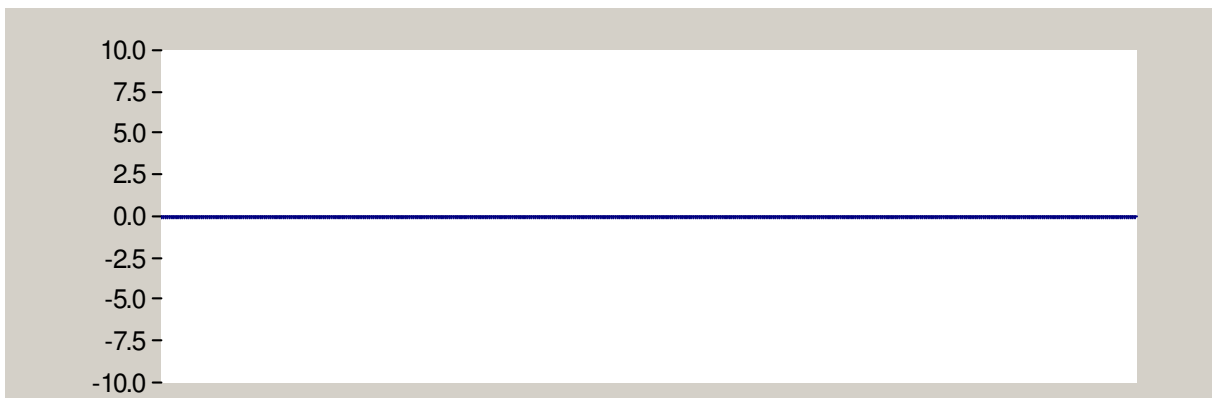


Fig. 17g. Momentet mellan mataren och 150MW-generatorn.

Fjärde exemplet är testfall 92, ett tvåfasfel vid 400kV-ställverket i Sege, där en kraftig synbar påverkan kan ses (se fig.18). Pendlingarnas frekvenser är 3 respektive 28Hz.

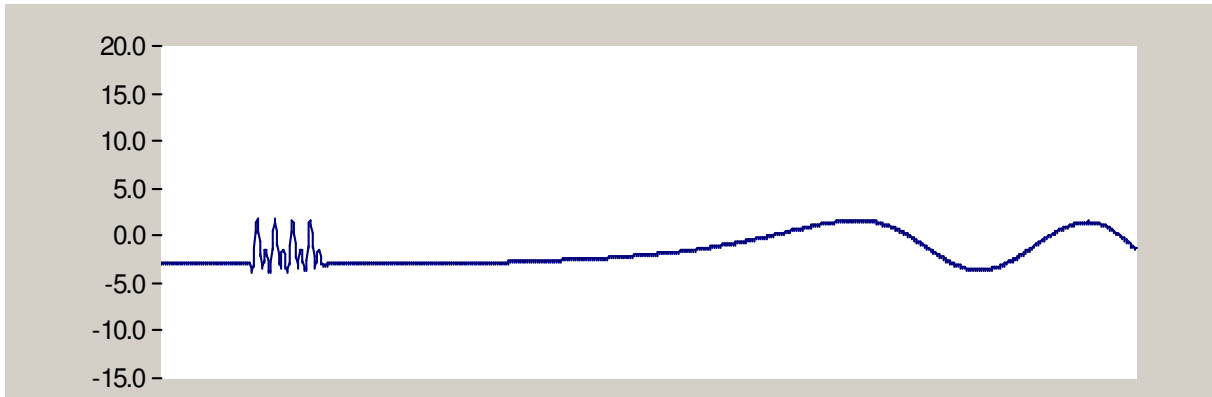


Fig. 18a. 250MW-generatorns elektriska moment.

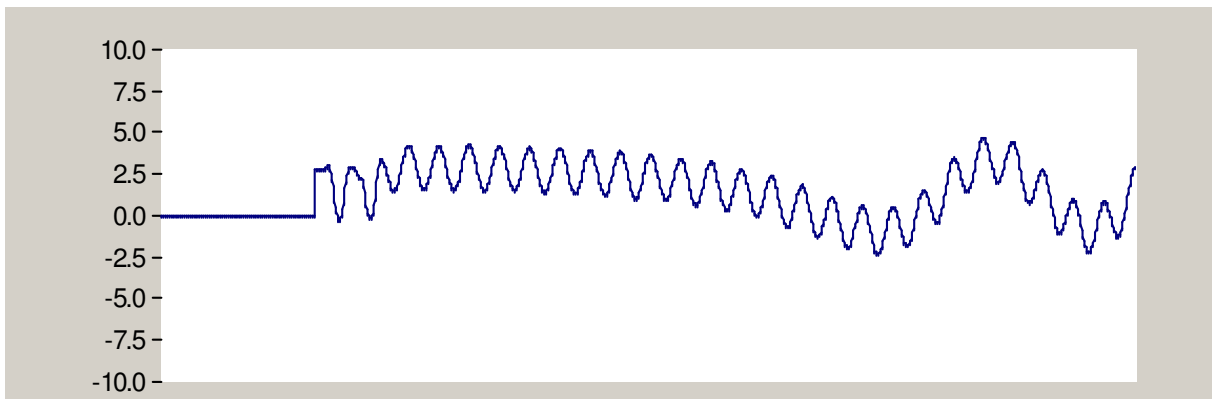


Fig. 18b. Momentet mellan turbinen och 250MW-generatorn.

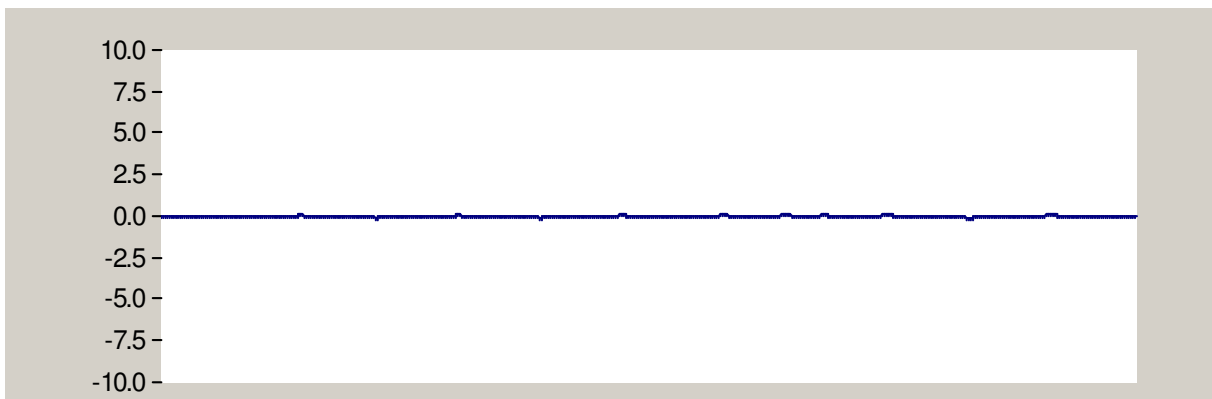


Fig. 18c. Momentet mellan mataren och 250MW-generatorn.

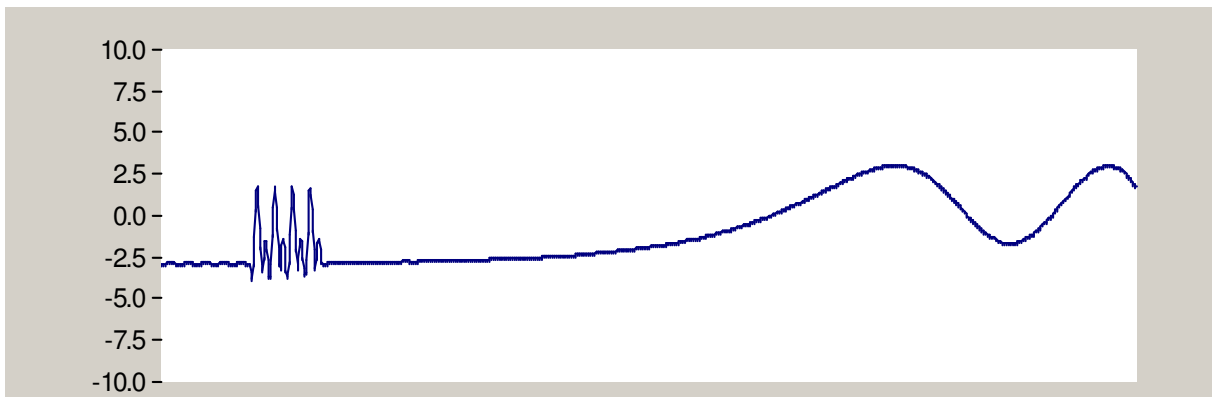


Fig. 18d. 150MW-generatorns elektriska moment.

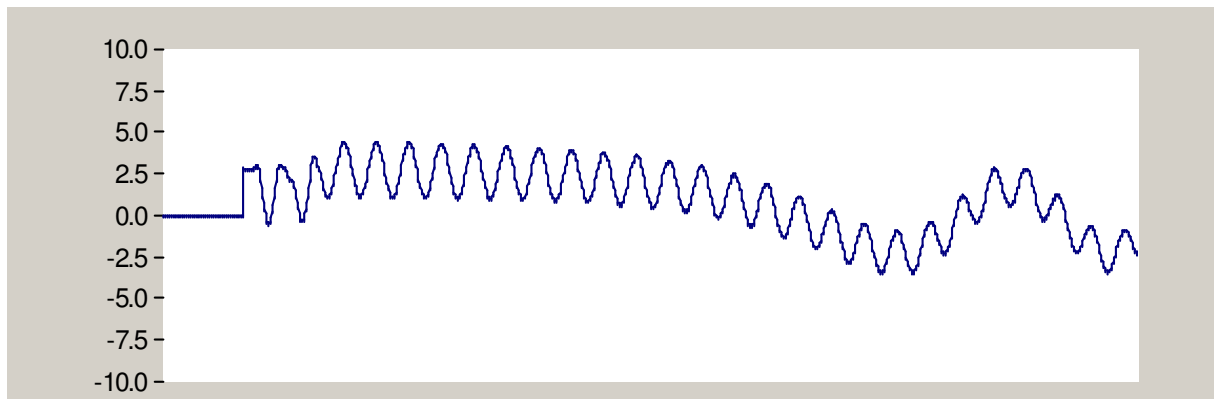


Fig. 18e. Momentet mellan turbinen och 150MW-generatorn.

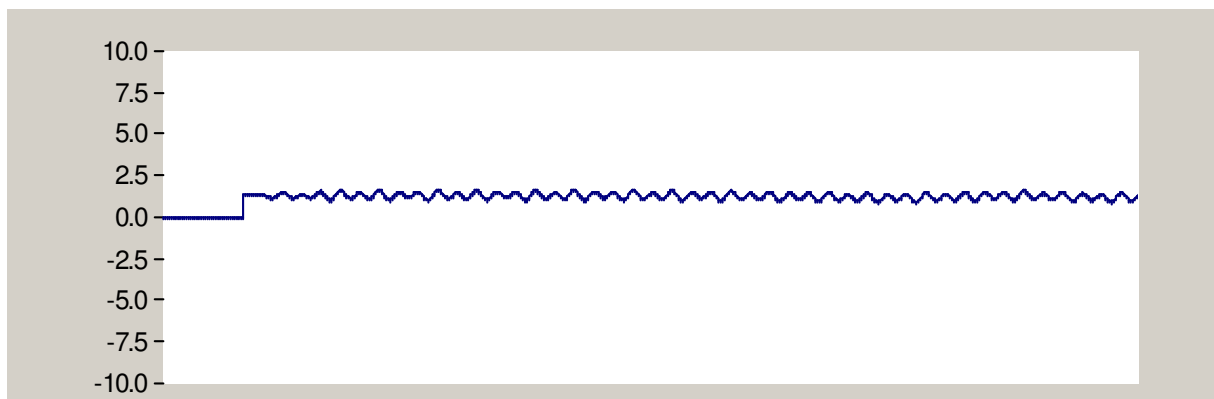


Fig. 18f. Momentet mellan turbinerna i 150MW-aggregatet.

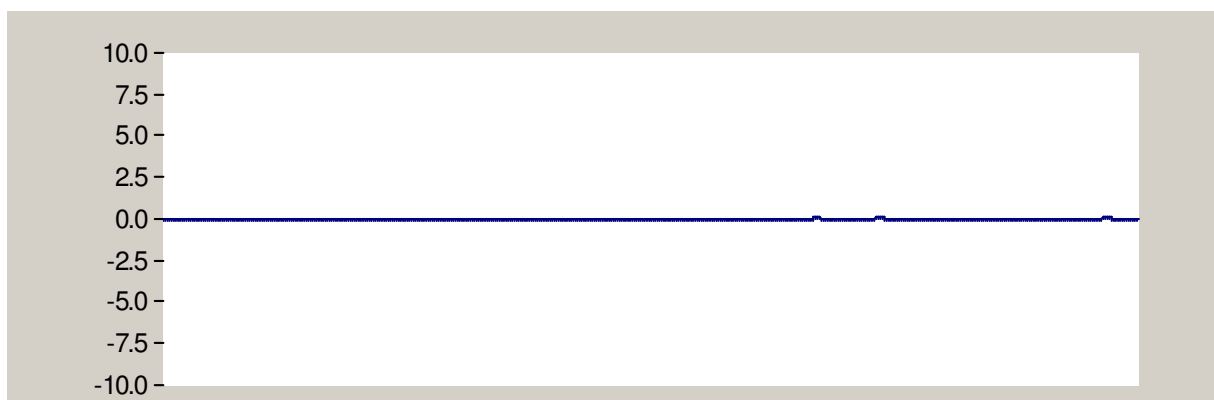


Fig. 18g. Momentet mellan mataren och 150MW-generatorn.

Det femte och sista exemplet är testfall 84, ett trefasfel till jord vid 130kV-ställverket i Sege, där en kraftig synbar påverkan kan ses (se fig.19). Pendlingarnas frekvenser är 4.5 respektive 25Hz.

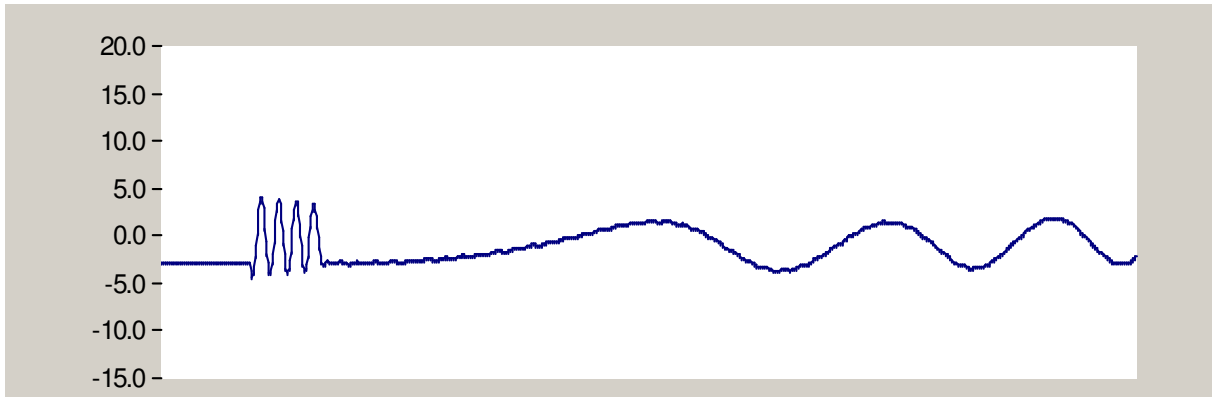


Fig. 19a. 250MW-generatorns elektriska moment.

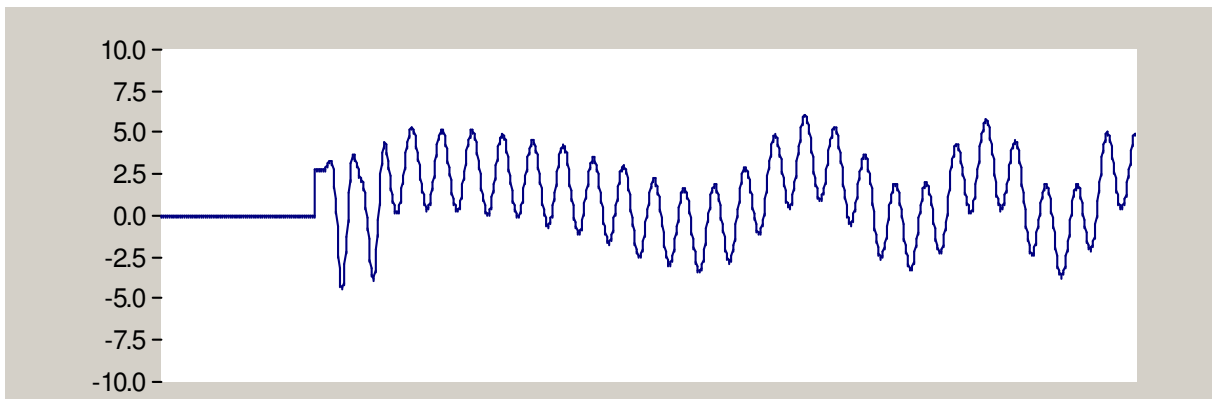


Fig. 19b. Momentet mellan turbinen och 250MW-generatorn.

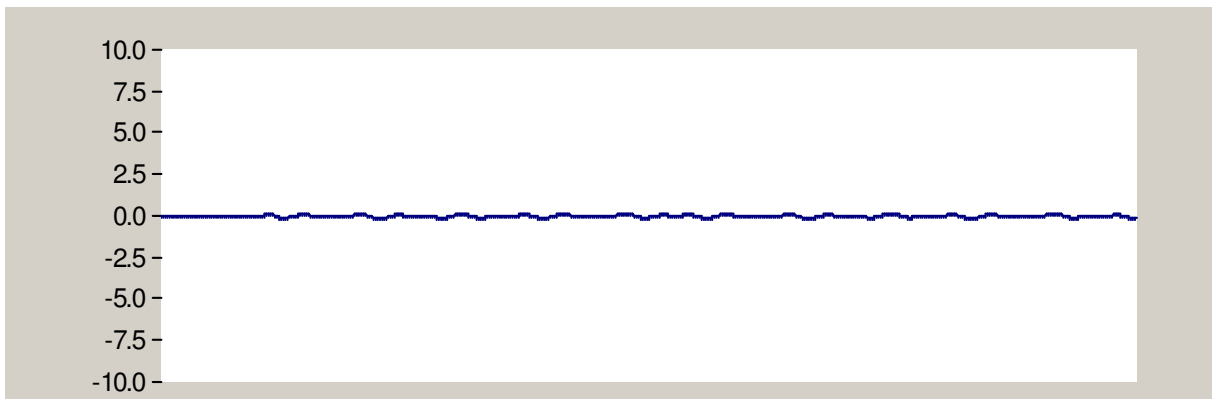


Fig. 19c. Momentet mellan mataren och 250MW-generatorn.

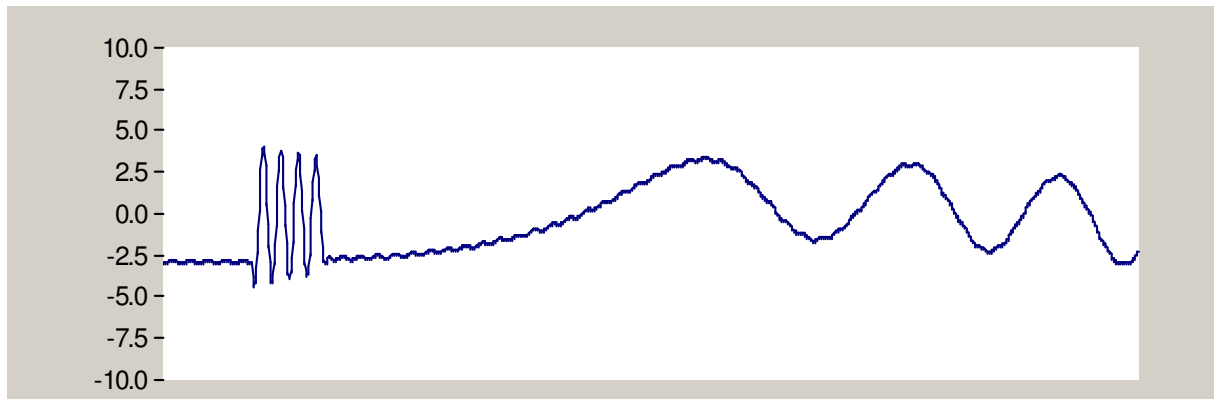


Fig. 19d. 150MW-generatorns elektriska moment.

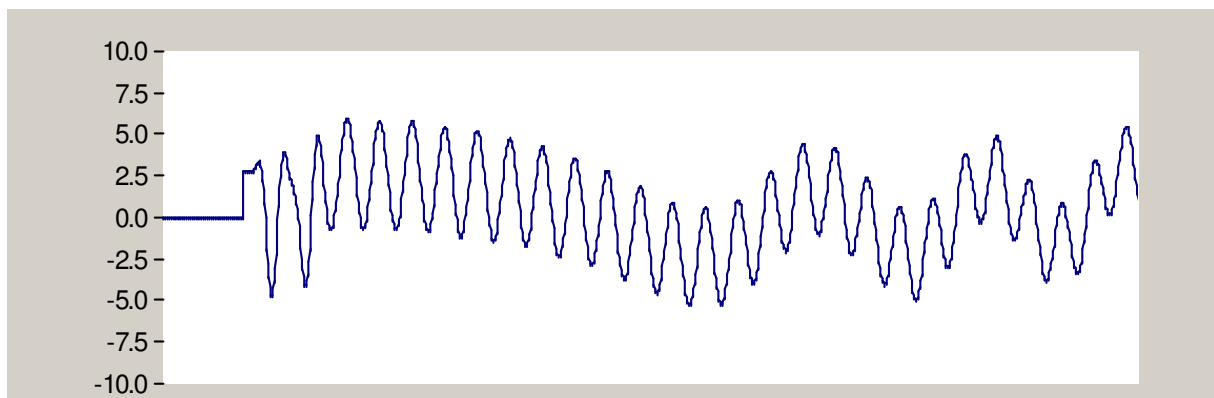


Fig. 19e. Momentet mellan turbinen och 150MW-generatorn.

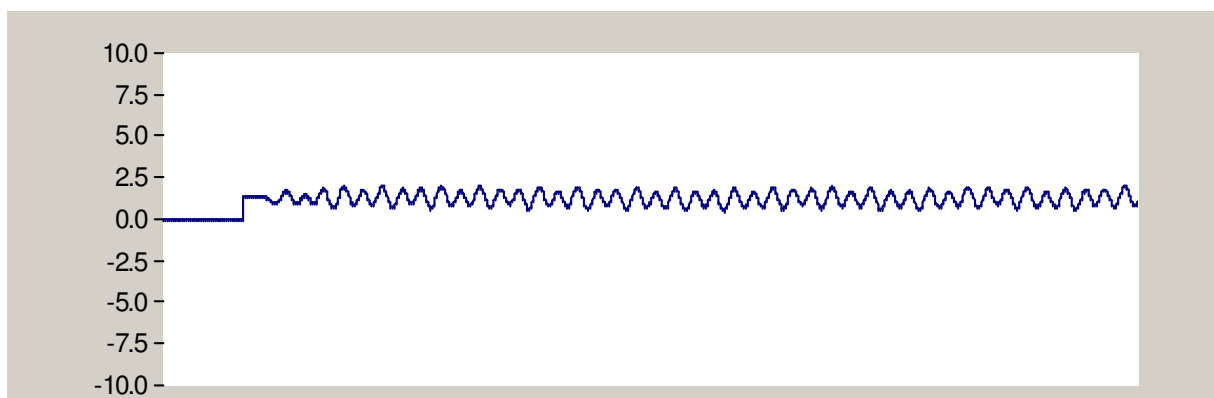


Fig. 19f. Momentet mellan turbinerna i 150MW-aggregatet.

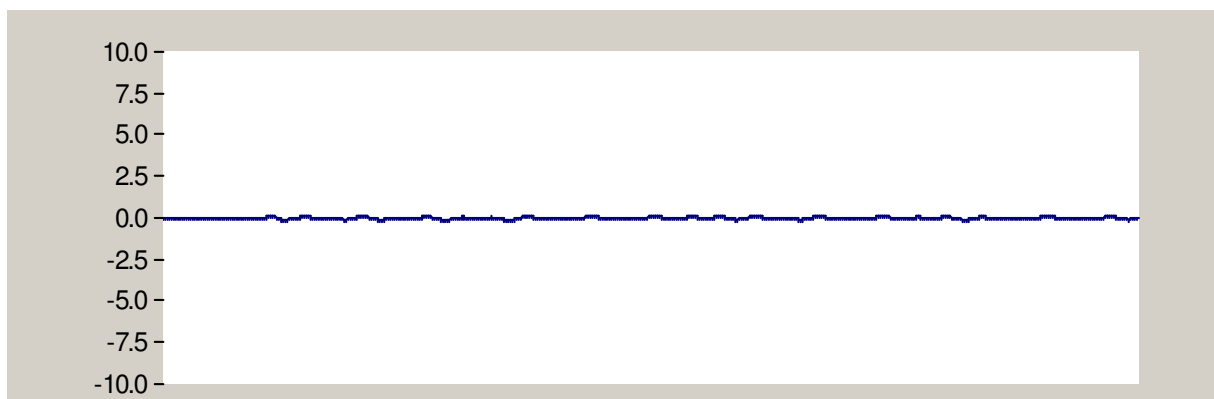


Fig. 19g. Momentet mellan mataren och 150MW-generatorn.

Resultaten pekar på att Baltic Cable ligger elektriskt för långt bort från ÖVT för att påverka det i någon större utsträckning. Jordfel kommer med största sannolikhet att vara en mycket större källa för axelpåkänningar, både i storlek och i antal.

Diskussion om resultat

Det erhållna resultatet, d.v.s. att Öresundsverket troligtvis inte kommer att påverkas av Baltic Cable, kan vid en början te sig märkligt. Särskilt om man betänker att det tidigare nämnts att Barsebäck har haft torsionssvängningar med Baltic Cable som sannolik källa till problemet. Det märkliga i detta grundas på att Barsebäck ligger betydligt längre från länken än vad Öresundsverket kommer att göra.

För att få rätsida på problemet behöver man se till de elektriska avstånden mellan verken och länken. Barsebäck och Arie är sammankopplade med en 400kV ledning, en relativt kort väg i den elektriska världen. Öresundsverket å andra sidan är förbundet med 400kV mellan Arrie och Sege, därefter med 130kV, vilket gör att det elektriska avståndet blir betydligt större.

Nedan är en tabell som visar linjesträckningarna som är inblandade med Sege till Öresundsverket på 400kV-bas nederst.

Sträcka	Bas	Z (Ω /Fas)	Avstånd (km)
AIE-SEE	@400kV	4.91	16.9
SEE-BBK	@400kV	7.84	25.2
SEE-ÖVT	@130kV	1.35	3.5
SEE-ÖVT	@400kV	12.82	41.2

I tabellen ser man att det geografiska avståndet mellan Sege och ÖVT är 3.5km. Efter omvandling till gemensam bas med 400kV-nätet har det fiktiva geografiska avståndet ökat till 41.2km, alltså en markant skillnad mot Barsebäcks 25.2km (se fig.20).

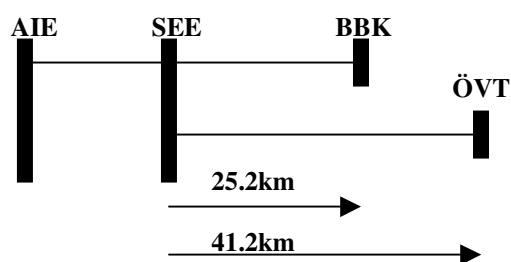


Fig. 20. Avstånd i den elektriska världen.

En annan anledning till större påkänning i Barsebäck är dess långa axel, ju längre axel desto känsligare är man för påkänningar.

Slutsats

Problem som kan uppstå

Vad har då dessa simuleringar gett oss för svar? Till att börja med verkar det som om Baltic Cable kommer att ha ringa inverkan på uppkomsten av SSR på Öresundsverket. Man måste dock ha en sak i åtanke, det att modellen inte på långa vägar är perfekt eller fullständig. Annan utformning av verket vad det gäller generatorer, turbiner och SSR-dämpande utrustning kan ge andra utslag än de som erhöles i denna studie. Det rekommenderas att man utför nya simuleringar när den slutgiltiga utformningen är bestämd.

Enligt min bedömning av resultaten är det transienta strömmar på nätet som kommer att ge störst påverkan på generatoraxeln. Risken för självsvängning borde vara liten då de transienta strömmarna är av likströmskaraktär och kommer att dö ut snabbt, dessutom ska aggregaten vara dimensionerade för att klara dylika fel. Ett fel på Baltic Cable som skulle kunna leda till en allvarlig situation är återkommande tyristorfel. Om det återkommande felet skulle överensstämma med axelns egenfrekvens finns grunden för en allvarlig situation. Men återigen, det elektriska avståndet verkar vara för stort för att Öresundsverket skulle drabbas om ett sådant fel skulle uppstå.

Man bör ha i åtanke att ÖVT med största sannolikhet kommer att ha torsionspåkänningar på axlarna som i längden kan leda till skador. Simuleringarna visar dock att det kommer att vara kortslutningar i nätet som i stort kommer att vara upphov till dessa, inte Baltic Cable.

Vad bör man välja för lösning

Då inget av testfallen gett växande torsionssvängningar borde den testade lösningen kunna användas. Givetvis kommer svagare konstruktioner ta mer skada vid transienta påkänningar men detta fenomen är ju som bekant känt sedan tidigare.

Det måste dock sägas att även om några olika aggregatslösningar har testats så är detta ingen garanti att man alltid är säker. Små förändringar i material, längd på axeln, driftfördelning mellan turbiner, vikt på generatorer/turbiner, etc. leder till nya egenskaper och egenfrekvenser. Det rekommenderas starkt att nya tester utförs när det slutgiltigt bestämts vilken lösning som ska användas.

Giltighet

En viktig aspekt är hur pass giltiga resultaten är, vilka beslut som kan fattas med rapporten som grund. När den skrevs så var Öresundsverket ännu bara på planeringsstadiet, inga beslut hade fattats angående maskiner, generatorer etc. Då generatoraxelns längd och utformning är avgörande för uppkomsten av SSR måste man ha följande i åtanke.

Resultaten i rapporten bör endast ses som en indikation angående SSR. Ytterligare simuleringar med exakta värden bör utföras när det står klart vilken apparatur som ska användas.

Svar på problemställningen

- *Beskriva SSR ur allmän synpunkt kopplat till långa axlar tillhörande generator/turbin och HVDC-länkar.*

SSR ur traditionell synvinkel, den där ökande svängningar på axeln orsakar brott, kan uppstå av olika anledningar. Gemensamt för dessa är närliggande seriekopplade kondensatorer, vilka kan medföra ett svängande nät. Det är denna svängning som kan överföras till långa axlar som i sin tur drabbas av SSR. Se avsnitt **Subsynkron resonans**.

- *Studera information/utförda mätningar kring nuvarande risker för SSR med Baltic Cable länken och Barsebäck.*

Utförda mätningar visar att fel på nätet var den största orsaken till påverkan på verkets axel. Kopplingen mellan länken och uppkomsten av SSR kunde bara bekräftas i ett fall då länken snabbt rampades ned. Se avsnitt **Tidigare erfarenheter**.

- *Skapa en lämplig EMTDC simuleringsmodell för det aktuella fallet innehållande generatorer/turbiner, elnät samt Baltic Cable HVDC-länk.*

En begränsad modell av nätet i sydvästra delen av Skåne och norra Tyskland upprättades för att kunna utföra SSR-simuleringar. Se avsnitt **Modellen**.

- *Genomföra simuleringar med målsättning att belysa vilken teknisk utformning som inte bör väljas för generatorer och turbiner i det nya kraftverket.*

Utförda simuleringar pekar mot att länken ligger elektriskt på för stort avstånd från ÖVT för att påverka detta. Därmed borde utformningen av verket inte spela någon roll med avseende på SSR-uppkomst från Baltic Cable. Det rekommenderas dock starkt att nya tester utförs då man vet exakt vilka maskiner man ska välja. Se avsnitt **Slutsats**.

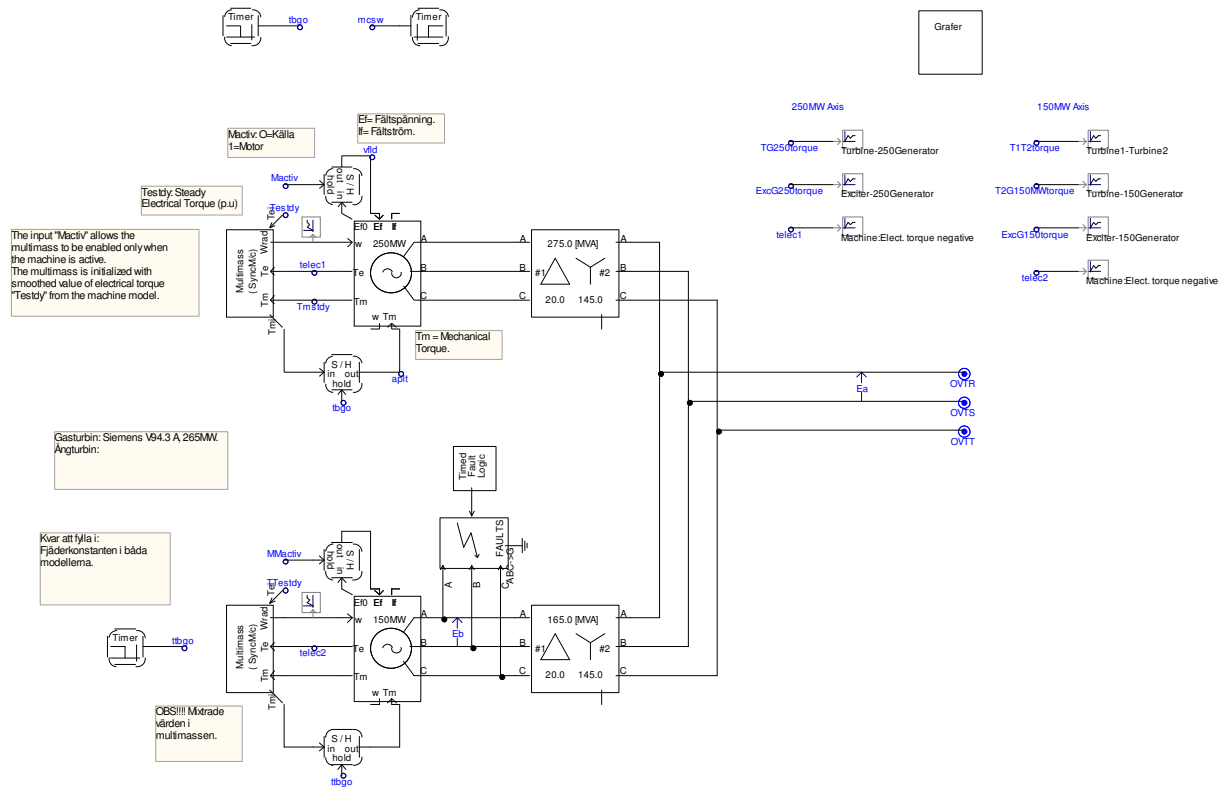
Referenser

- [1] Anderson, P.M., Agrawal, B.L., & Van Ness, J.E. (1990). *Subsynchronous Resonance in Power Systems*. USA: IEEE Press. PC0247-7
- [2] Hongtao, L., Zheng, X., & Zhi, G. (1999). Study on SSR characteristics of power systems with static VAR compensator. *International journal of electric power and energy systems*, (21), 45-53. USA: Elsevier.
- [3] Adielsson, T., Hansson, B., Knudsen, L., Nyman, A., & Smedsfelt, S. (1989). *Application of HVDC Transmissions*. Sverige: Vattenfall.
- [4] Szechtman, M., Pilotto, L.A.S., Ping, W.W., Salgado, E., Carvalho, A.R., Wey, A., Long, W.F., & Alvarado F.L. (1992). *The behaviour of several HVDC links terminating in the same load area*. Frankrike: CIGRÉ. Session WG 14-201
- [5] Thio, C.V., Davies, J.B., & Kent, K.L. (1996). Commutation failures in HVDC transmission systems. *IEEE Transaction on power delivery* (vol. 11). USA: The Institute of Electrical and Elictronic Engineers, Inc.
- [6] Welcome to Baltic Cable (2004-03-23). <http://www.balticcable.com>
- [7] Muller, C. (2003). *EMTDC. The electromagnetic Transients & Controls Simulation Engine. User's guide*, Kanada: Manitoba HVDC Research Centre Inc.
- [8] Göteborg Energi (2004-03-30). <http://www.goteborgenergi.se>
- [9] Siemens (2004-04-15). <http://www.Siemenswestinghouse.com>
- [10] IEEE Subsynchronous Resonance Task Force of the Dynamic System Performance Working Group, Power System Engineering Committee (1977). *IEEE Transactions on Power Apparatus and System* (vol. PAS-96, no. 5). USA: The Institute of Electrical and Elictronic Engineers, Inc.

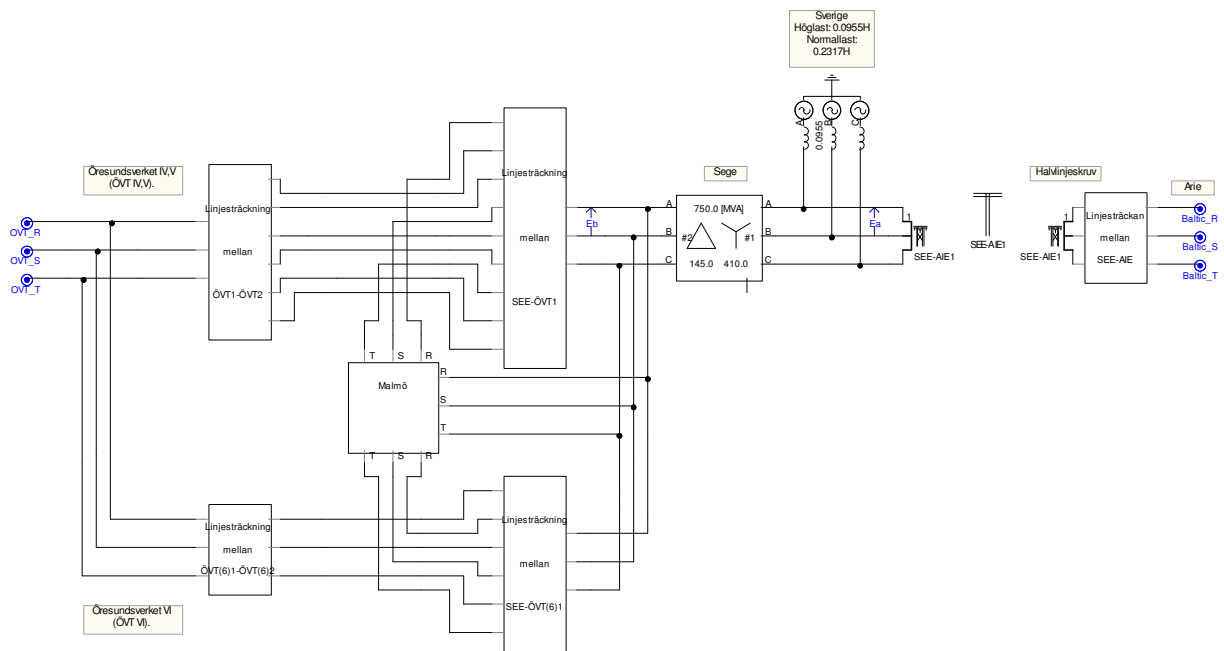
Bilaga 1

Här visas innehållet i blocken som finns på figur 3, sidan 7.

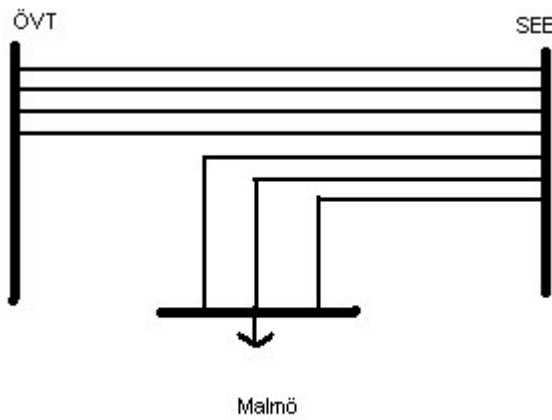
Öresundsverket



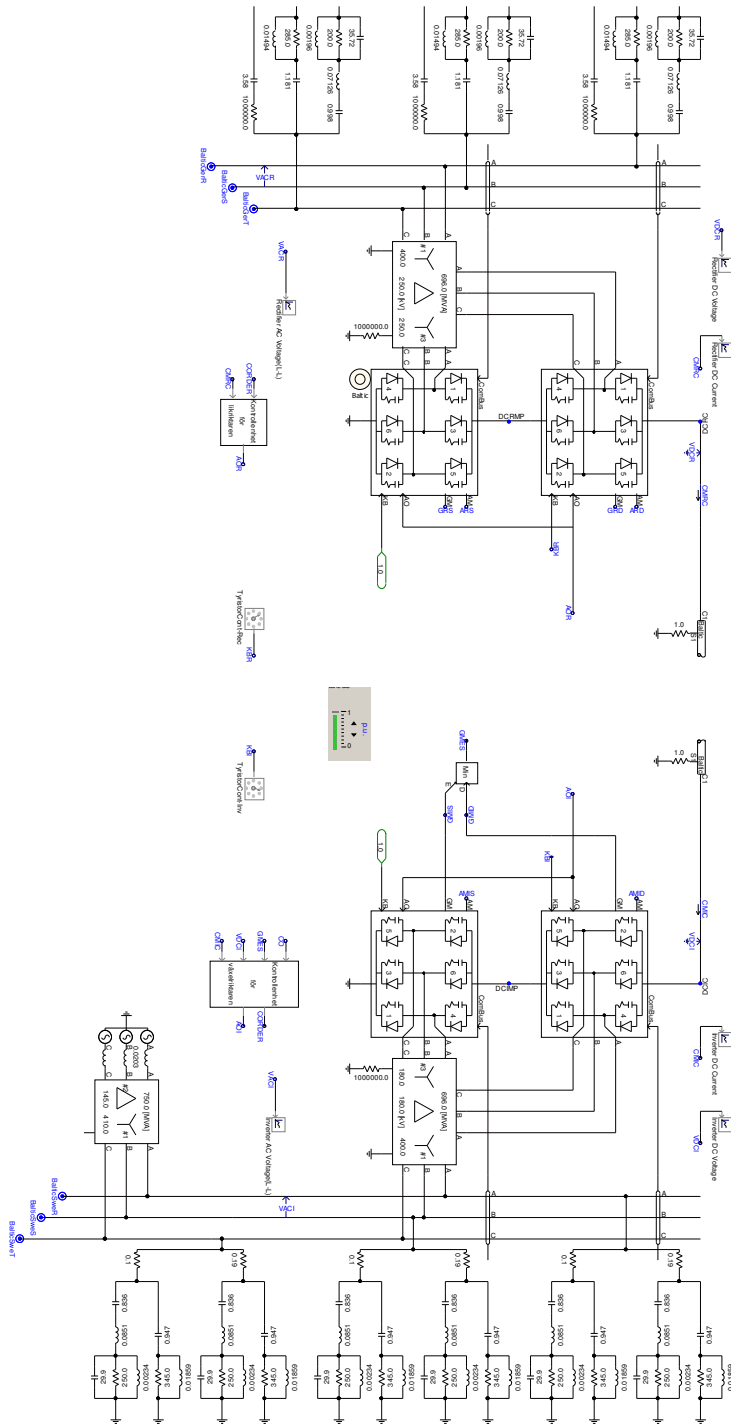
Pi



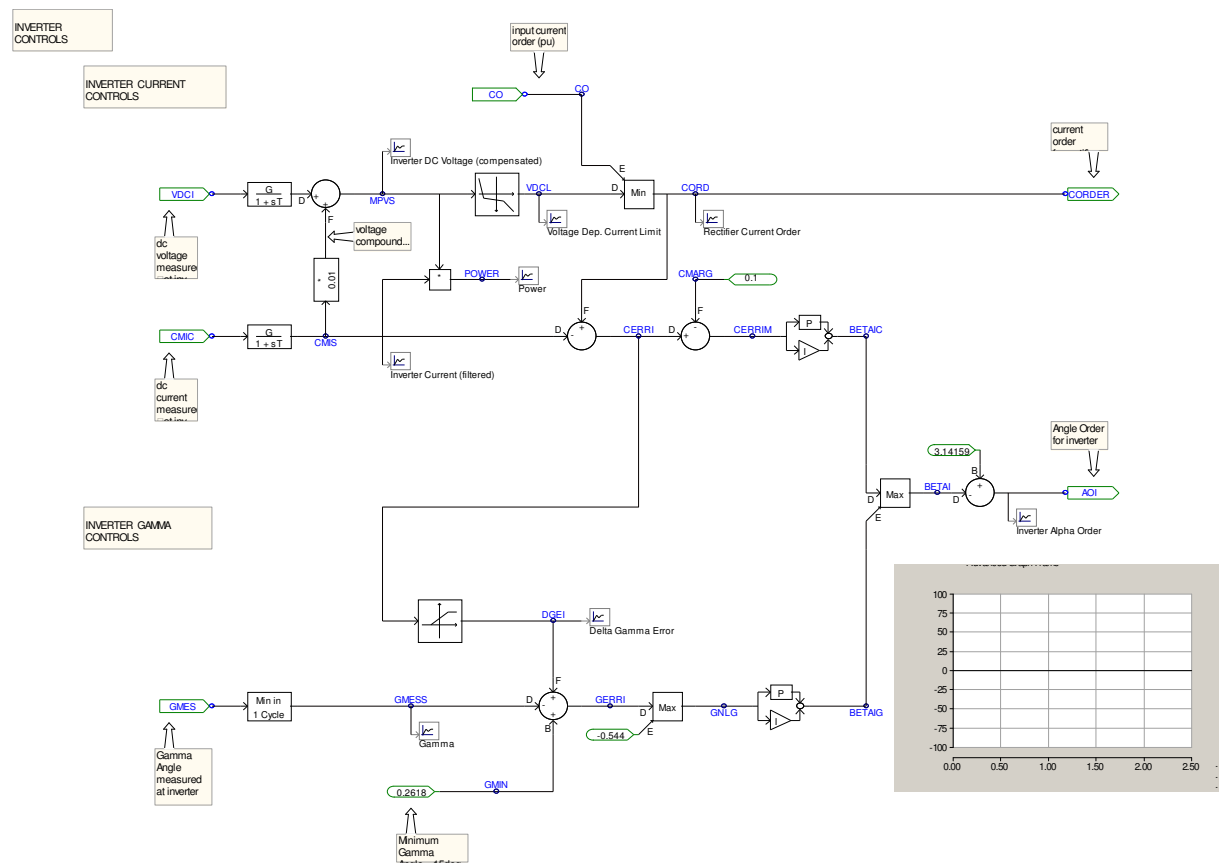
För att enklare se hur linjesträckningen går följer här ett enkelt enlinjeschema på sträckan SEE-ÖVT.



Baltic Cable

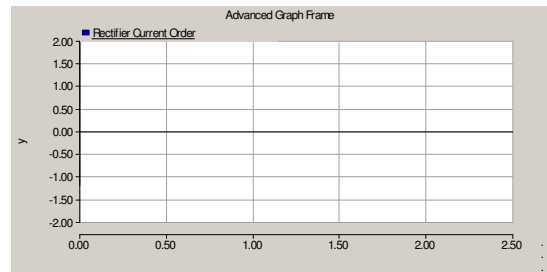
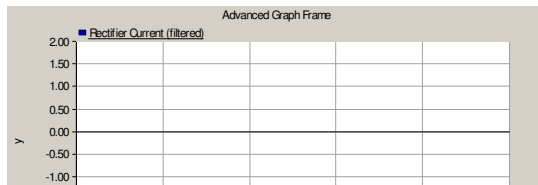
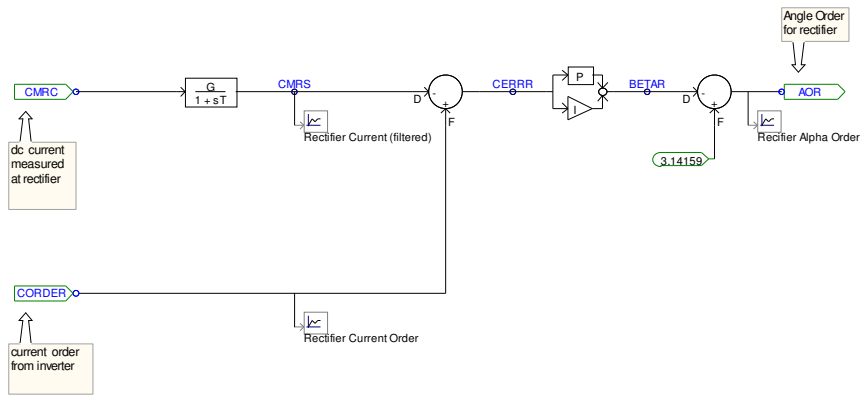


Styrenhet för växelriktaren



Styrenhet för likriktaren

RECTIFIER
CURRENT
CONTROLS



Bilaga 2

Testfallsnummer: 1

Scenario: Normaldrift. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Ett testfall för att visa hur normalfallet för högt lastat nät ser ut.

Resultat:

Testfallsnummer: 2

Scenario: Normaldrift. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Tyskland 600MW.

Anmärkningar: Ett testfall för att visa hur normalfallet för högt lastat nät ser ut.

Resultat:

Testfallsnummer: 3

Scenario: Återkommande tyristorfel vid växelriktarstationen. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Kraftiga störningar på nätet i Sverige, som avtar, för att vid ÖVT vara väldigt svaga.

Resultat: Liten synbar påverkan.

Testfallsnummer: 4

Scenario: Ej återkommande tyristorfel vid växelriktarstationen. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Feltiden var en cykel.

Resultat: Ytterst liten synbar påverkan som försvinner tillsammans med kommuteringsfelet.

Testfallsnummer: 5

Scenario: Återkommande tyristorfel vid likriktarstationen. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Kraftiga störningar på den tyska sidan av länken.

Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 6

Scenario: Ej återkommande tyristorfel vid likriktarstationen. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Feltiden var en cykel.

Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 7

Scenario: Återkommande tyristorfel vid växelriktarstationen. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Kraftiga störningar på nätet i Sverige. Störningarna avtar men är fortfarande signifikanta vid ÖVT.

Resultat: Liten synbar påverkan.

Testfallsnummer: 8

Scenario: Ej återkommande tyristorfel vid växelriktarstationen. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Feltiden var en cykel.

Resultat: Ytterst liten synbar påverkan på 250MW aggregatet. Dock kvarstår störningen även efter felet.

Testfallsnummer: 9

Scenario: Återkommande tyristorfel vid likriktarstationen. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Kraftiga störningar på den tyska sidan länken.

Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 10

Scenario: Ej återkommande tyristorfel vid likriktarstationen. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Feltiden var en cykel.

Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 11

Scenario: Återkommande tyristorfel vid växelriktarstationen. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Tyskland 600MW.

Anmärkningar: Kraftiga störningar på den tyska sidan länken.

Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 12

Scenario: Ej återkommande tyristorfel vid växelriktarstationen. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Tyskland 600MW.

Anmärkningar: Feltiden var en cykel.

Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 13

Scenario: Återkommande tyristorfel vid likriktarstationen. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Tyskland 600MW.

Anmärkningar: Störningar på den svenska sidan. Störningen finns kvar på nätet vid ÖVT.

Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 14

Scenario: Ej återkommande tyristorfel vid likriktarstationen. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Tyskland 600MW.

Anmärkningar: Feltiden var en cykel.

Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 15

Scenario: Återkommande tyristorfel vid växelriktarstationen. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Tyskland 600MW.

Anmärkningar: Kraftiga störningar på den tyska sidan länken.

Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 16

Scenario: Ej återkommande tyristorfel vid växelriktarstationen. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Tyskland 600MW.

Anmärkningar: Feltiden var en cykel.

Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 17

Scenario: Återkommande tyristorfel vid likriktarstationen. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Tyskland 600MW.

Anmärkningar: Störningar på den svenska sidan länken som finns kvar vid ÖVT. Svaga störningar på den tyska sidan länken.

Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 18

Scenario: Ej återkommande tyristorfel vid likriktarstationen. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Tyskland 600MW.

Anmärkningar: Feltiden var en cykel.

Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 19

Scenario: Återkommande ”bypass pair” vid växelriktarstationen. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Kraftiga störningar på nätet i Sverige, som avtar men fortfarande är signifikanta vid ÖVT.

Resultat: Liten synbar påverkan.

Testfallsnummer: 20

Scenario: Ej återkommande ”bypass pair” vid växelriktarstationen. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.
Anmärkningar: Feltiden var en cykel.
Resultat: Liten synbar påverkan som dock inte försvinner efter felet.

Testfallsnummer: 21
Scenario: Återkommande ”bypass pair” vid likriktarstationen. Högt lastat nät.
Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.
Anmärkningar: Kraftiga störningar på den tyska sidan av länken.
Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 22
Scenario: Ej återkommande ”bypass pair” vid likriktarstationen. Högt lastat nät.
Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.
Anmärkningar: Kraftiga störningar på den tyska sidan av länken.
Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 23
Scenario: Återkommande ”bypass pair” vid växelriktarstationen. Normalt lastat nät.
Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.
Anmärkningar: Kraftiga störningar på nätet i Sverige. Störningarna avtar men är fortfarande signifikanta vid ÖVT.
Resultat: Liten synbar påverkan.

Testfallsnummer: 24
Scenario: Ej återkommande ”bypass pair” vid växelriktarstationen. Normalt lastat nät.
Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.
Anmärkningar: Feltiden var en cykel.
Resultat: Liten synbar påverkan, dock kvarstår störningen även efter felet.

Testfallsnummer: 25
Scenario: Återkommande ”bypass pair” vid likriktarstationen. Normalt lastat nät.
Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.
Anmärkningar: Kraftiga störningar på den tyska sidan länken.
Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 26
Scenario: Ej återkommande ”bypass pair” vid likriktarstationen. Normalt lastat nät.
Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.
Anmärkningar: Feltiden var en cykel.
Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 27
Scenario: Återkommande ”bypass pair” vid växelriktarstationen. Högt lastat nät.
Driftläge Baltic Cable: Matning till Tyskland 600MW.
Anmärkningar: Störningar på både den tyska och den svenska sidan länken.
Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 28
Scenario: Ej återkommande ”bypass pair” vid växelriktarstationen. Högt lastat nät.
Driftläge Baltic Cable: Matning till Tyskland 600MW.
Anmärkningar: Feltiden var en cykel.
Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 29
Scenario: Återkommande ”bypass pair” vid likriktarstationen. Högt lastat nät.
Driftläge Baltic Cable: Matning till Tyskland 600MW.
Anmärkningar: Störningar på den svenska sidan. Svaga störningar finns kvar på nätet vid ÖVT.
Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 30

Scenario: Ej återkommande ”bypass pair” vid likriktarstationen. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Tyskland 600MW.

Anmärkningar: Feltiden var en cykel.

Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 31

Scenario: Återkommande ”bypass pair” vid växelriktarstationen. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Tyskland 600MW.

Anmärkningar: Kraftiga störningar på den svenska sidan som vid ÖVT fortfarande är signifikanta.

Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 32

Scenario: Ej återkommande ”bypass pair” vid växelriktarstationen. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Tyskland 600MW.

Anmärkningar: Feltiden var en cykel.

Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 33

Scenario: Återkommande ”bypass pair” vid likriktarstationen. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Tyskland 600MW.

Anmärkningar: Kraftiga störningar på den tyska sidan.

Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 34

Scenario: Ej återkommande ”bypass pair” vid likriktarstationen. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Tyskland 600MW.

Anmärkningar: Feltiden var en cykel.

Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 35

Scenario: Snabb nedrampning med 5000MW/s. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar:

Resultat: Ytterst lite synbar påverkan.

Testfallsnummer: 36

Scenario: Snabb nedrampning med 5000MW/s. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar:

Resultat: Ytterst lite synbar påverkan.

Testfallsnummer: 37

Scenario: Snabb nedrampning med 3000MW/s. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar:

Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 38

Scenario: Snabb nedrampning med 3000MW/s. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar:

Resultat: Ytterst lite synbar påverkan.

Testfallsnummer: 39

Scenario: Trefasfel till jord mellan 150MW aggregatet och transformatorn. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten, dock mest på 150MW.

Testfallsnummer: 40

Scenario: Trefasfel mellan 150MW aggregatet och transformatorn. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten, dock mest på 150MW.

Testfallsnummer: 41

Scenario: Tvåfasfel till jord mellan 150MW aggregatet och transformatorn. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten, dock mest på 150MW.

Testfallsnummer: 42

Scenario: Tvåfasfel mellan 150MW aggregatet och transformatorn. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten, dock mest på 150MW.

Testfallsnummer: 43

Scenario: Enfasfel till jord mellan 150MW aggregatet och transformatorn. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 44

Scenario: Trefasfel till jord mellan 250MW aggregatet och transformatorn. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten, dock mest på 250MW.

Testfallsnummer: 45

Scenario: Trefasfel mellan 250MW aggregatet och transformatorn. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten, dock mest på 250MW.

Testfallsnummer: 46

Scenario: Tvåfasfel till jord mellan 250MW aggregatet och transformatorn. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten, dock mest på 250MW.

Testfallsnummer: 47

Scenario: Tvåfasfel mellan 250MW aggregatet och transformatorn. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten, dock mest på 250MW.

Testfallsnummer: 48

Scenario: Enfasfel till jord mellan 250MW aggregatet och transformatorn. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 49

Scenario: Trefasfel till jord vid 130kV ställverket vid ÖVT. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten.

Testfallsnummer: 50

Scenario: Trefasfel vid 130kV ställverket vid ÖVT. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten.

Testfallsnummer: 51

Scenario: Tvåfasfel till jord vid 130kV ställverket vid ÖVT. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten.

Testfallsnummer: 52

Scenario: Tvåfasfel vid 130kV ställverket vid ÖVT. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten.

Testfallsnummer: 53

Scenario: Enfasfel till jord vid 130kV ställverket vid ÖVT. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Liten synbar påverkan.

Testfallsnummer: 54

Scenario: Trefasfel till jord vid 130kV ställverket vid Sege. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten.

Testfallsnummer: 55

Scenario: Trefasfel vid 130kV ställverket vid Sege. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten, dock lite större på 150MW.

Testfallsnummer: 56

Scenario: Tvåfasfel till jord vid 130kV ställverket vid Sege. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten.

Testfallsnummer: 57

Scenario: Tvåfasfel vid 130kV ställverket vid Sege. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten.

Testfallsnummer: 58

Scenario: Enfasfel till jord vid 130kV ställverket vid Sege. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Liten synbar påverkan.

Testfallsnummer: 59

Scenario: Trefasfel till jord vid 400kV ställverket vid Sege. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten.

Testfallsnummer: 60

Scenario: Trefasfel vid 400kV ställverket vid Sege. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten, dock lite större på 150MW.

Testfallsnummer: 61

Scenario: Tvåfasfel till jord vid 400kV ställverket vid Sege. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten.

Testfallsnummer: 62

Scenario: Tvåfasfel vid 400kV ställverket vid Sege. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten.

Testfallsnummer: 63

Scenario: Enfasfel till jord vid 400kV ställverket vid Sege. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten.

Testfallsnummer: 64

Scenario: Trefasfel till jord vid 400kV ställverket vid Herrenwyk. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Ytterst liten påverkan.

Testfallsnummer: 65

Scenario: Trefasfel vid 400kV ställverket vid Herrenwyk. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Ytterst liten påverkan.

Testfallsnummer: 66

Scenario: Tvåfasfel till jord vid 400kV ställverket vid Herrenwyk. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Ytterst liten påverkan på 150MW aggregatet..

Testfallsnummer: 67

Scenario: Tvåfasfel vid 400kV ställverket vid Herrenwyk. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Ingen påverkan.

Testfallsnummer: 68

Scenario: Enfasfel till jord vid 400kV ställverket vid Herrenwyk. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Ingen påverkan.

Testfallsnummer: 69

Scenario: Trefasfel till jord mellan 150MW aggregatet och transformatorn. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten, dock mest på 150MW.

Testfallsnummer: 70

Scenario: Trefasfel mellan 150MW aggregatet och transformatorn. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten, dock mest på 150MW.

Testfallsnummer: 71

Scenario: Tvåfasfel till jord mellan 150MW aggregatet och transformatorn. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på 150MW aggregatet och stor påverkan på 250MW.

Testfallsnummer: 72

Scenario: Tvåfasfel mellan 150MW aggregatet och transformatorn. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på 150MW aggregatet och stor påverkan på 250MW.

Testfallsnummer: 73

Scenario: Enfasfel till jord mellan 150MW aggregatet och transformatorn. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Liten påverkan på 150MW aggregatet. Ingen synbar påverkan på 250MW aggregatet.

Testfallsnummer: 74

Scenario: Trefasfel till jord mellan 250MW aggregatet och transformatorn. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten, dock mest på 250MW.

Testfallsnummer: 75

Scenario: Trefasfel mellan 250MW aggregatet och transformatorn. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten, dock mest på 250MW.

Testfallsnummer: 76

Scenario: Tvåfasfel till jord mellan 250MW aggregatet och transformatorn. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på 250MW aggregatet och stor påverkan på 150MW.

Testfallsnummer: 77

Scenario: Tvåfasfel mellan 250MW aggregatet och transformatorn. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på 250MW aggregatet och stor påverkan på 150MW.

Testfallsnummer: 78

Scenario: Enfasfel till jord mellan 250MW aggregatet och transformatorn. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Ingen synbar påverkan på 250MW aggregatet, liten påverkan på 150MW..

Testfallsnummer: 79

Scenario: Trefasfel till jord vid 130kV ställverket vid ÖVT. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten.

Testfallsnummer: 80

Scenario: Trefasfel vid 130kV ställverket vid ÖVT. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten.

Testfallsnummer: 81

Scenario: Tvåfasfel till jord vid 130kV ställverket vid ÖVT. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten.

Testfallsnummer: 82

Scenario: Tvåfasfel vid 130kV ställverket vid ÖVT. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten.

Testfallsnummer: 83

Scenario: Enfasfel till jord vid 130kV ställverket vid ÖVT. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Liten synbar påverkan.

Testfallsnummer: 84

Scenario: Trefasfel till jord vid 130kV ställverket vid Sege. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten.

Testfallsnummer: 85

Scenario: Trefasfel vid 130kV ställverket vid Sege. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten, dock lite större på 250MW.

Testfallsnummer: 86

Scenario: Tvåfasfel till jord vid 130kV ställverket vid Sege. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Stor påverkan på båda aggregaten.

Testfallsnummer: 87

Scenario: Tvåfasfel vid 130kV ställverket vid Sege. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Stor påverkan på båda aggregaten.

Testfallsnummer: 88

Scenario: Enfasfel till jord vid 130kV ställverket vid Sege. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Liten synbar påverkan.

Testfallsnummer: 89

Scenario: Trefasfel till jord vid 400kV ställverket vid Sege. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten.

Testfallsnummer: 90

Scenario: Trefasfel vid 400kV ställverket vid Sege. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten.

Testfallsnummer: 91

Scenario: Tvåfasfel till jord vid 400kV ställverket vid Sege. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Stor påverkan på båda aggregaten.

Testfallsnummer: 92

Scenario: Tvåfasfel vid 400kV ställverket vid Sege. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Stor påverkan på båda aggregaten.

Testfallsnummer: 93

Scenario: Enfasfel till jord vid 400kV ställverket vid Sege. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Stor påverkan på båda aggregaten.

Testfallsnummer: 94

Scenario: Trefasfel till jord vid 400kV ställverket vid Herrenwyk. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Ytterst liten påverkan på 150MW aggregatet. Ingen påverkan på 250Mw aggregatet.

Testfallsnummer: 95

Scenario: Trefasfel vid 400kV ställverket vid Herrenwyk. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Ytterst liten påverkan på 150MW aggregatet. Ingen påverkan på 250Mw aggregatet.

Testfallsnummer: 96

Scenario: Tvåfasfel till jord vid 400kV ställverket vid Herrenwyk. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Ytterst liten påverkan på 150MW aggregatet. Ingen påverkan på 250Mw aggregatet.

Testfallsnummer: 97

Scenario: Tvåfasfel vid 400kV ställverket vid Herrenwyk. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Ytterst liten påverkan på 150MW aggregatet. Ingen påverkan på 250Mw aggregatet.

Testfallsnummer: 98

Scenario: Enfasfel till jord vid 400kV ställverket vid Herrenwyk. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felet kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Ytterst liten påverkan på 150MW aggregatet. Ingen påverkan på 250Mw aggregatet.

Testfallsnummer: 99

Scenario: Enfasfel till jord vid ÖVT's 130kV ställverk samt vid Seges 130kV ställverk, olika faser. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felen kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten.

Testfallsnummer: 100

Scenario: Dubbla enfasfel till jord vid Sege. Ett på 130kV och ett på 400kV'sidan, olika faser. Högt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felen kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Stor påverkan på båda aggregaten.

Testfallsnummer: 101

Scenario: Enfasfel till jord vid ÖVT's 130kV ställverk samt vid Sege 130kV ställverk, olika faser. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felen kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Kraftig påverkan på båda aggregaten.

Testfallsnummer: 102

Scenario: Dubbla enfasfel till jord vid Sege. Ett på 130kV och ett på 400kV'sidan, olika faser. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Felen kvarstår under 0.075 s.

Resultat: Stor påverkan på båda aggregaten.

Testfallsnummer: 103

Scenario: Återkommande tyristorfel vid växelriktarstationen. Högt lastat nät. Filterbortfall i likriktarstationen.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Kraftiga störningar på nätet i Sverige.

Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 104

Scenario: Ej återkommande tyristorfel vid växelriktarstationen. Högt lastat nät. Filterbortfall i likriktarstationen.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Feltiden var en cykel.

Resultat: Ytterst liten synbar påverkan som försvinner tillsammans med kommuteringsfelet.

Testfallsnummer: 105

Scenario: Återkommande tyristorfel vid likriktarstationen. Högt lastat nät. Filterbortfall i likriktarstationen.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Kraftiga störningar på den tyska sidan av länken.

Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 106

Scenario: Ej återkommande tyristorfel vid likriktarstationen. Högt lastat nät. Filterbortfall i likriktarstationen.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Feltiden var en cykel.

Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 107

Scenario: Återkommande tyristorfel vid växelriktarstationen. Normalt lastat nät. Filterbortfall i likriktarstationen.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Kraftiga störningar på nätet i Sverige.

Resultat: Liten synbar påverkan.

Testfallsnummer: 108

Scenario: Ej återkommande tyristorfel vid växelriktarstationen. Normalt lastat nät. Filterbortfall i likriktarstationen.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Feltiden var en cykel.

Resultat: Liten synbar påverkan.

Testfallsnummer: 109

Scenario: Återkommande tyristorfel vid likriktarstationen. Normalt lastat nät. Filterbortfall i likriktarstationen.
Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.
Anmärkningar: Kraftiga störningar på den tyska sidan länken.
Resultat: Ingen synbar påverkan på 150MW aggregatet. Ytterst liten påverkan på 250MW aggregatet.

Testfallsnummer: 110

Scenario: Ej återkommande tyristorfel vid likriktarstationen. Normalt lastat nät. Filterbortfall i likriktarstationen.
Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.
Anmärkningar: Feltiden var en cykel.
Resultat: Ingen synbar påverkan på 150MW aggregatet. Ytterst liten påverkan på 250MW aggregatet.

Testfallsnummer: 111

Scenario: Frekvensskillnad mellan näten, 50Hz i Sverige och 49.9Hz i Tyskland. Högt lastat nät.
Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.
Anmärkningar:
Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 112

Scenario: Frekvensskillnad mellan näten, 50Hz i Sverige och 49.7Hz i Tyskland. Högt lastat nät.
Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.
Anmärkningar:
Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 113

Scenario: Frekvensskillnad mellan näten, 50Hz i Sverige och 49.5Hz i Tyskland. Högt lastat nät.
Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.
Anmärkningar:
Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 114

Scenario: Frekvensskillnad mellan näten, 50Hz i Sverige och 49.9Hz i Tyskland. Normalt lastat nät.
Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.
Anmärkningar:
Resultat: Liten synbar påverkan.

Testfallsnummer: 115

Scenario: Frekvensskillnad mellan näten, 50Hz i Sverige och 49.7Hz i Tyskland. Normalt lastat nät.
Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.
Anmärkningar:
Resultat: Liten synbar påverkan.

Testfallsnummer: 116

Scenario: Frekvensskillnad mellan näten, 50Hz i Sverige och 49.5Hz i Tyskland. Högt lastat nät.
Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.
Anmärkningar:
Resultat: Liten synbar påverkan.

Testfallsnummer: 117

Scenario: Tillkoppling av 400kV sträckningen mellan AIE och SEE. Normalt lastat nät.
Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.
Anmärkningar:
Resultat: Ingen synbar påverkan.

Testfallsnummer: 118

Scenario: Filterbortfall på den svenska sidan. Högt lastat nät.
Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.
Anmärkningar: Samtliga filter kopplades bort.
Resultat: Ingen synbar påverkan på aggregaten. Kraftiga störningar på nätet på den svenska sidan.

Testfallsnummer: 119

Scenario: Normaldrift. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Ett testfall för att visa hur normalfallet för normalt lastat nät ser ut.

Resultat:

Testfallsnummer: 120

Scenario: Normaldrift. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Tyskland 600MW.

Anmärkningar: Ett testfall för att visa hur normalfallet för normalt lastat nät ser ut.

Resultat:

Testfallsnummer: 121

Scenario: Filterbortfall på den svenska sidan. Normalt lastat nät.

Driftläge Baltic Cable: Matning till Sverige 600MW.

Anmärkningar: Samtliga filter kopplades bort.

Resultat: Ingen synbar påverkan på aggregaten. Kraftiga störningar på nätet på den svenska sidan.