

Notat

Sak: Veiledning til krav i FIKS om Fault Ride Through-egenskaper for produksjonsanlegg

Dokumentet sendes til:

Saksbehandler/Adm. enhet:

Jon Nerbø Ødegård/DUK

Sign

Ansvarlig/Adm. enhet:

Hans Olav Ween/DUK

Sign

Dokument ID: 17/01455-4

Dato: 09.02.2019

Veiledning til funksjonskrav i FIKS om Fault Ride Through-egenskaper for produksjonsanlegg

Krav til Fault Ride Through (FRT) egenskaper, dvs. evnen en produksjonsenhet har til å holde synkronisme med nettet ved forbigående feil, har vært til diskusjon i lengre tid. I forbindelse med implementering av 'Network Codes – Requirements for Generators' har systemansvarlig gjennomført ny vurdering av funksjonskravene i FIKS. Systemansvarlig har etter innspill fra bransjen og leverandørene, samt gjennom egne analyser konkludert med at eksisterende krav til produksjonsenheter tilknyttet nett med $U < 220$ kV ikke er hensiktsmessig, og at alternative tiltak kan være mer samfunnsøkonomisk rasjonelt. Med denne begrunnelsen gjøres nåværende krav til produksjonsenheter tilknyttet nett med $U \geq 220$ kV generell for alle produksjonsenheter.

Dette innebærer lemping av dagens krav for anlegg tilknyttet nett med $U < 220$ kV.

- Krav til alle produksjonsanlegg tilknyttet nettnivå $U \geq 132$ kV er nå gitt av figur 3.7-1. i FIKS (2012). Dette kravet tilsvarer foreslått krav ved implementering av nytt teknisk regelverk – 'Network Codes – Requirements for Generators'.
- For produksjonsanlegg tilknyttet nett med spenning $U < 132$ kV stiller ikke systemansvarlig FRT-krav.

For produksjonsanlegg tilknyttet nett med $U \geq 220$ kV er kravene iht. FIKS uendret.

I notat publisert av Statnett 18.12.2014 – sak ref. 14/01770 og dok. ref. 14-892 inneholder kapittel 1 – 'Innledning' at '*Dette dokumentet reflekterer FIKS utgaven fra 2012 og gjelder inntil nye krav eller ny veiledning foreligger*'. I så måte gjør dette notatet begge deler.

INNHOLD

1	Innledning	4
2	Endret Kravstilling i forhold til FIKS 2012	4
3	Formål med krav i FIKS om Fault-Ride-Through	5
4	Forklaring til FRT-kurvene	5
4.1.	Feilklareringstid	5
4.2.	Restspenning under feil.....	5
4.3.	Gjenoppbygning av spenning etter feil	5
5	Parametere som påvirker evnen til å overholde kravet	6
6	Relasjon til fos § 14 - vedtak – tilfeller og tidspunkt for kravverifisering.	6
7	Utforming av rapport for kravverifisering	6
7.1.	Forutsetninger når feil inntreffer	7
7.2.	Simulering av kortslutninger	7
8	Vedlegg – mal – FRT-analyse	8

Dokumentlogg/endringer

Dok.nr;	Revisjon	Forfatter	Dato
14-892	Nytt dokument	SR	18.12.2014
17/01455-2	Oppdatering i forbindelse med revisjon av kravet	JNØ	14.06.2018
17/01455-4	Feilretting, Kapittel 8 Vedlegg – Mal – FRT-analyse, underpunkt 4; Endring fra "tunglast" til "lettlast"	JNØ	21.03.2019

1 INNLEDNING

Formålet med dokumentet er å gi systemansvarliges avklaring om krav til Fault Ride Through-egenskaper. Dokumentet har hovedfokus på vannkraft, men er også relevant for termisk kraft og vindkraft.

Tekst som er sitat fra FIKS 2012 eller annen dokumentasjon er her gitt i *kursiv* skrift og med innrykk.

2 ENDRET KRAVSTILLING I FORHOLD TIL FIKS 2012

Henvisningen til FRT-kurvene gjøres i FIKS 2012 kapittel 3.2, 3.3 og 3.4 under **Dimensjonering/ytelser ved feil i nettet** for henholdsvis vannkraft, vindkraft og termiske kraftverk.

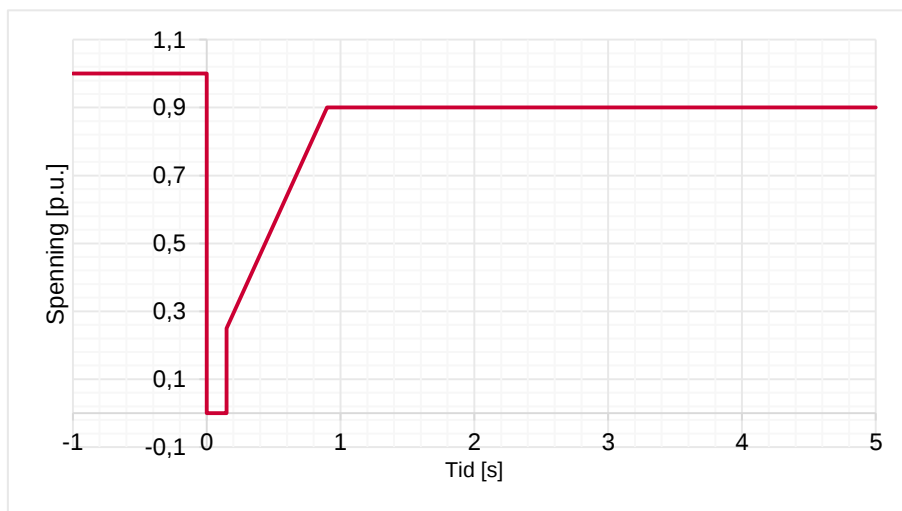
Aggregat med generatortransformator/vindkraftpark med hovedtransformator mot nettspenning ≥ 132 kV skal forbli tilknyttet nettet ved feilforløp og spenning med varighet som vist i figur 3.7-1.

Kapittel 3.7 (s. 50-51) i FIKS 2012 inneholder krav til FRT, og erstattes i sin helhet av følgende;

Dette avsnittet gjelder for produksjonsanlegg tilknyttet regional- og transmisjonsnettet.

Produksjonsanlegg tilknyttet nett med nominell driftsspenning ≥ 132 kV skal operere og levere effekt innenfor følgende spenningsforløp i tilknytningspunktet (i p.u. relatert nominell driftsspenning):

- Reduksjon til 0 % spenning i inntil 150 ms.
- Fulgt av spenningsøkning til 25 %.
- Fulgt av en lineær økning av spenningen opptil 90 % i løpet av 750 ms.
- Fulgt av konstant nettspenning 90 %.



Figur 1: Krav til produksjonsanlegg tilknyttet nettspenning ≥ 132 kV.

3 FORMÅL MED KRAV I FIKS OM FAULT-RIDE-THROUGH

Formål med kravet er å forhindre at produksjonsanlegg mister synkronisme og kobles fra ut ved normal feilklarering i nett med nominell driftsspenning ≥ 132 kV. Dermed skal produksjonstapet etter slike nettfail begrenses for å unngå mer alvorlige forstyrrelser, som frekvenskollaps i et synkronområde eller overlast på linjer som kan gi kaskaderende utkoblinger. Feil på høyere spenningsnivå kan påvirke spenningen i et stort område og dermed risikere utfall av betydelig mengde produksjon.

4 FORKLARING TIL FRT-KURVEN

Produksjonsanlegg kan frakobles nettet etter en ekstern feilhendelse dersom spenningen i tilknytningspunktet for anlegget faller under aktuell spenningsprofil gitt av figur 1. Hvis spenningen i tilknytningspunktet er lik eller overstiger aktuell spenningsprofil skal anlegget beholde synkronisme mot nettet under hele feilforløpet. I kravet om FRT-egenskaper for produksjonsanlegg er spenningen referert til tilknytningspunkt. Dette er i denne sammenheng høyspentsiden av generatortransformator (GSU¹), eller hovedtransformator mot nett for vindkraftpark.

Kurven er utarbeidet med utgangspunkt i:

- Feilklareringstid.
- Restspenning under feil.
- Gjenoppretting av spenningen etter feil.

4.1. Feilklareringstid

Dimensjonering av FRT-kurven tar utgangspunkt i momentane feilklareringer, dvs. feilklarering av kortslutninger innen 100 ms. Feilklareringstiden 150 ms, som benyttes i FRT-kurven, gir en sikkerhetsmargin mot ugunstige driftspunkter. Momentan feilklarering har man ved feil i første sone av distansevern (ca. 80 % av linjen). Differensialvern eller vernkommunikasjon mellom distansevern benyttes for å sikre momentan feilklarering for alle feil. Dette er standard for spenningsnivåene 300 og 420 kV, men sjeldnere benyttet på 132 kV.

4.2. Restspenning under feil

Restspenningen er referert tilknytningspunktet. Feil kan skje nær tilknytningspunktet og resultere i en svært lav restspenning – ned mot 0%, hvilket er dimensjonerende for FRT-kurven.

4.3. Gjenoppbygning av spenning etter feil

Det er i FIKS krav til at produksjonsanlegg kontinuerlig skal kunne operere uten utfall ved spenning ≥ 90 % og ≤ 105 % referert nominell verdi i tilknytningspunktet. Som følge av dette benyttes en nettspenning på 90 % av nominell verdi som stasjonær spenning, etter klarert feil og at spenning er gjenopprettet. Lavere spenning etter feil enn før feil er et resultat av at feilen medfører utkobling av feilbefengt linje, hvilket svekker nettet der produksjonsanlegget er tilknyttet.

¹ Generator step-up transformer

5 PARAMETERE SOM PÅVIRKER EVNEN TIL Å OVERHOLDE KRAVET

Det finnes mange parametere som påvirker produksjonsanleggets evne til å overholde FRT-kravet. Disse gis punktvis i det etterfølgende. I parentes angis hva som er positivt for parameterens verdi med hensyn til produksjonsanleggets evne til å holde synkronisme:

1. Feilklareringstid (kort)
2. Spenning i tilknytningspunktet før feil (høy)
3. Spenning i tilknytningspunktet under feilforløpet (høy)
4. Spenning i tilknytningspunktet etter feilklarering (høy)
5. Kraftsystemets kortslytningsytelse sett fra produksjonsanleggets tilknytningspunkt (høy)
6. Generatorens aktuelle aktive effektproduksjon ved feil (lav)
7. Generatorens aktuelle reaktive effektproduksjon ved feil (høy)
8. Svingmasse/tregghetsmoment for generator og turbin (høy)
9. Transient reaktans hos generatoren (lav)
10. Reaktans hos generatortransformator (lav)

Parameterne i punktene 1-2 er definert av FRT-kurven. Parameterne i punkt 3-5 er avhengig av nettets egenskaper der produksjonsenheten er tilknyttet. Da disse egenskapene varierer med endret nett-topologi og produksjon (lavlast/tunglast), er det viktig å benytte konservative forutsetninger, dvs. minimal kortslytningsytelse. Parameterne i punktene 6 og 7 skal følge forutsetninger gitt i kapittel 7.1 i dette notatet. Parameterne i punkt 8-10 er følgelig de som skal velges for at kravet kan overholdes, og fremfor alt er det svingmasse/tregghetsmoment som kan tilpasses for å oppfylle gitte krav.

6 RELASJON TIL FOS § 14 - VEDTAK – TILFELLER OG TIDSPUNKT FOR KRAVVERIFISERING

For å fatte vedtak om idriftsettelse iht. forskrift om systemansvaret i kraftsystemet (fos) § 14 krever systemansvarlig at tiltakshaver kan dokumentere at FRT-kravet er oppfylt. Dokumentasjon på at kravet er oppfylt skal fremlegges for både nye produksjonsanlegg og ved endringer i eksisterende anlegg, som kan påvirke evnen til å overholde kravet. Spesielt er dette aktuelt ved endringer som medfører:

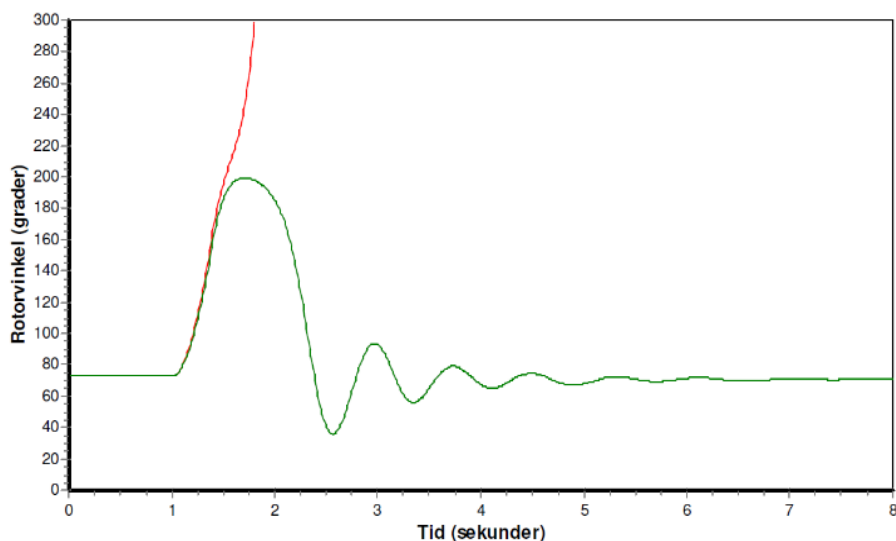
- Økt aktiv effektproduksjon.
- Reduksjon av svingmasse (tregghetsmoment) for generator eller turbin.
- Økning av transient reaktans (generator + generatortransformator).

Det påpekes her betydningen av at konsesjonær avklarer funksjonskravene i god tid før idriftsettelse iht. fos § 14. Dette for nettopp å avklare tekniske forhold slik at konsesjonær ikke risikerer å måtte endre på avtaler eller planer. Dette er særdeles viktig da FRT-egenskapene påvirker dimensjonering av produksjonsanlegg. Det er i etterkant både vanskelig og kostbart å omgjøre et feildimensjonert anlegg til å kunne oppfylle FRT-kravet.

7 UTFORMING AV RAPPORT FOR KRAVVERIFISERING

Rapport, som viser at FRT-kravet overholdes, skal gjøres med utgangspunkt i dynamiske analyser (simuleringer). Typisk skal analyser vise at synkronisme beholdes ved feil, ved at rotorvinkelen/polhjulsvinkel tegnes som funksjon av tiden ved feilhendelsen (se eksempel i Figur 7-1). Dokumentasjonen som fremlegges skal bekrefte relevante forutsetninger for kravoppfyllelse. Mal for dokumentasjon av FRT-egenskaper er gitt i vedlegg i dette notatet. Word-versjonen av malen finnes på Statnetts nettsider.

Følgende underavsnitt gir ytterligere støtte for utarbeidelsen av slik rapportering.



Figur 2: Rotorvinkel/polhjulsvinkelen hos en generator, som funksjon av tiden ved en feilhendelse. To alternative H-verdier for generatoren benyttes ved simulering. Spenningsforløp i tilknytningspunktet er iht. FIKS. Rød kurve – aggregatet er ikke stabilt og går ut av synkronisme, grønn kurve – aggregatet er stabilt.

7.1. Forutsetninger når feil inntreffer

Muligheten til å overholde kravet påvirkes av aktuell aktiv og reaktiv effektproduksjon når feil inntreffer, slik det framgår av kapittel 5.

FRT-kravet skal overholdes ved aktiv effektproduksjon lik merkeeffekt når feil inntreffer. Reaktiv effektproduksjon skal antas å være null ($\cos \varphi = 1$) referert tilknytningspunktet.

Muligheten for å overholde kravet er også avhengig av kraftsystemets kortslutningsytelse i produksjonsanleggets tilknytningspunkt iht. kapittel 5. Da høy kortslutningsytelse er positivt ut fra et stabilitetssynspunkt skal konservative forutsetninger, dvs. minimum kortslutningsytelse ($S_{k,min}$). Det er netteier i tilknytningspunktet som har ansvar for å oppgi kortslutningsytelsen. Som en forenkling benyttes samme kortslutningsytelse før og etter feil.

7.2. Simulering av kortslutninger

Det forventes ikke at man ved simulering representerer feilen i simuleringsverktøyet slik at spenningsforløpet i tilknytningspunktet for et produksjonsanlegg eksakt følger FRT-kurven. Kortslutninger simuleres ved at feilen påtrykkes i tilknytningspunktet og feilklareringstiden tilpasses analysene beskrevet i kapittel 8. Spenningsstigningen etter feilklarering (både når det gjelder gradient og sluttnivå) blir et resultat av nettets egenskaper, snarere enn å være noe som spesifiseres på forhånd.

Ved gjenoppretting av spenningen etter feilklarering gjelder første avsnitt i kapittel 4. Hvis spenningen holder seg på eller over relevant FRT-kurve skal produksjonsanlegget forbli tilknyttet nettet. Anlegget tillates frakoblet dersom spenningen faller under aktuell spenningsprofil.

8 VEDLEGG – MAL – FRT-ANALYSE

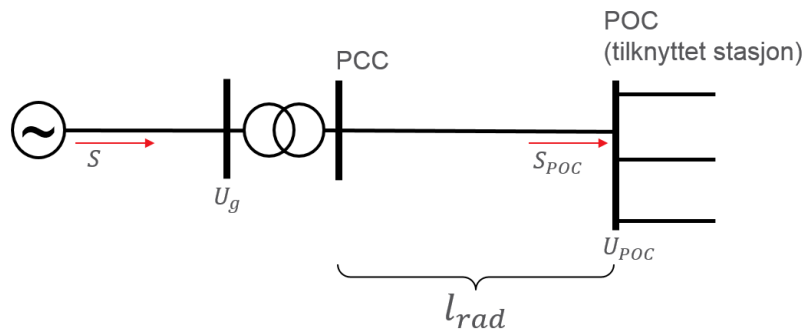
Mal – Resultater FRT-analyse

Evnen et aggregat har til å motstå nettfeil

Malen tjener som en standardisering av FRT-analyser og som sammendrag for vurdering av systemansvarlig.

(Hvite felter fylles ut)

1. KONTAKT		Dato:	XX.XX.XXXX
Eier			
Firma			
Kontaktperson			
Telefon/e-post			
Eventuelt utøvende enhet			
Firma			
Kontaktperson			
Telefon/e-post			
2. GENERELL INFORMASJON			
Produksjonsanlegg, Navn + driftsmerking			
Anleggsdel driftsmerking (A1, A2 osv.)			
Merkeytelse, S_n [MVA]			
Merkeeffekt, P_n [MW]			
Nominell generatorspenning, U_g [kV]			
Nominell spenning i tilknytningspunkt, U_{POC} [kV]			
Svingmasse som benyttes i analysen Inertia-konstant, H [s] Eller Generatortidskonstant T_a [s] Eller treghetsmoment, J [kgm ²]			
Transient reaktans generator, X'_d [p.u.]			
Dersom generatortransformor; Reaktans transformator, X_t [p.u.]			
Dersom produksjonsradial; Linjereaktans, X_l [p. u.]			
Kortslutningsytelse, S_k [MVA] Eller kortslutningsstrøm, I_k [kA]			



Figur 3: Enlinjeskjema som viser definisjonen av tilknytningspunkt, Point of Connection – POC. S er tilsynelatende effekt fra generator ($S = P + jQ$). S_{POC} er tilsynelatende effekt som utveksles i tilknytningspunktet ($S_{POC} = P_{POC} + jQ_{POC}$).

3. ANALYSE SOM SKAL GJENNOMFØRES		
Kritisk feilklareringstid	Analysen skal dokumentere generatorens kritiske feilklareringstid (CCT – Critical Clearing Time), definert ved den lengste feilklareringstiden, som ikke resulterer i tap av synkronisme/frakobling fra nettet. Dette for å dokumentere kravet om over 150 ms kritisk feilklareringstid.	
4. FORUTSETNINGER FOR ALLE ANALYSER		
Følgende forutsetninger skal benyttes		Bekreftes (hukes av)
Aktiv effekt	$P = P_n$ (Nominell produksjon)	
Reaktiv effekt	$Q_{POC} = 0 \rightarrow Q [p.u.] = X_t + X_l$ (Null reaktiv utveksling i POC)	
Spenning i tilknytningspunkt	$U_{POC} = 1 p.u.$	
Nett – før feil	To alternativer – huk av metode. For begge tilfeller forutsettes intakt nett;	
	Benytte nettmodell – modellen skal representere lettlast, dvs. minimal kortslutningsytelse	
	Thevenin ekvivalent – modellerer nettet etter minimal kortslutningsytelse med spenningskilde $U_{th} = 1 p.u.$ og $Z_{th} = \frac{U_{th}}{I_k}$ eller $Z_{th} = \frac{ U_{th} }{S_n^*}$.	
Nett – etter feil	Tilsvarende som for før feil.	
Modellering av feil	Modelleres som en metallisk kortslutning ($Z_{feil} = 0 p.u.$) i POC, med $U_{POC} = 0 p.u.$ i en gitt tid, t_{feil} [ms] (Se kapittel 7.2)	

5. RESULTAT AV ANALYSER

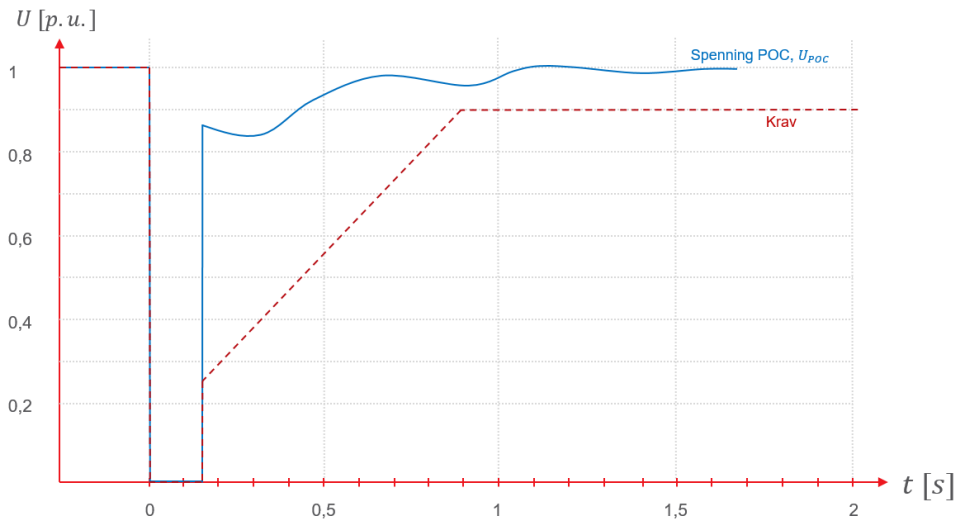
Kritisk feilklareringstid Krav: > 150 ms	Tallverdi for kritisk feilklareringstid. Resultat: ____ ms
	Vedlegges; <ul style="list-style-type: none">• Simulering med feilklareringstid lik krav, $t_{feil} = 150\text{ ms}$;<ul style="list-style-type: none">○ Tidsforløp av spenningen i tilknytningspunktet U_{POC} og på generatorklemmene U_g. Aksene skal tydelig benevnes og merkes med verdier. Feilklareringstiden skal merkes i tidsforløpet.○ Tidsforløp av rotorvinkel/polhjulsvinkel. Aksene skal tydelig benevnes og merkes med verdier. • Simulering med feilklareringstid lik kritisk feilklareringstid, $t_{feil} = t_{CCR}$;<ul style="list-style-type: none">○ Tidsforløp av spenningen i tilknytningspunktet U_{POC} og på generatorklemmene U_g. Aksene skal tydelig benevnes og merkes med verdier. Feilklareringstiden skal merkes i tidsforløpet.○ Tidsforløp av rotorvinkel/polhjulsvinkel. Aksene skal tydelig benevnes og merkes med verdier. • Simulering med feilklareringstid ca. 10 ms lengre enn kritisk feilklareringstid, $t_{feil} = t_{feil} + 10\text{ms}$ (dette for å vise ustabilitet);<ul style="list-style-type: none">○ Tidsforløp av spenningen i tilknytningspunktet U_{POC}, på generatorklemmene U_g og FRT-kravkurven (Figur 1 i dette notatet). Aksene skal tydelig benevnes og merkes med verdier. Feilklareringstiden skal merkes i tidsforløpet.○ Tidsforløp av rotorvinkel/polhjulsvinkel. Aksene skal tydelig benevnes og merkes med verdier.

6. VEDLEGG

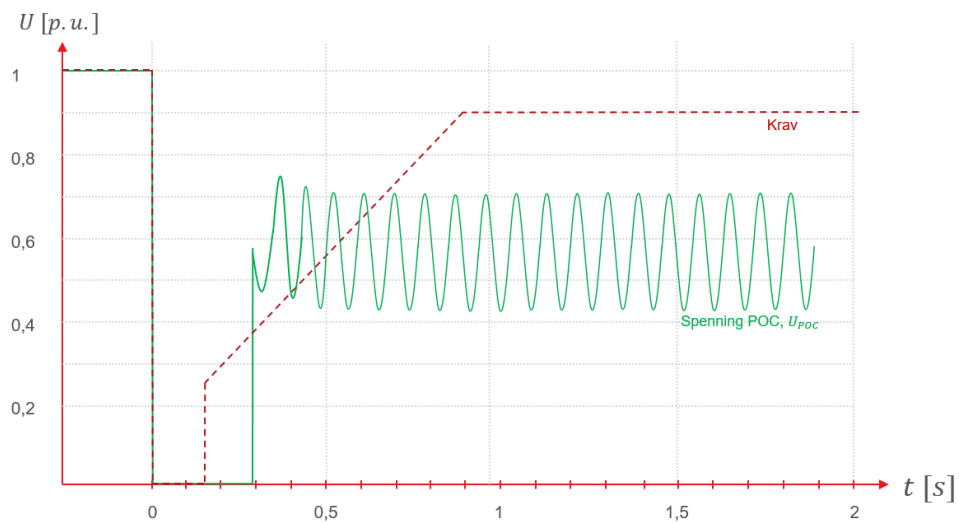
- Tidsforløp fra tilhørende analyser
- Eventuelt: Egen rapport

9 VEDLEGG – EKSEMPEL TIDSFORLØP

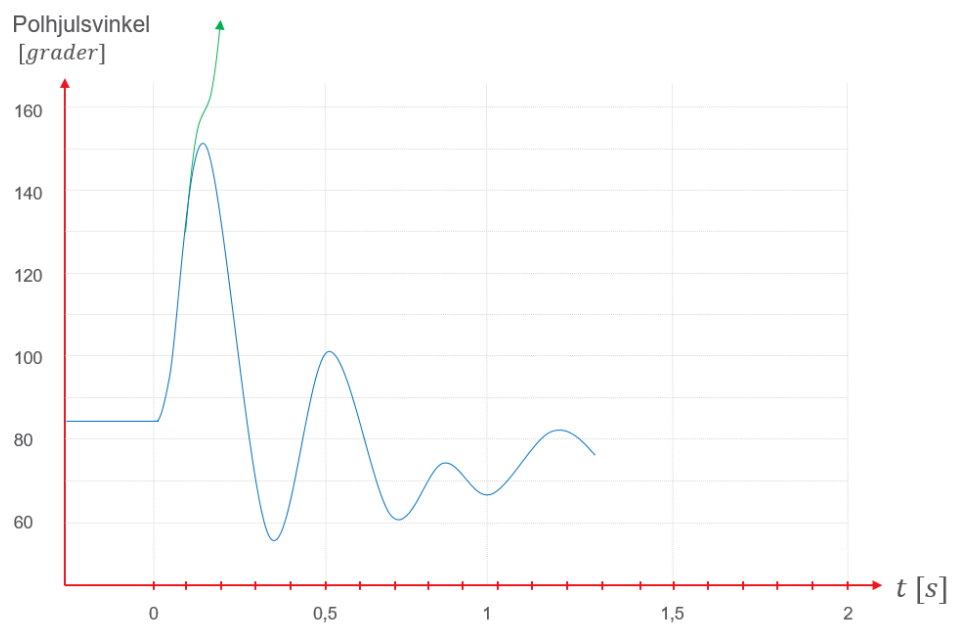
De vedlagte tidsforløpene må tydelig vise feilklareringstiden og være tilstrekkelig forstørret slik at resultatene er tydelige.



Figur 4: Typisk tidsforløp for spenning i tilknytningspunkt når synkronisme mot nettet beholdes.



Figur 5: Typisk tidsforløp for spenning i tilknytningspunkt når synkronisme mot nettet tapes ved feilklareringstid $>$ CCT.



Figur 6: Typisk tidsforløp for rotorvinkel i tilknytningspunkt når synkronisme mot nettet beholdes (blå) og tapes (grønn).