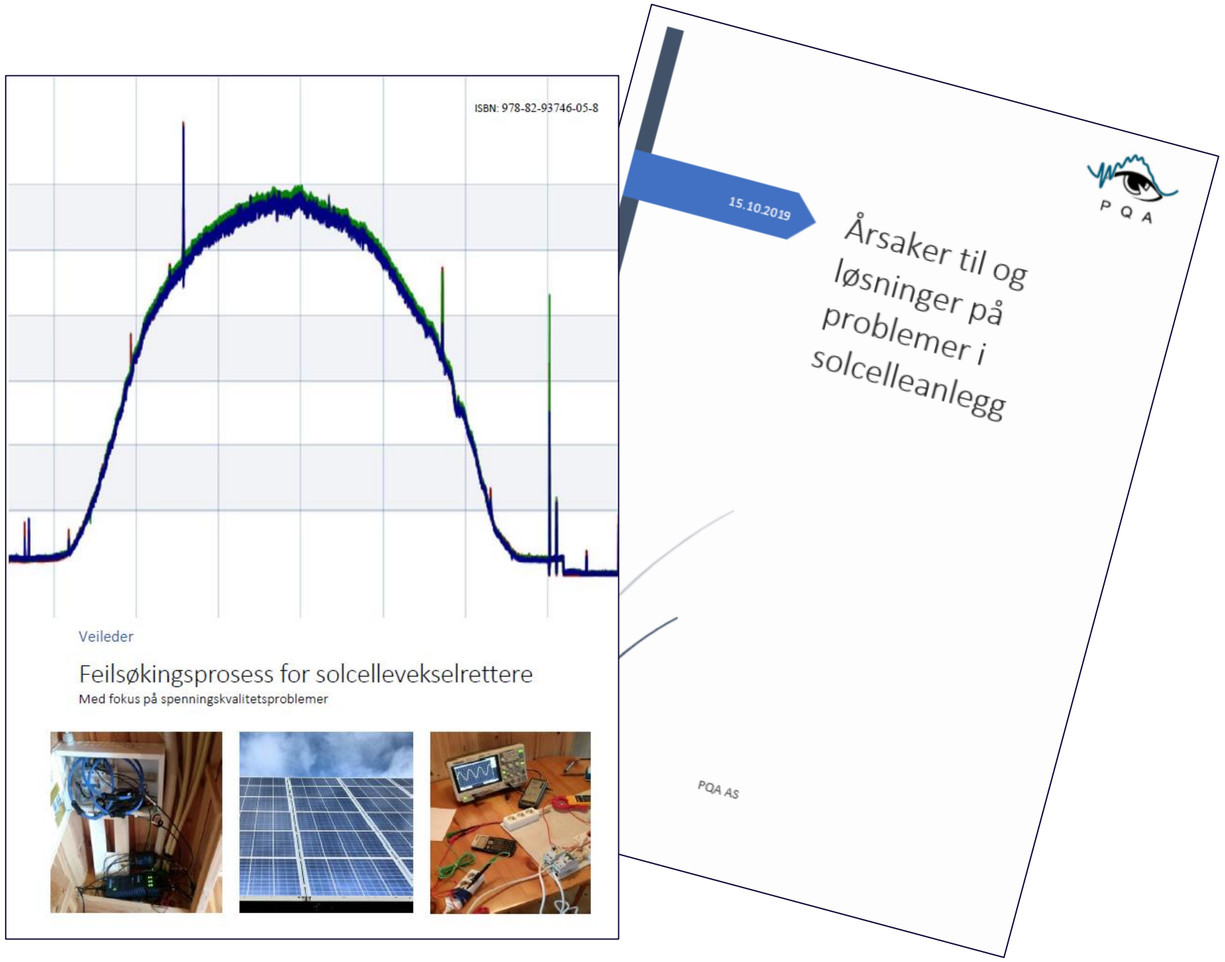
Resultater fra EMC i smarte nett

Solenergiklyngens innovasjonsgruppe for Energisystemer og -lagring

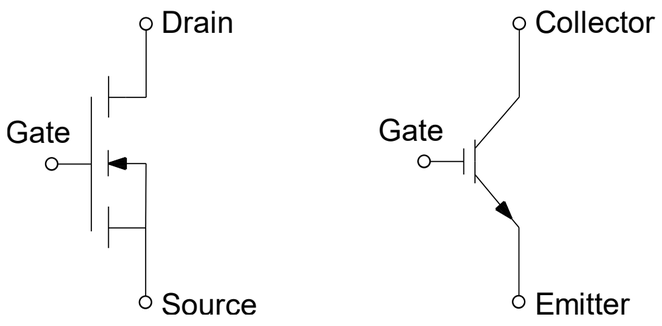
Henrik Kirkeby henrik@pqa.no
PQA AS https://pqa.no

Agenda

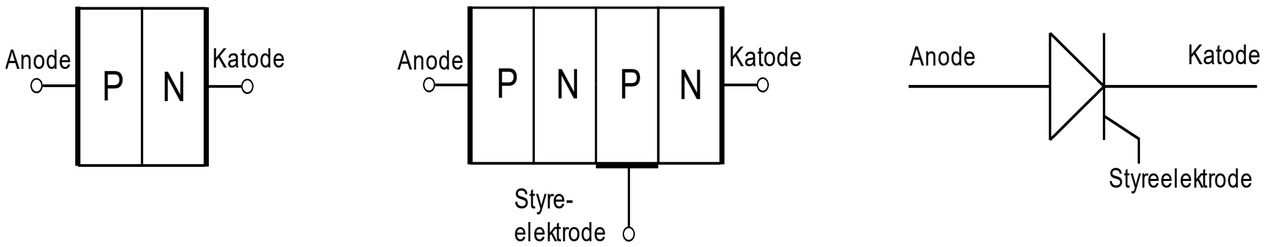
- Kraftelektronikk
- Stabilitet
- Eksempelcase
- Feilsøking

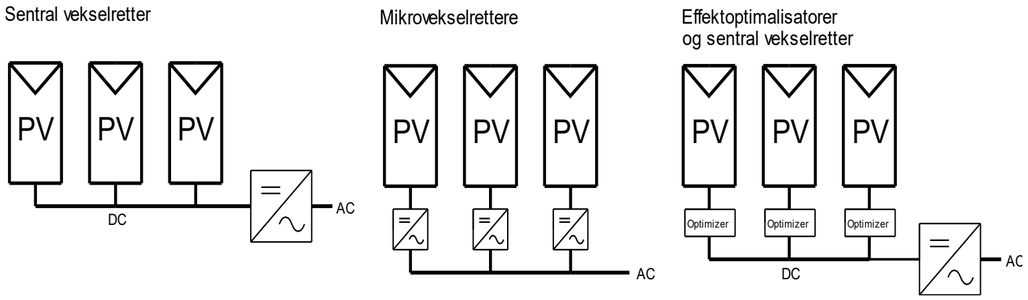


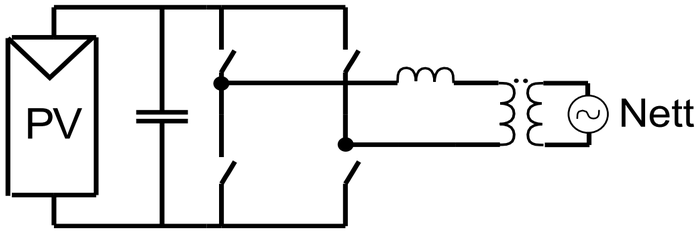
Kraftelektronikk

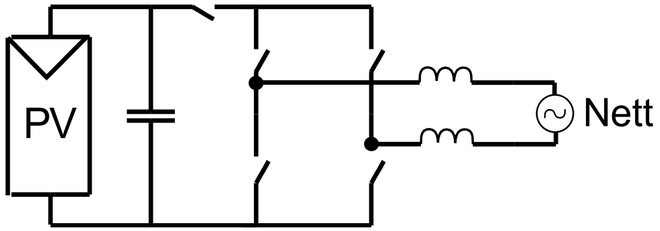


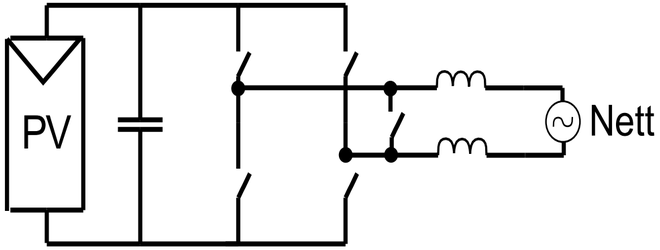
Type	Markedsandel
Strengvekselretter	52 %
Sentral vekselretter	44 %
Mikrovekselretter	1 %
Effektoptimalisator	3 %

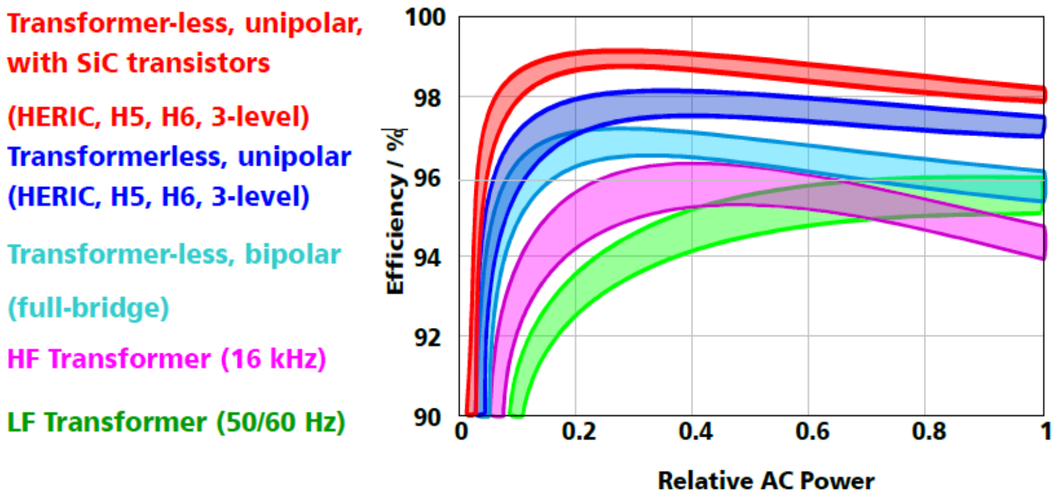


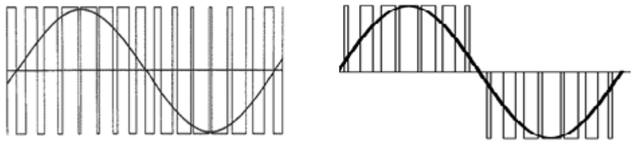


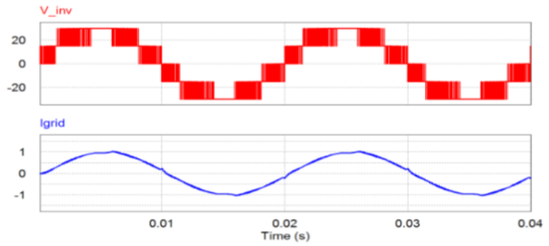

PV
Nett


PV
Nett

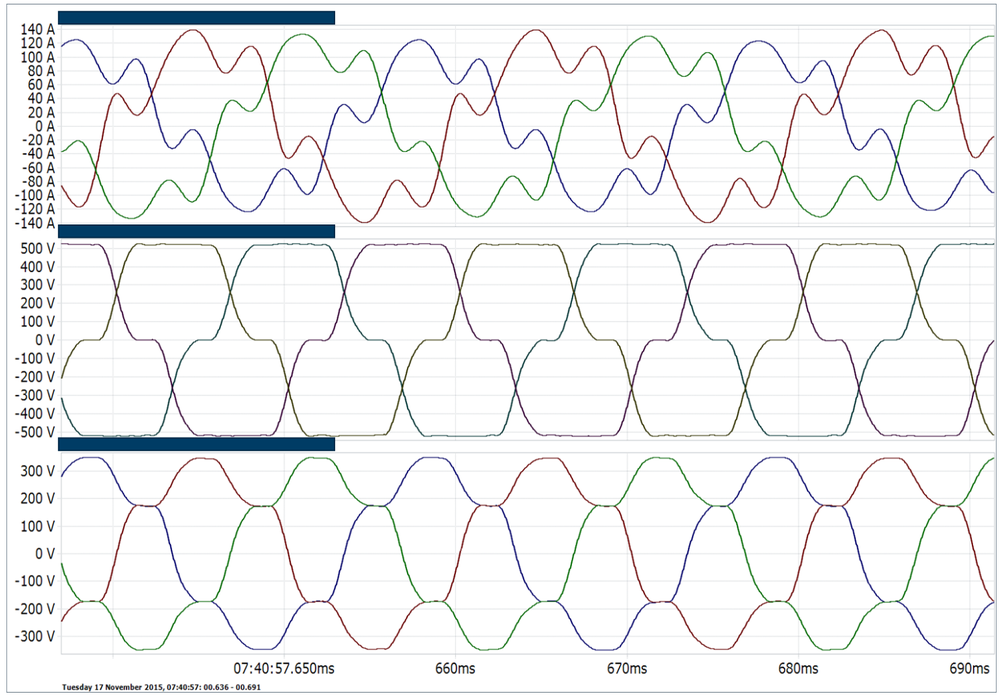

PV
Nett

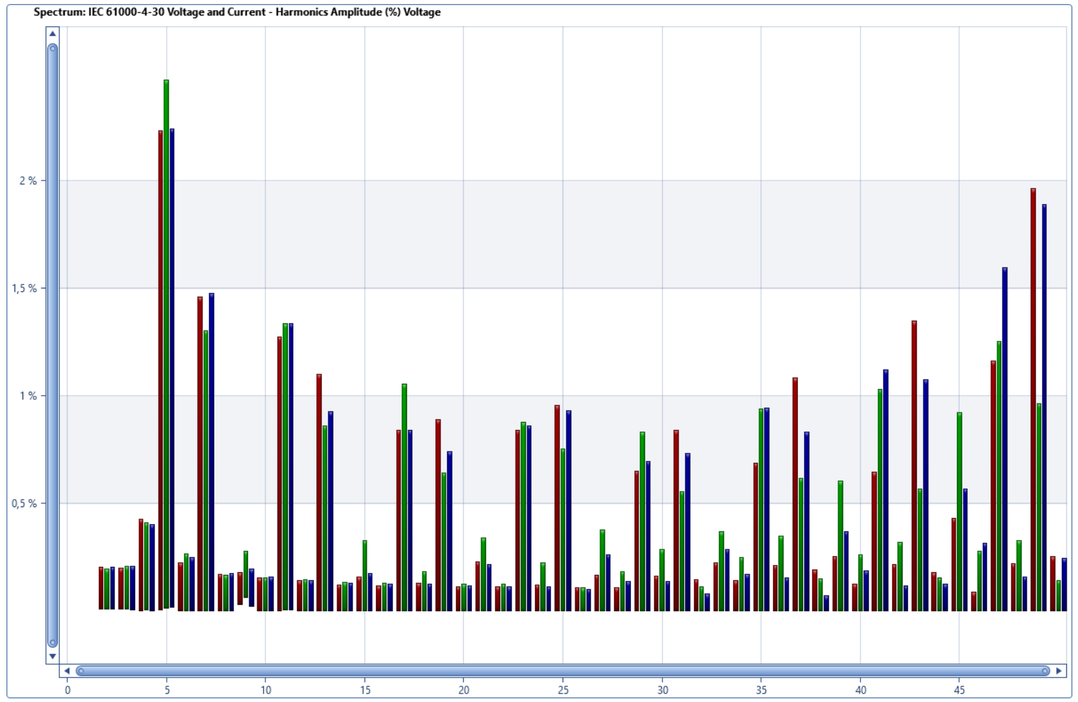

Transformer-less, unipolar, with SiC transistors
(HERIC, H5, H6, 3-level)
Transformerless, unipolar
(HERIC, H5, H6, 3-level)
Transformer-less, bipolar
(full-bridge)
HF Transformer (16 kHz)
LF Transformer (50/60 Hz)
Efficiency / %
100
98
96
94
92
90
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
Relative AC Power



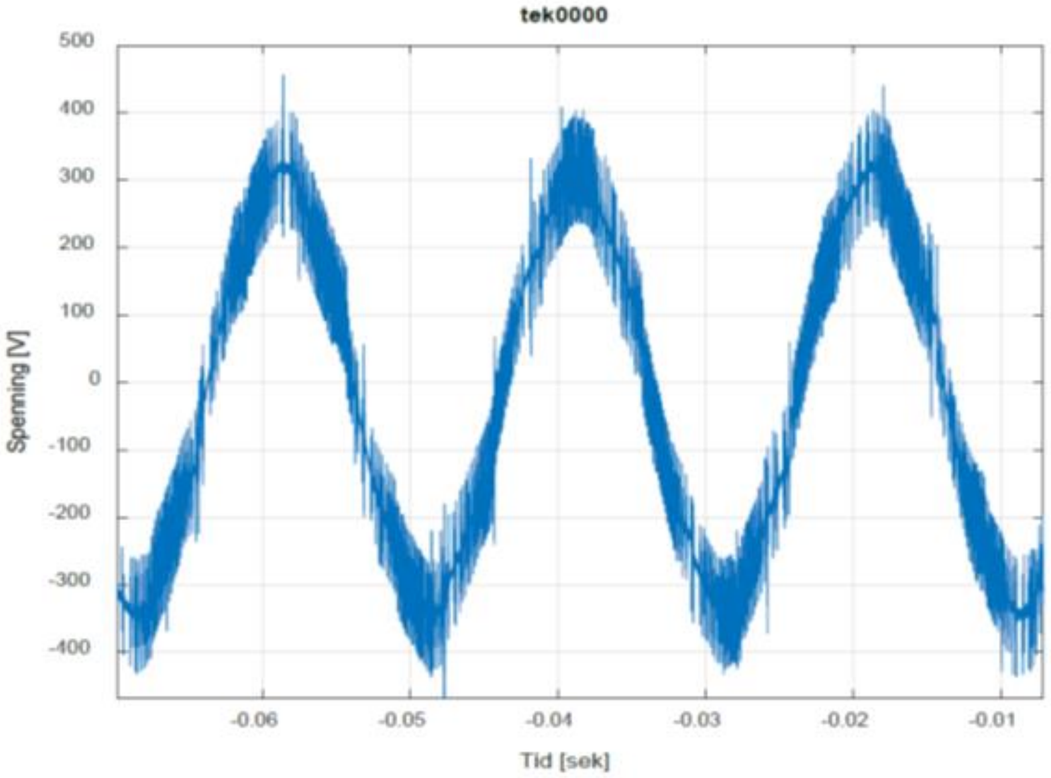

V_inv
20
0
-20
Igrid
1
0
-1
0.01
0.02
0.03
0.04
Time (s)

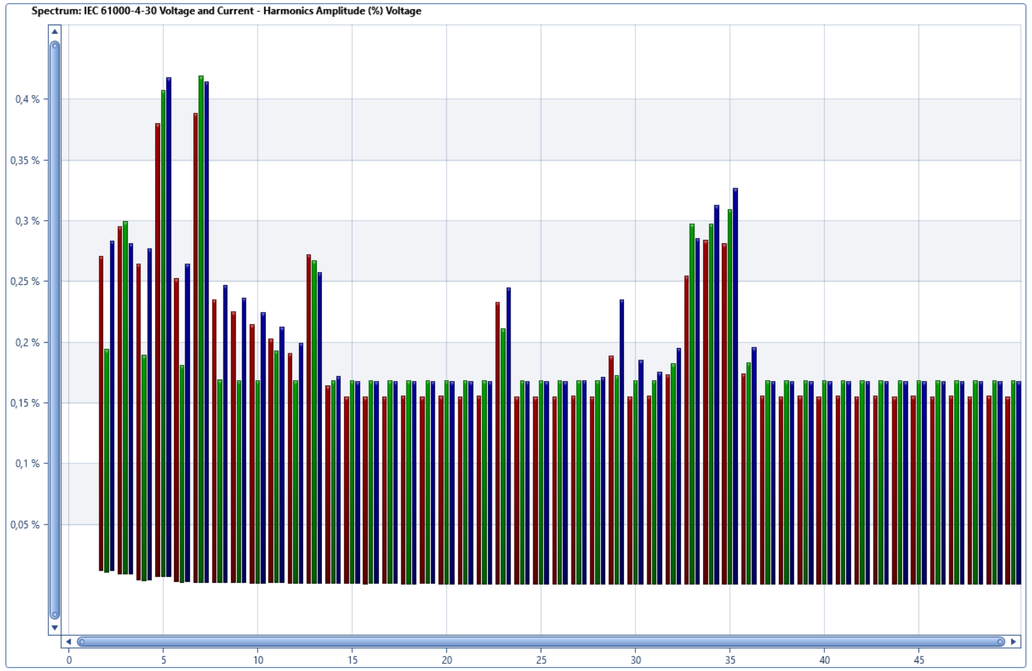
Harmonisk støy fra omformere: tyristorer





Harmonisk støy fra omformere: IGBTer



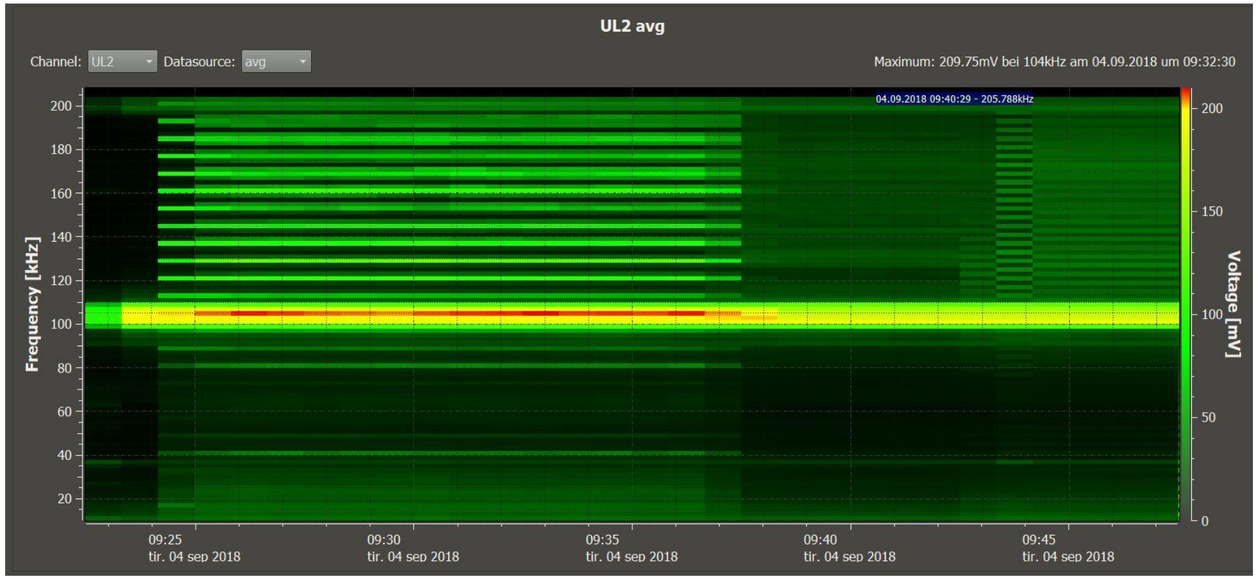


Bransjen ofte dårlig på forskjellen!

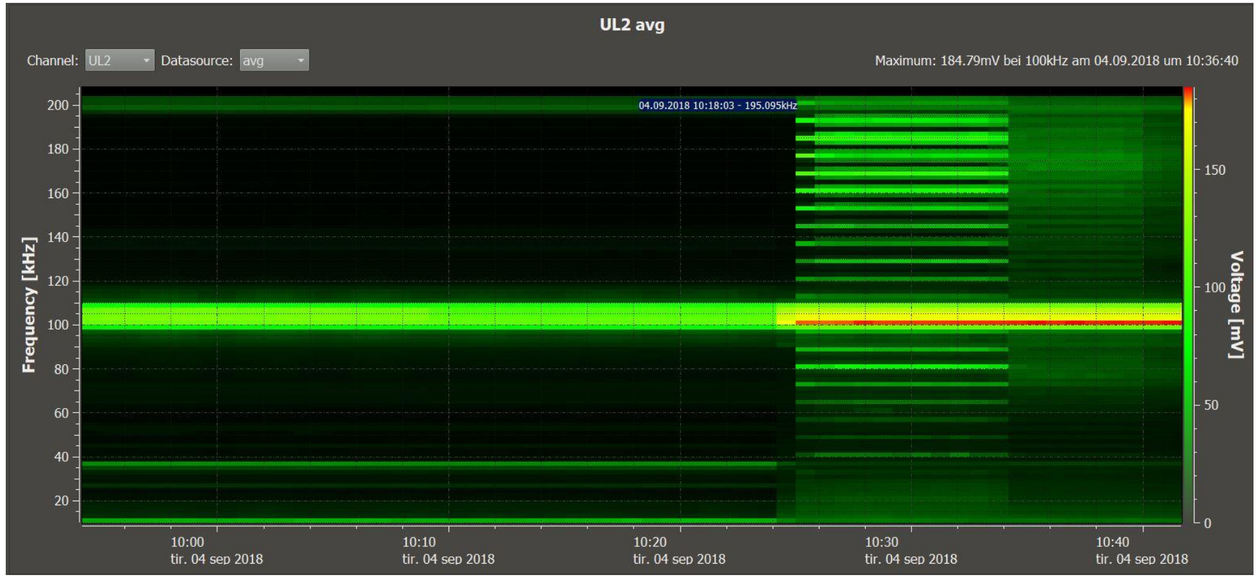
- Tiltak for å begrense harmonisk støy fra IGBTer er IKKE det samme som for å redusere støy fra tyristorer
- Mange (særlig gamlegutta) tenker på en omformer som en 6-puls likeretter
- Gjør at man sauser sammen problemstillinger rundt harmonisk støy, reaktivt forbruk, osv., og fatter feil tiltak når det oppstår problemer

Problemer med svitsjestøy fra vifte

- Uten tiltak



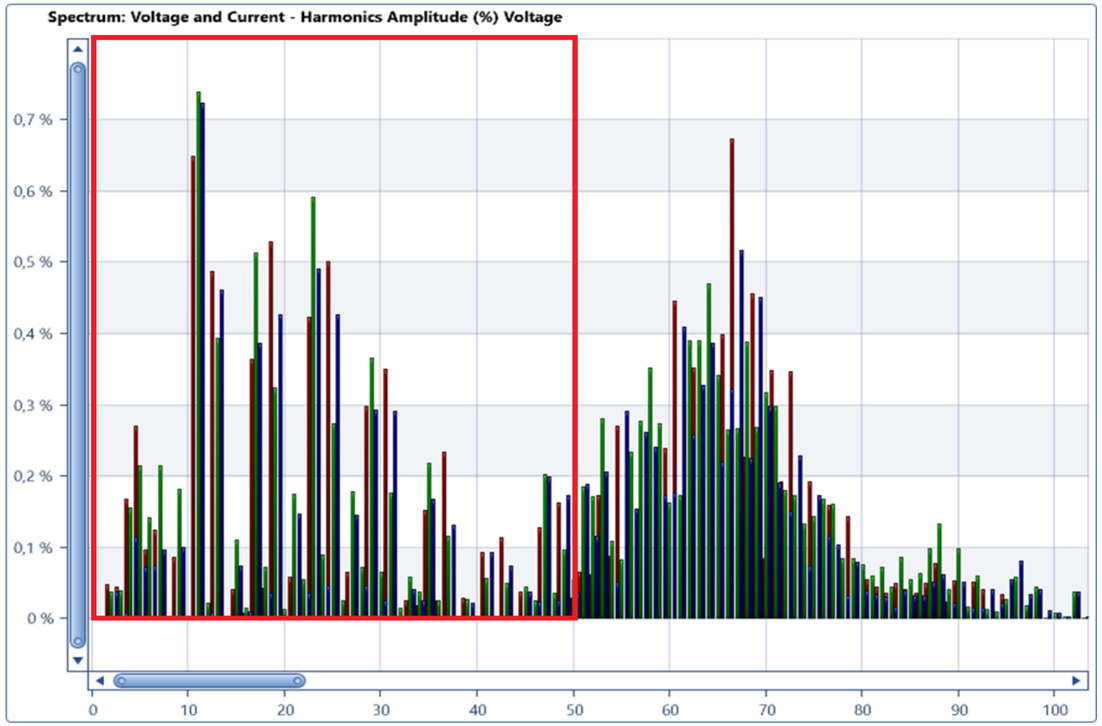
- Med drossel for å redusere lavere ordens harmoniske



Hva slags måleinstrumenter bruker man?

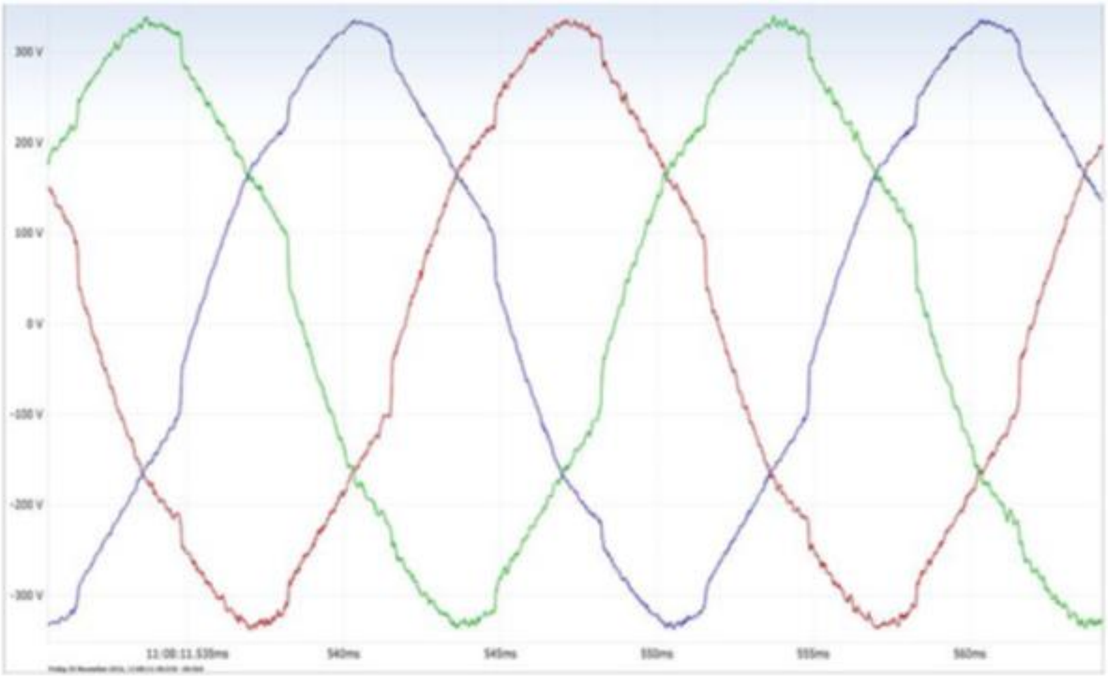
- «Vi bruker IEC 61000-4-30 klasse A»
  - Godt nok i henhold til IEC og norsk forskrift

- Men da måles IKKE nødvendigvis:
  - Kurveform (ev kun kortvarig under hendelser)
  - Harmoniske over 50. (noen ganger 40.)
  - 10-ms verdier for RMS-spenning og strøm

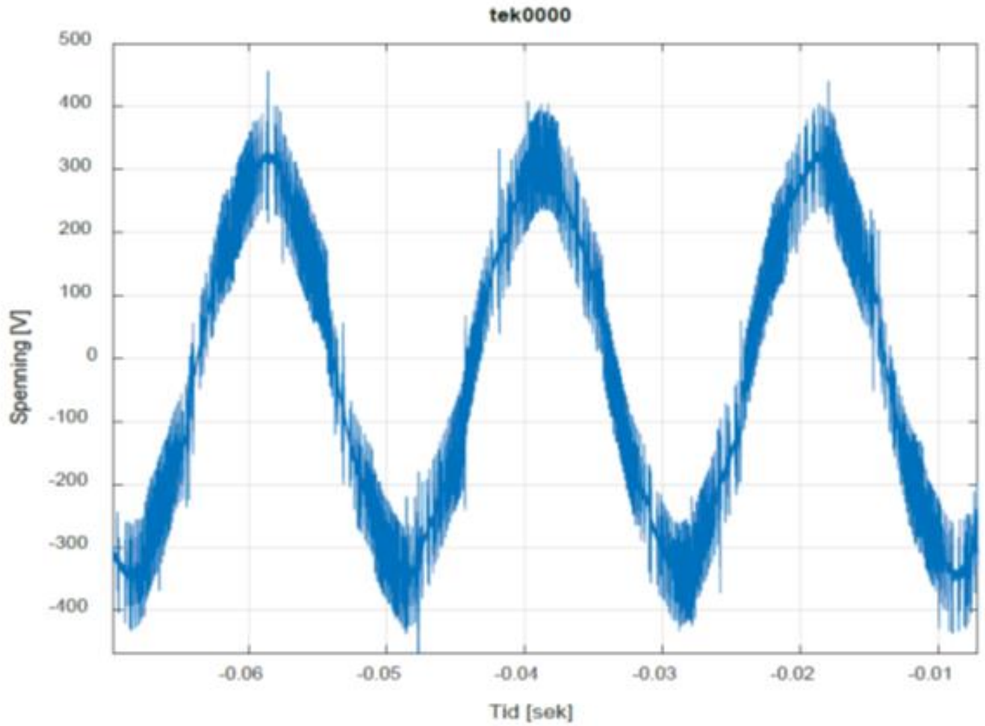


Innvirkning av samplehastighet

- 50 kHz sampling (Elspec Blackbox G4500)

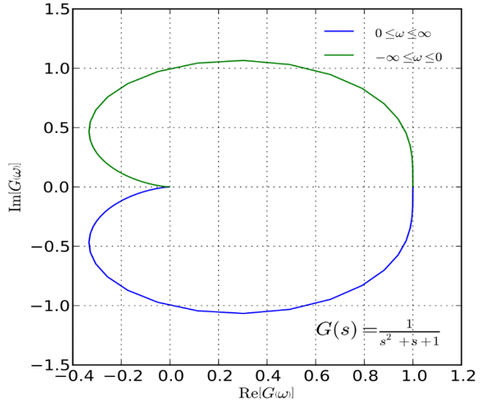


- 100 MHz sampling (Oscilloskop)

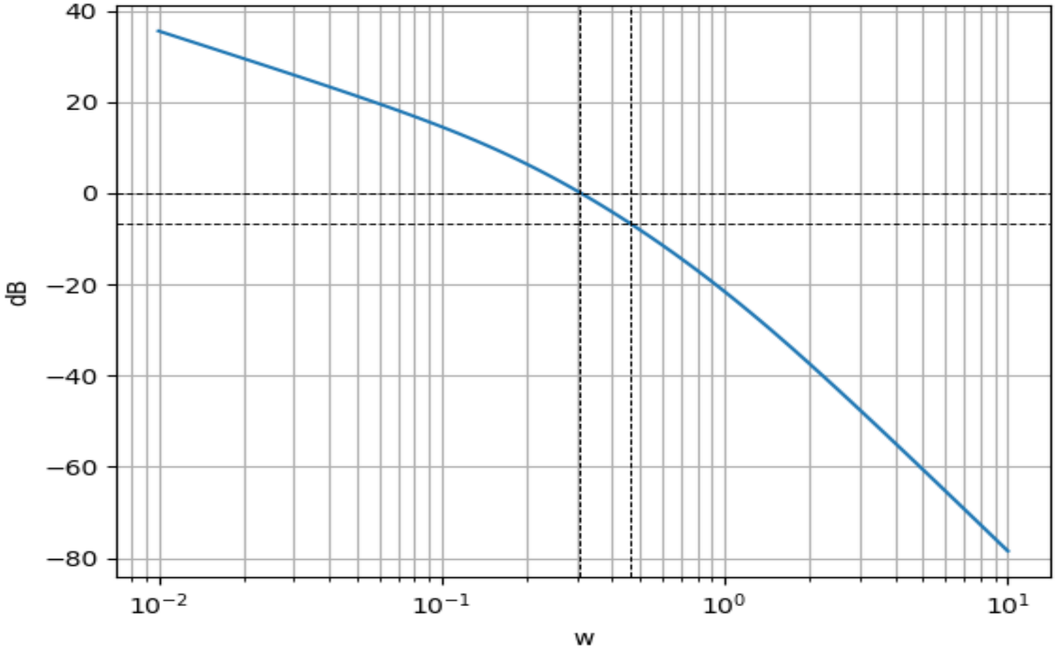


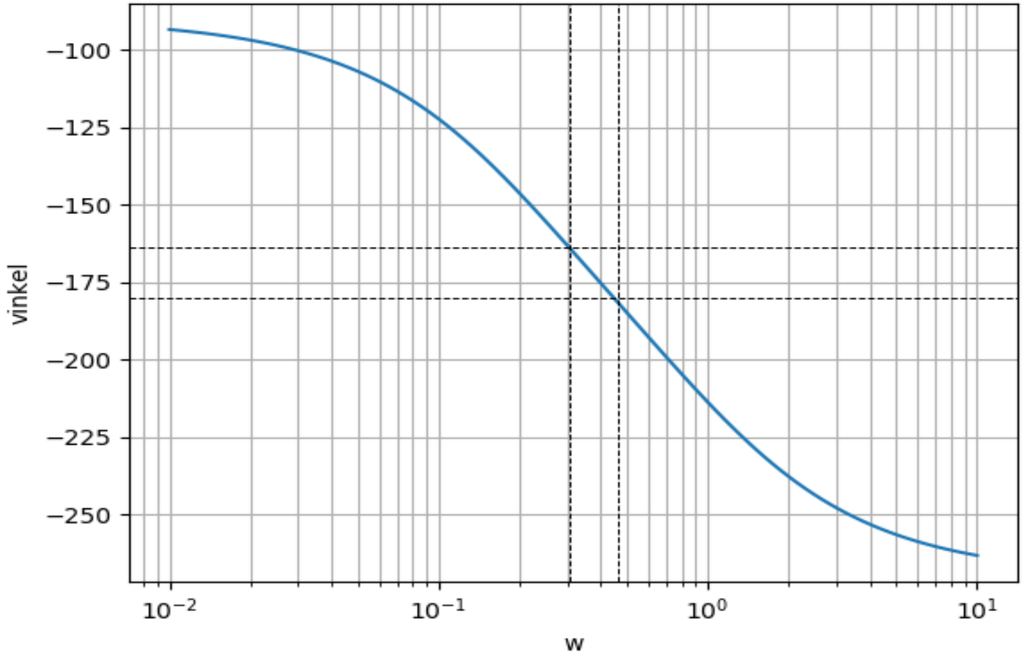
Stabilitet - INTRO

$$H(s) = \frac{K * (s + a)}{(s + b)(s + c)}$$



- https://www.youtube.com/watch?v=4jk9H5AB4lM

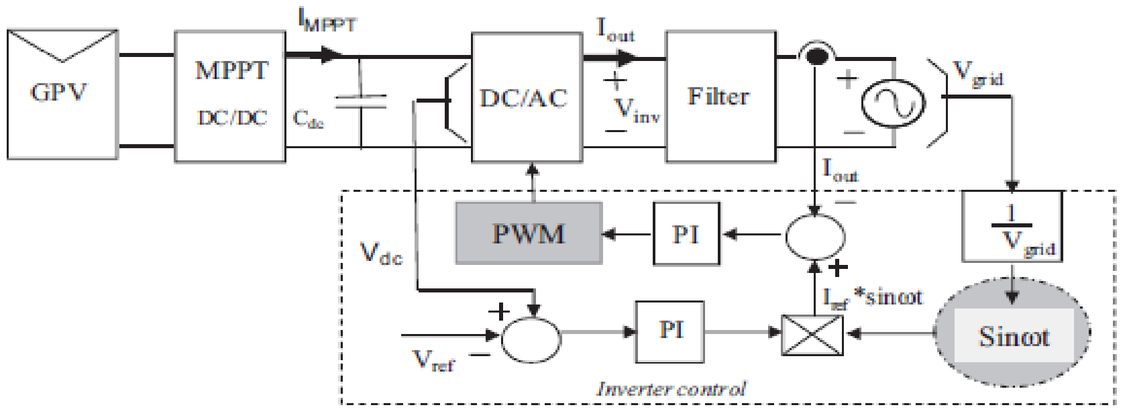


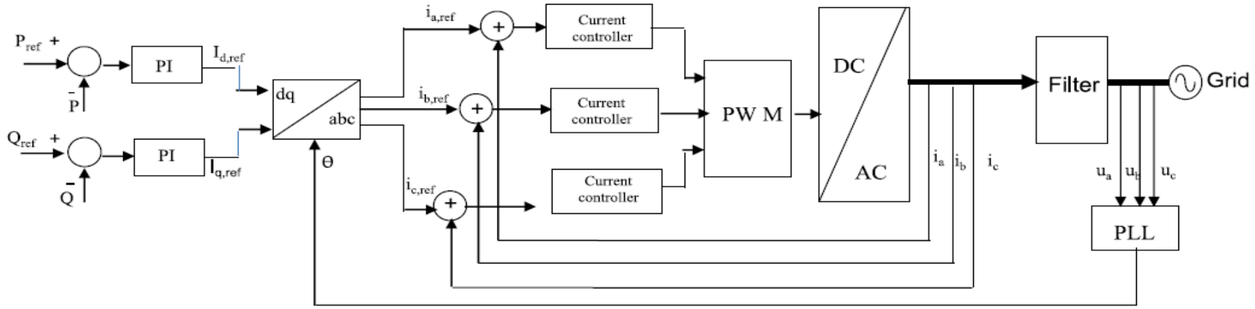


Solcellevekselretteres kontrollsystem

- Viktigste komponenter:
  - Indre strømsløyfer
  - Ytre strømsløyfer
  - PWM / modulator
  - PLL

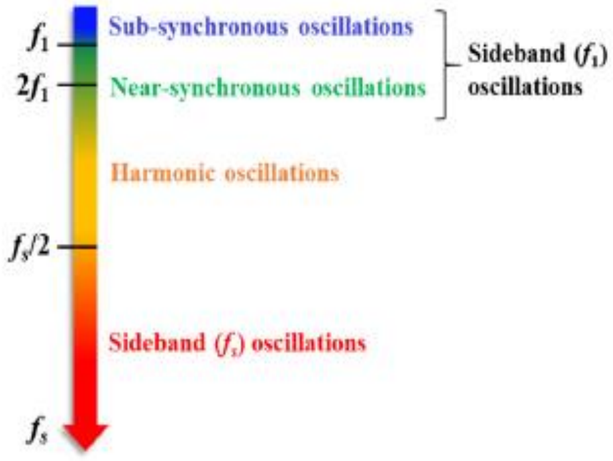
- Mange variasjoner på kontrollsystemet
  - abc
  - αβ
  - dq



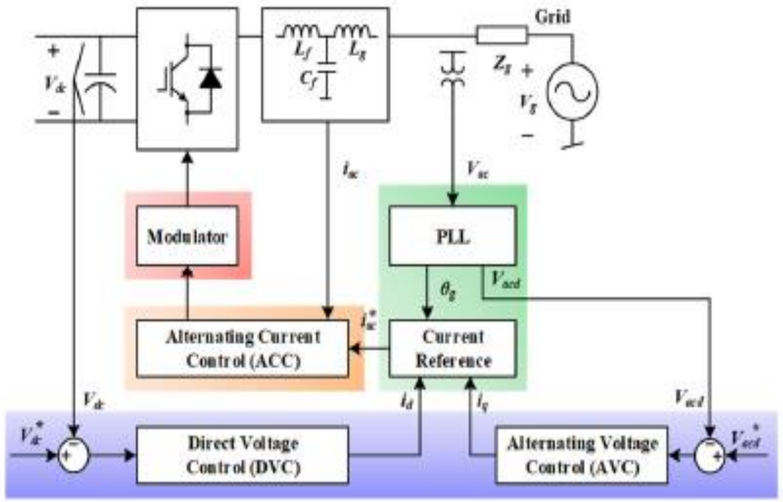


Kilder til stabilitetsproblemer

- Alle kontrollsløyfene kan bli mer eller mindre ustabile
- Hva slags type støy som oppstår avhenger av hvilken regulator som blir ustabil



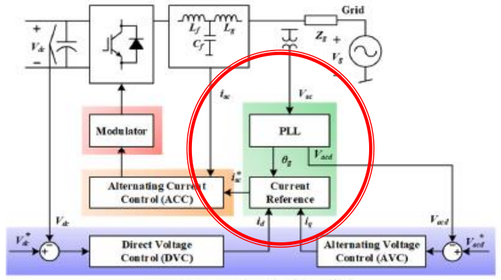
f_1: Grid fundamental frequency; f_s: Switching frequency



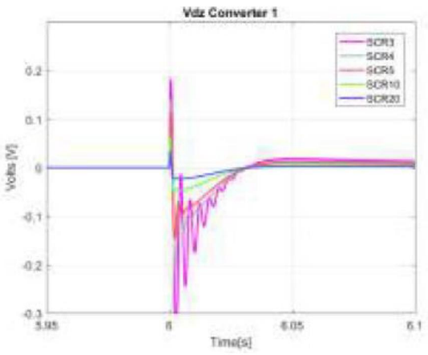
Cascaded control system for VSCs

Eksempler

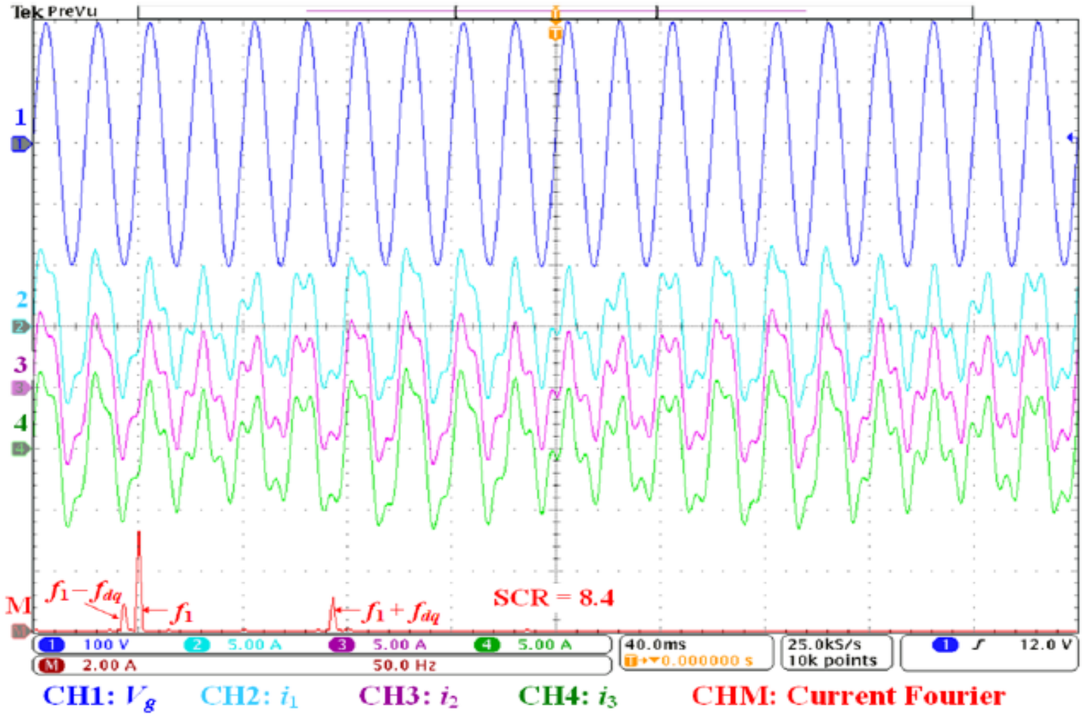
- Eksempel på ustabilitet i PLL-sløyfen
- Nettets impedans er en viktig parameter
  - Høy induktans –> problemer



Cascaded control system for VSCs



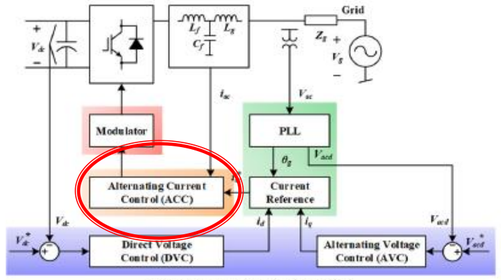
Kilde:: Samarbeidspartner, EMC-nett



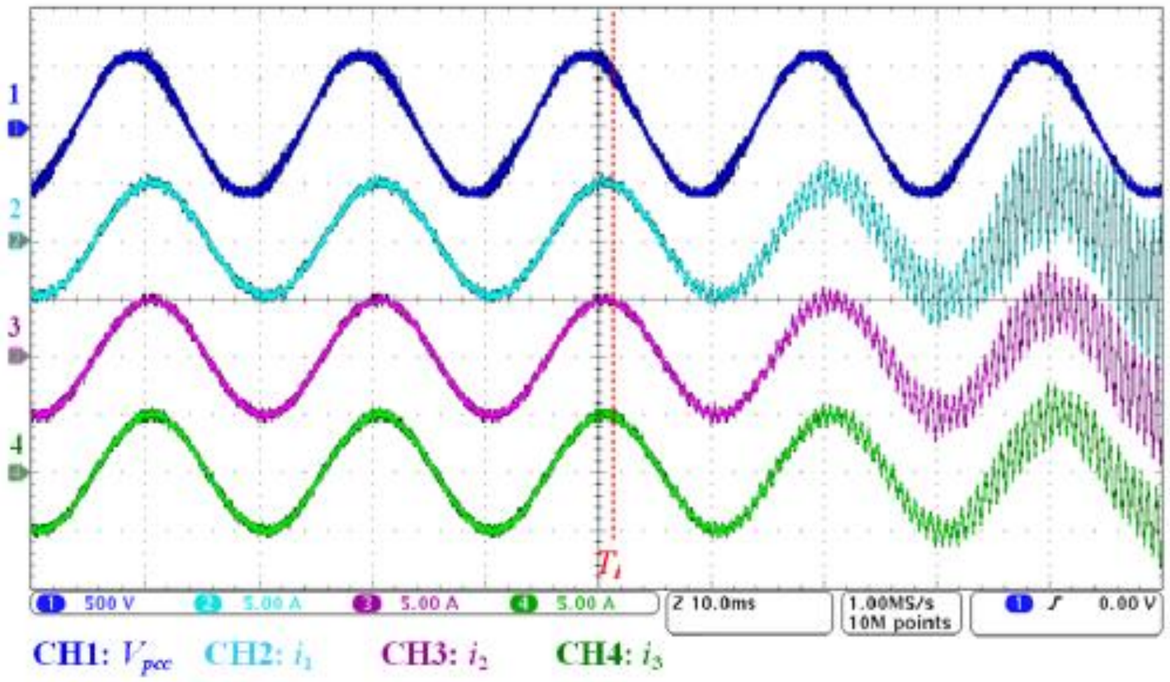
Eksempler

- Ustabilitet i indre strømsløyfe
  - Fremprovosert ved å øke båndbredden til systemet
  - Produserer en annen type støy

- Antall omformere har også innvirkning
  - Systemet til høyre er stabilt med to vekselrettere
  - Systemet blir ustabilt ved parallellkobling av tre vekselrettere

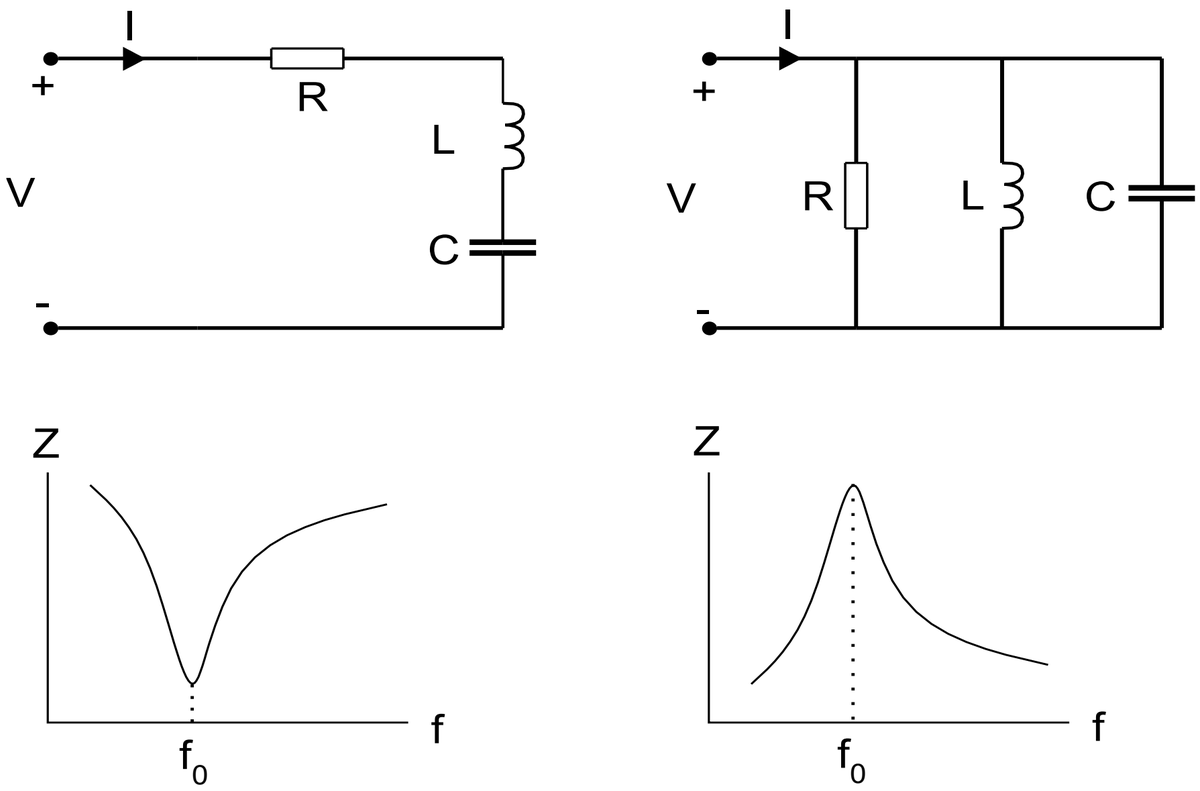


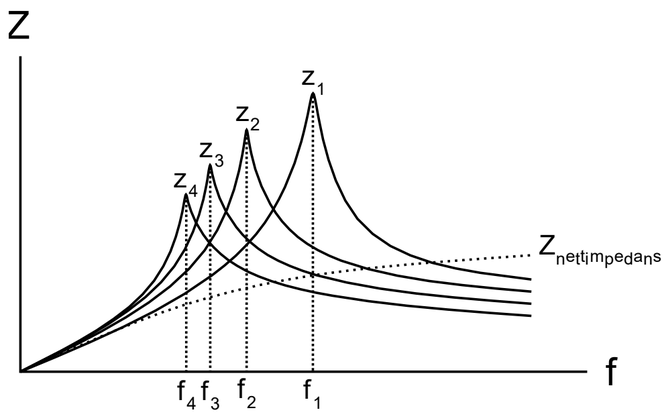
Cascaded control system for VSCs



Resonans

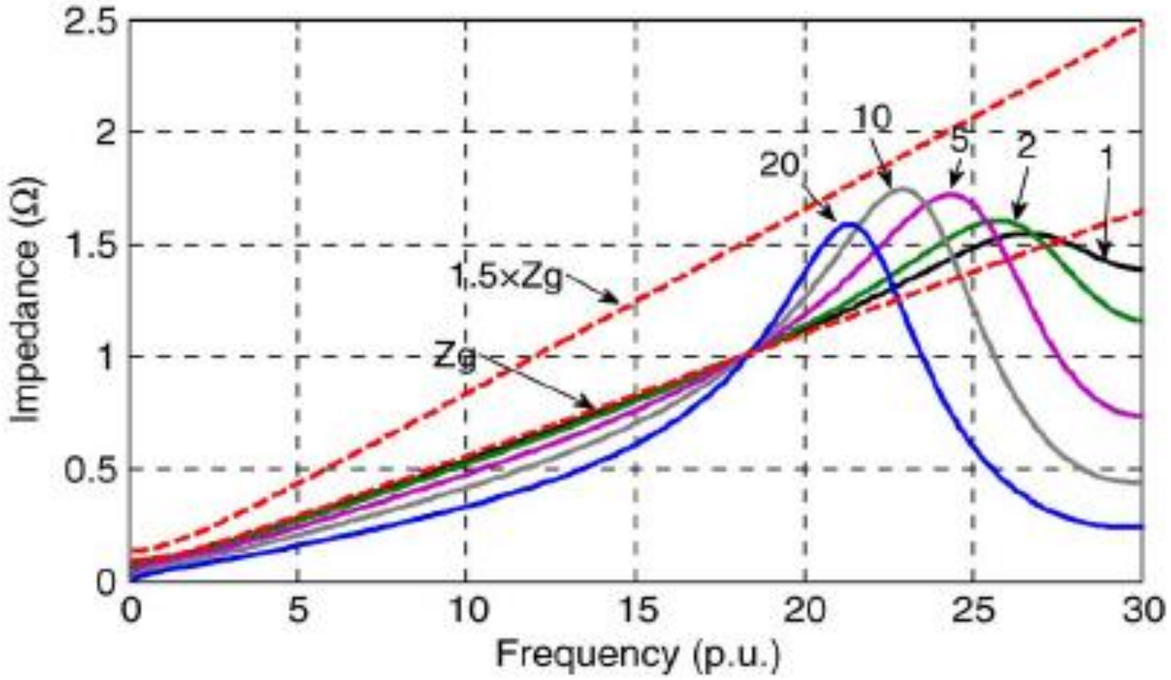
- Strømresonans (serieresonans)
- Spenningsresonans (parallellresonans)





Endring av resonansfrekvensen

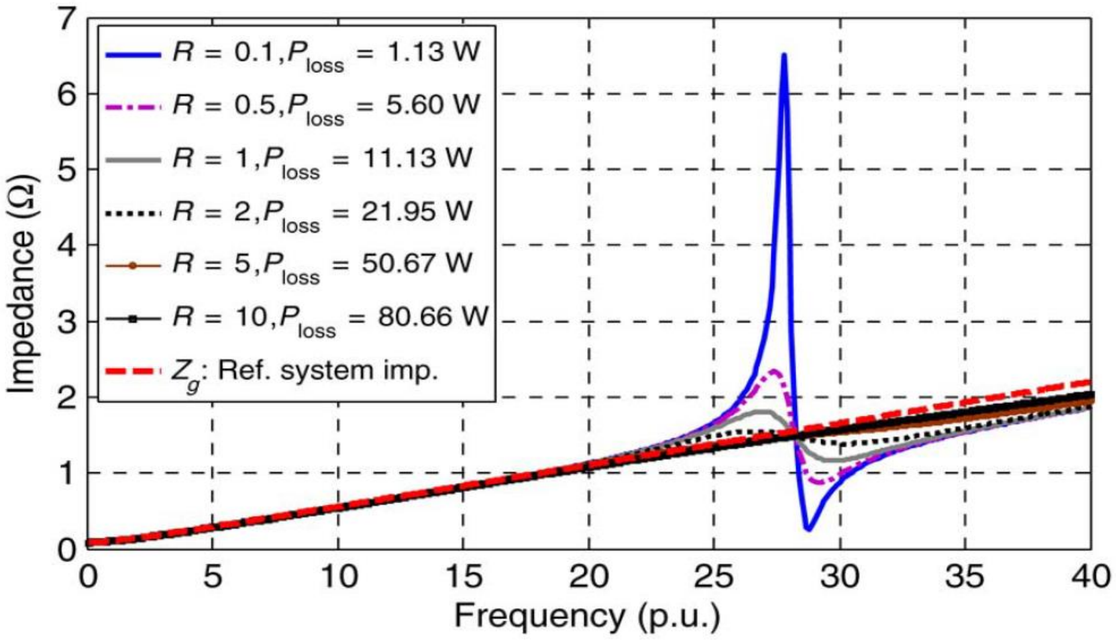
- Tilkobling av flere vekselrettere bidrar til å redusere resonansfrekvensen
- Resonanstoppen øker (høyest ved ca. 10 vekselrettere)
- Ikke unikt for solcelleanlegg, gjelder alt elektrisk utstyr
  - Målt på et tilfelle med LED-lys



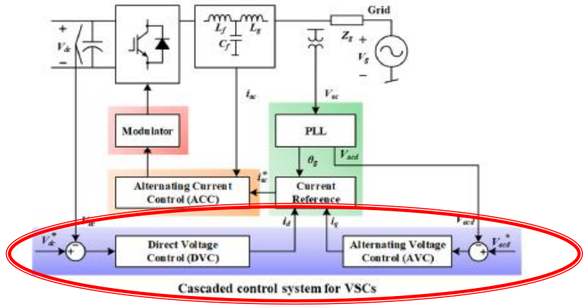
Dempning

- Passiv dempning: motstand i serie med vekselretteren
  - Reduserer virkningsgrad
  - Billig

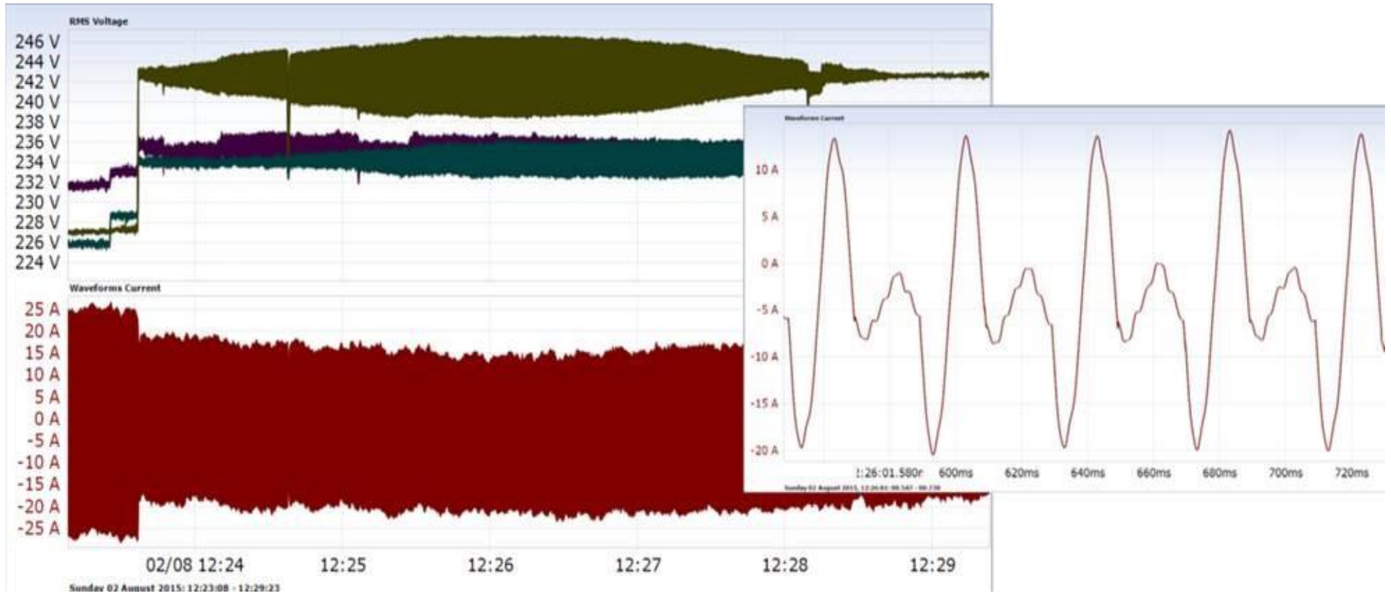
- Aktiv dempning:
  - Komplisert / dyrt
  - Blitt mer vanlig etter hvert som produsentene pusher virkningsgraden mer og mer



Eksempler fra virkeligheten

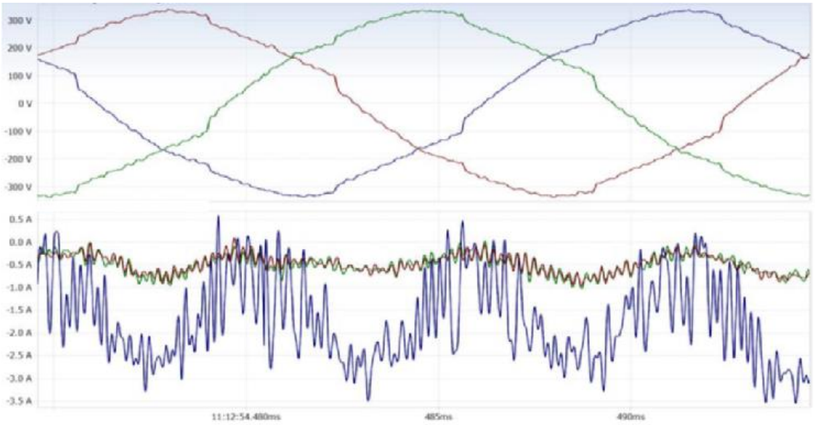


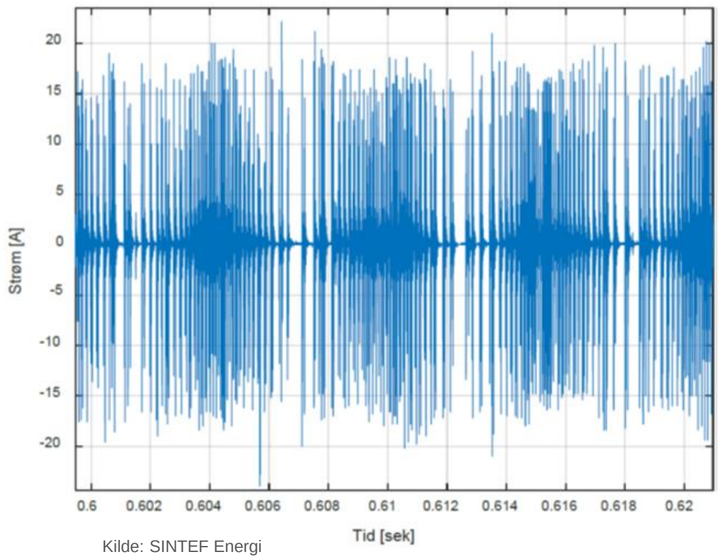
- 3,06 kWp anlegg i et svakt nett
  - Ik2min = 237 A
  - Fronius Galvo 3.1-1
- Symptomer:
  - 25 Hz svingninger
  - DC-offset
- Trigges av større spenningsvariasjoner
- Vært temaer i forskningsprosjekter og masteroppgaver i en årrekke ☺



Fronius sine anbefalinger

- Muligens forårsaket av problemer i ytre kontrollsløyfe
  - Hadde visstnok vært tilfelle i andre svake nett
- Foreslått å endre reguleringsmodus i denne
  - Til cosphi +0,85 og -0,85
- Tilsynelatende ingen innvirkning av endringen
  - Et måleinstrument hadde røket kort tid før dette
  - Etter noen måneder røk det andre instrumentet også
  - Vanskelig å konkludere





Kilde: SINTEF Energi

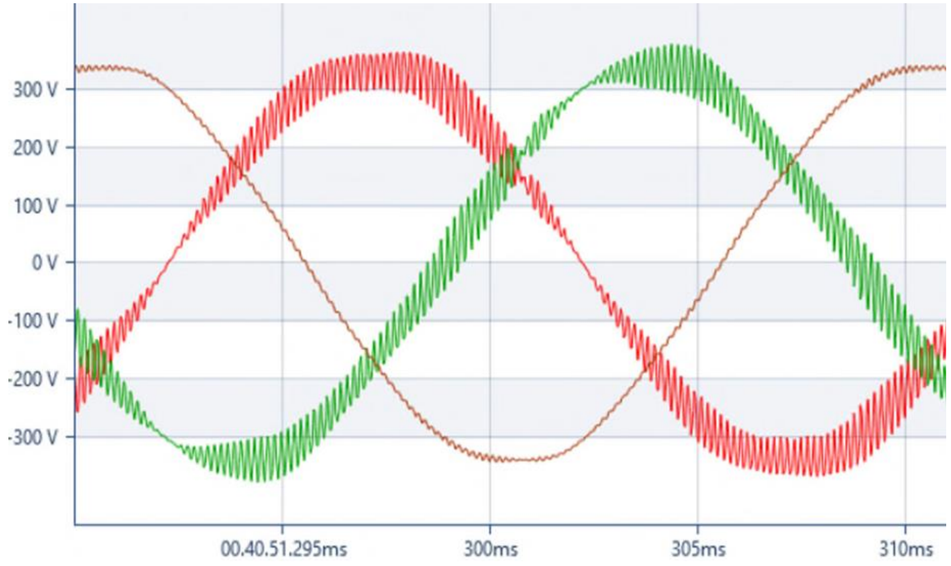
Hva annet kan skje i svake nett?

- Tre case om elbilladeproblemer

- Noen lignende karakteristikker med solcelleanlegg
  - Kraftelektronikk med svitsjefrekvens i samme område
  - 10 – 32 A ladestrøm, enfase og trefase
  - Svake og sterke nett
  - Områder med mange elbiler på samme sted

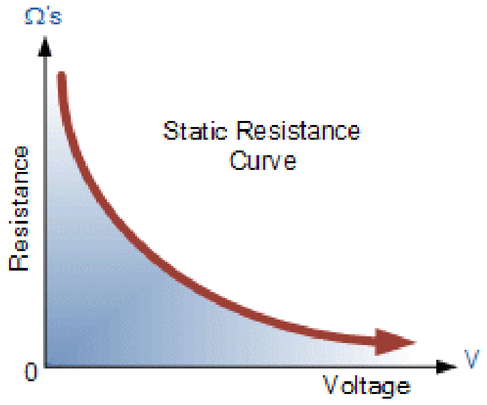
Overspenningsvern som ryker?

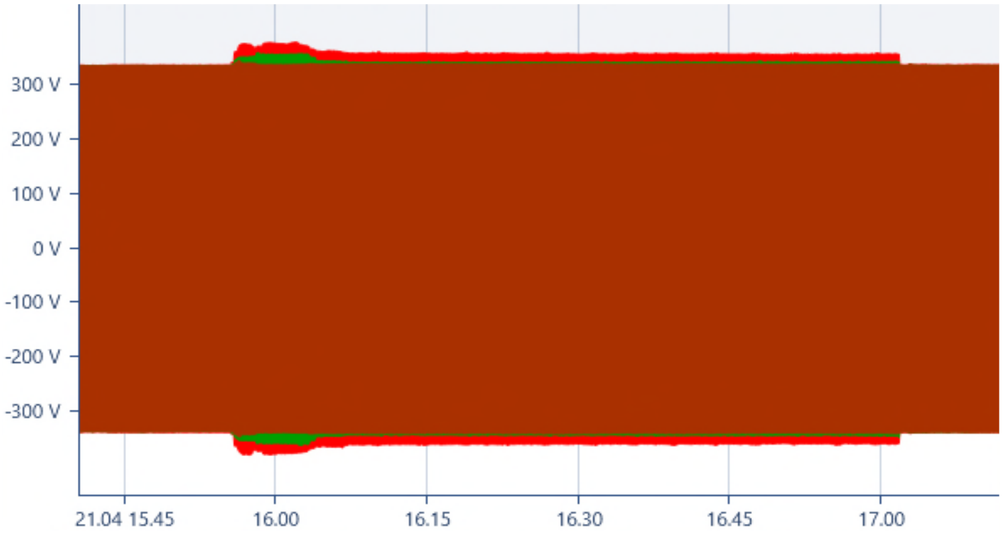
- RMS-spenningen er helt OK (240 - 245 V) ila. måleperioden
- Varistorene har tennspenning på 270 V (?)
- Ryker gradvis, etter ca. en måned
- Målt tidvis høye støynivåer, forårsaket av en gammel Think



Årsak til varistorhavariene

- Peakspenning øker kraftig pga. den forvrengte kurveformen
- Siden spenningen er litt høy i utgangspunktet begynner man å komme inn i ledeområdet til varistoren
- Litt sært problem? Think brukes jo ikke så mye lenger

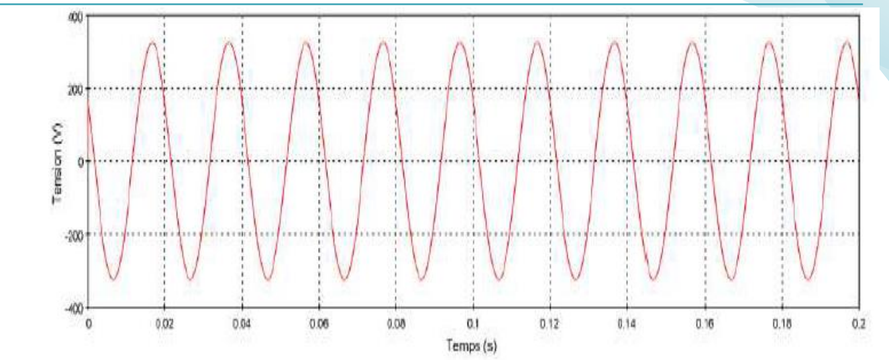


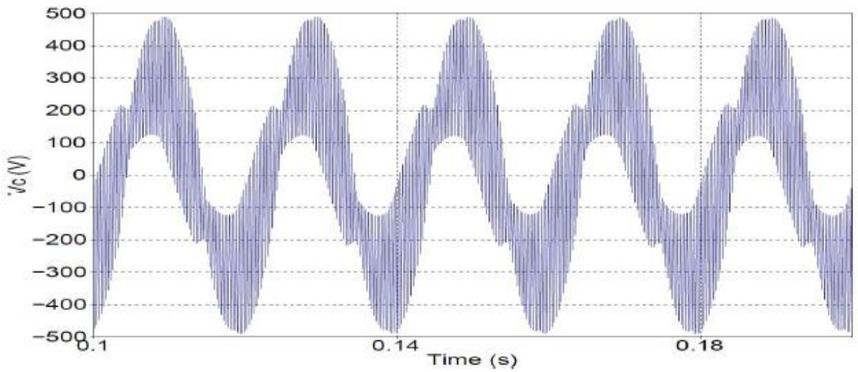


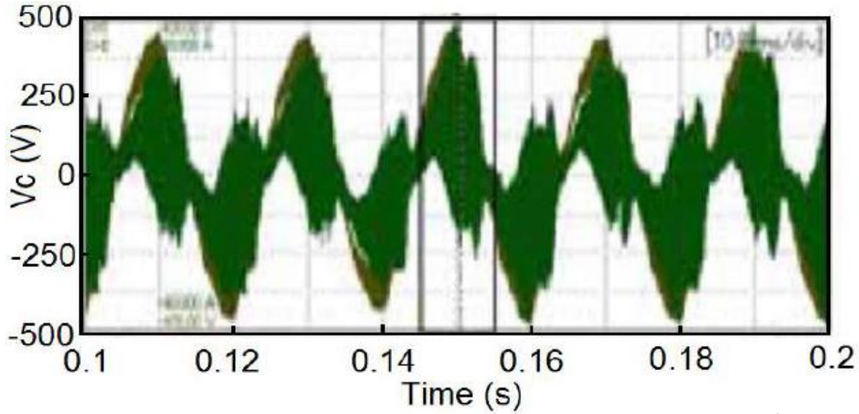
Støynivå avhenger av nettstyrke

- Simuleringer vs målinger fra et case i Frankrike

- Øverst: Simulert spenning i sterkt nett
- Midten: Simulert spenning i nett med høy induktans
- Nederst: Faktisk måling i testnett med høy induktans

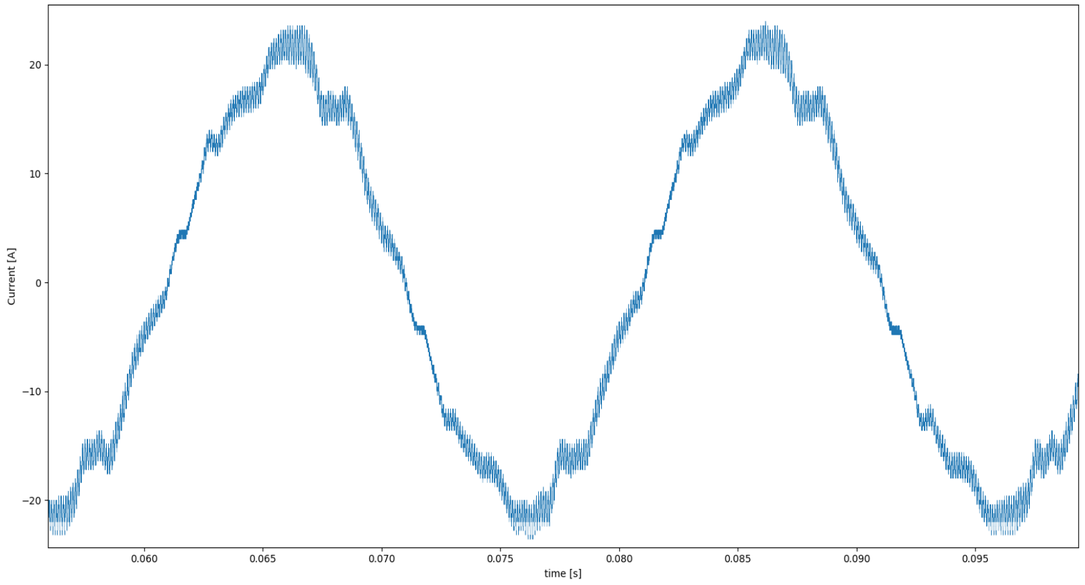


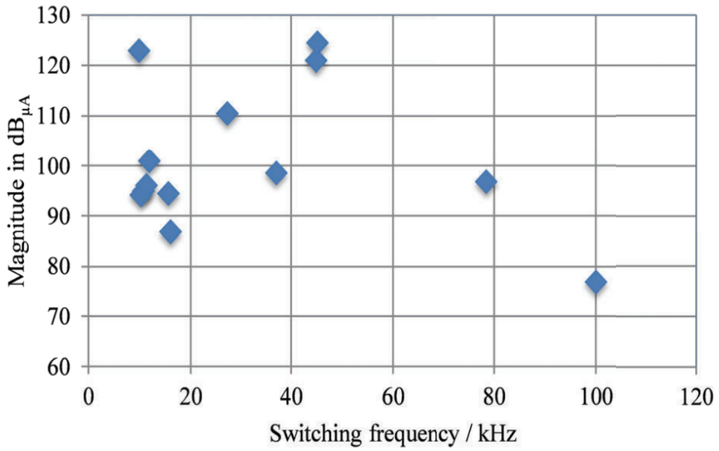




Pipelyder fra oppvaskmaskinen under elbillading?

- Et Zoe problem – rapportert om fra andre steder i Europa også
- Mye innmatet harmonisk støy / dårlig design som er årsaken

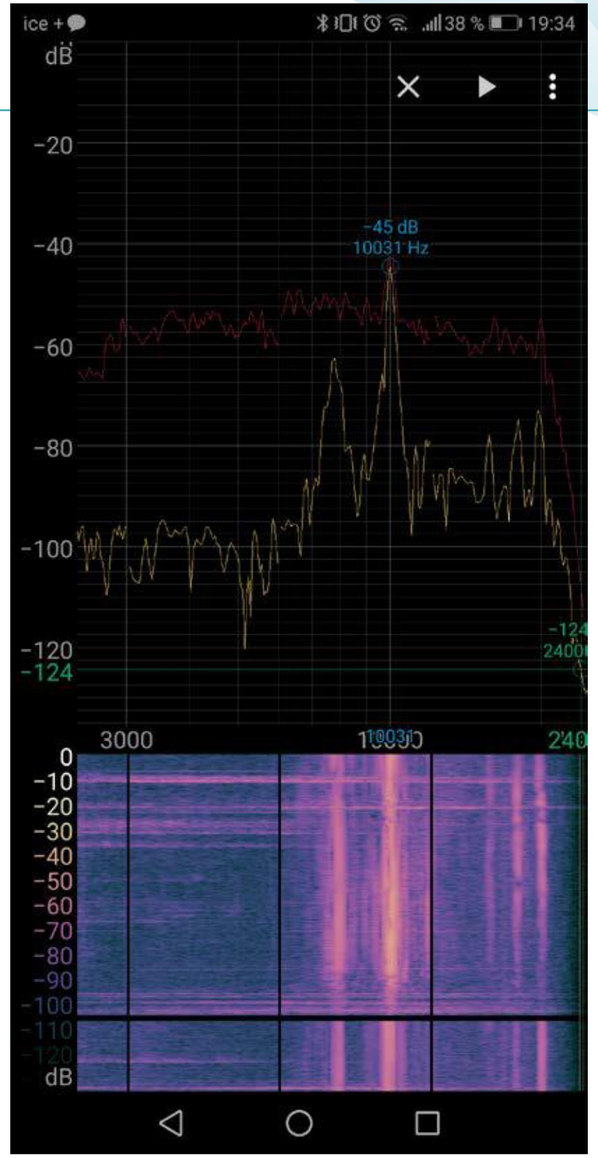




Hvorfor piper det?

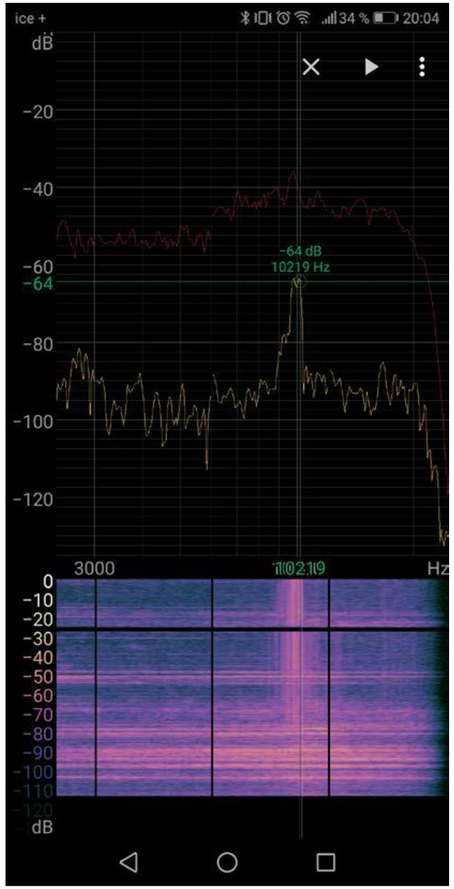
- Den høyfrekvente strømmen går til EMC-filtrene til de andre apparatene i installasjonen

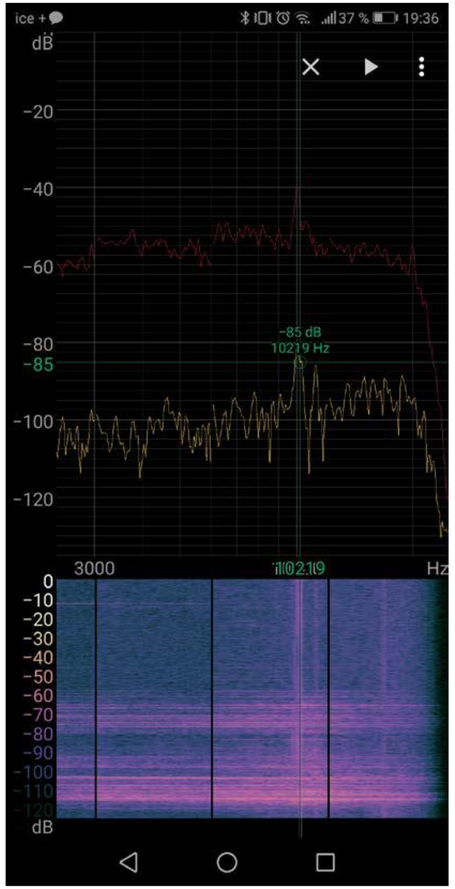
- Vibrasjoner forårsaket i kondensatorer mm. skaper akustisk støy
  - Elektristriksjon, tilsvarende som magnetostriksjon



Hva kan man gjøre med dette?

- Installere filter!
  - Bør ha god demping i differential mode ved 10 kHz
- Fungerte det?
- Njaaa, litt
  - Overspenningsvernet på elbilen slo ut med det ene filteret
  - Viser at et filter ikke er et filter, og man må ha «rett verktøy for jobben



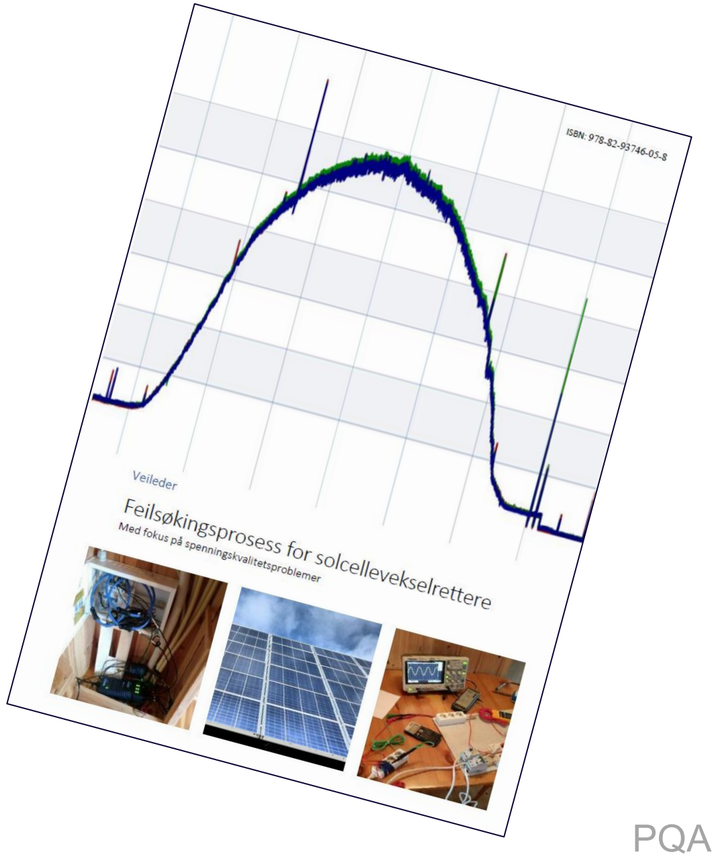


Generell fremgangsmetode for feilsøking ved mistanke om ustabilitet eller resonans

- Utelukk vanlige problemstillinger
    1. For høy spenning (og konservativt innstilt vern)
    2. Feilmontering / ødelagt vekselretter / andre komponentfeil i anlegget
    2. Jordfeil og andre IT-nett relaterte problemstillinger (DC-spenninger)

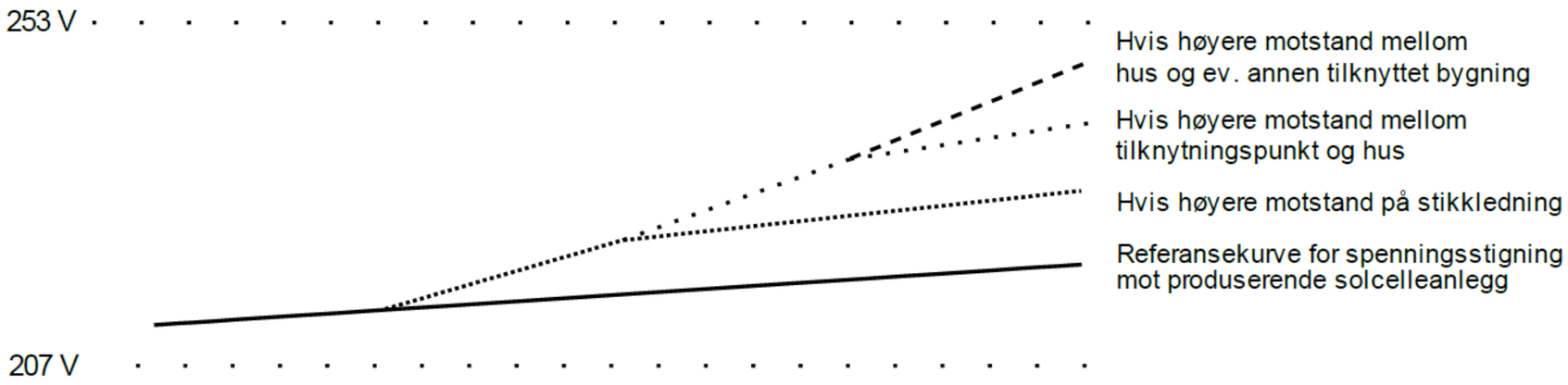
- Kontroller at problemene forsvinner når solcelleanlegget er frakoblet

- Samle info
    - Ev. spenningshistorikk og produksjonsdata fra vekselretter
    - Kortslutningsytelse
    - Har nettselskapet AMS-data?
        - Varsler på for høy / lav spenning
        - Statistiske verdier
        - Kan det være aktuelt å skru på kontinuerlig spenningsmåling?



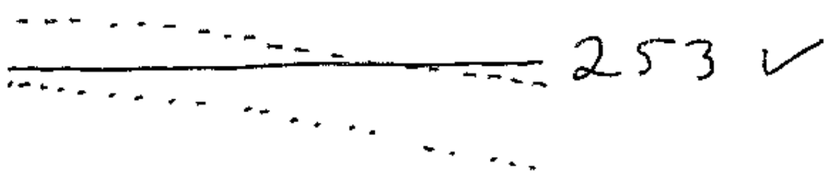
Overspenninger og overspenningsvern

- Noen «klassikere»
  - OK spenning på inntaket, men høy spenning ved vekselretteren som står i nabobygget (f.eks. låven)
  - Benyttet en 400/230 V trafo, uten å ta hensyn til spenningsfallet over denne
  - Nettselskapet har byttet trinnposisjon ved arbeid på trafo

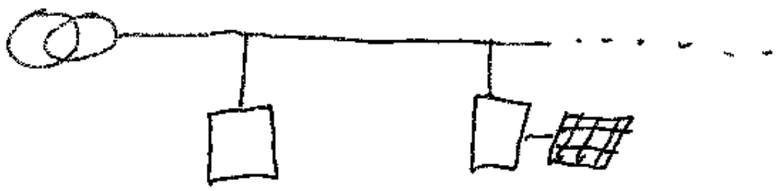


247 eller 253 V?

- 253 V (Un + 10 %) er høyeste tillatt spenning i FoL, EN 50160, og det meste av internasjonale standarder for 230 V anlegg
  - Vanlig trippverdi for vekselrettere i Europa

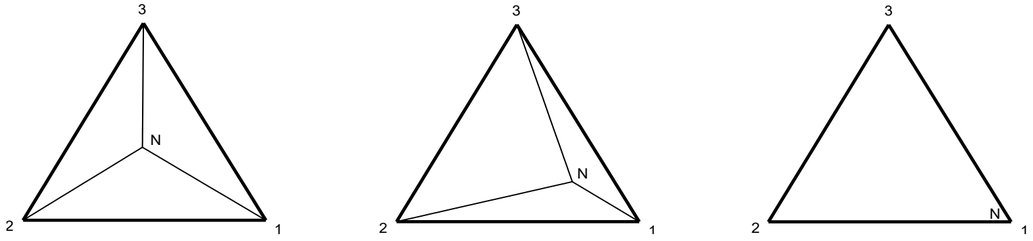


- Hvor kommer 247 kravet fra? Hvorfor bruke noe annet enn 253?
  - Historisk, kommer fra REN-blad 342
  - Verdien satt basert på innspill fra SINTEF (og mye annet i bladet)
  - Bekymring om at spenningen for kunder nær trafo kunne bli over 253 V om spenningen var tillatt til å bli 253 V hos andre kunder
  - Ikke *veldig* sannsynlig

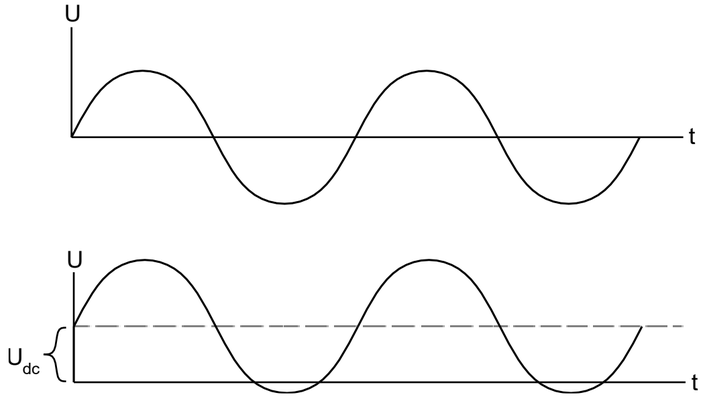


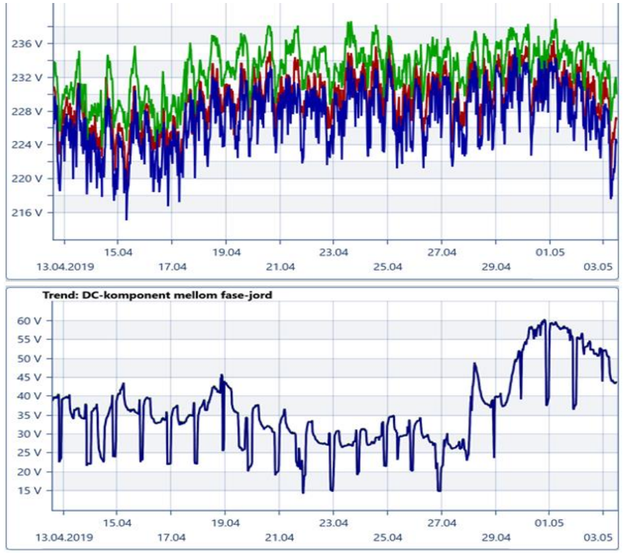
- Obsobs, ikke bland med REN-blad 3040
  - Nye krav til verninnstillinger i EN 50549, to be decided..

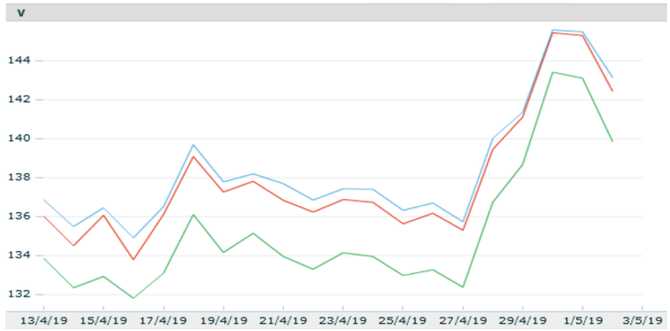
Jordfeil og DC-spenninger



- Noen vekselrettere bruker fasespenning til å detektere overspenninger
  - Et dumt valg i et IT-nett
  - Flytende nullpunkt tilsier store og uforutsigbare spenningsvariasjoner







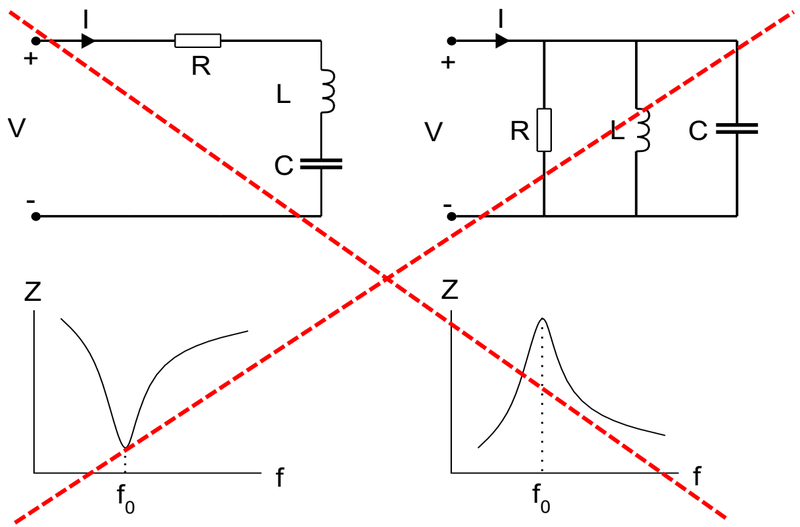
Feilsøking

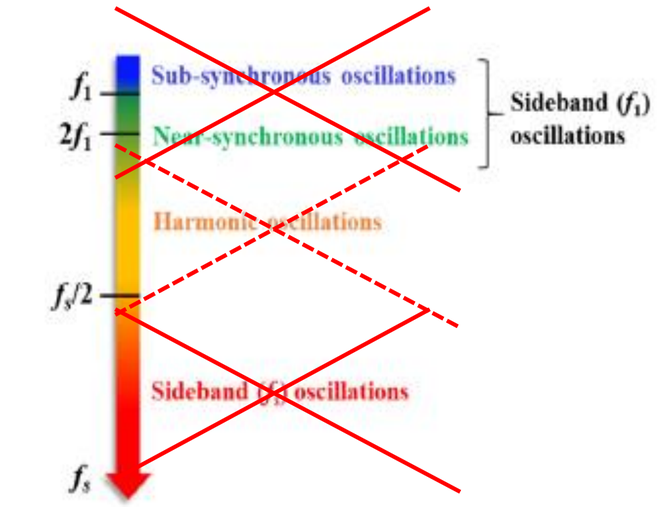
- Kan feilsøkes med et vanlig multimeter som kan måle DC (men ikke som har autodeteksjon av AC eller DC)

- I andre tilfeller var DC-spenningen forårsaket av overspenningsvern fra Cenica
  - Har også laget krøll for elbilladere
  - Potensielt også andre apparater?

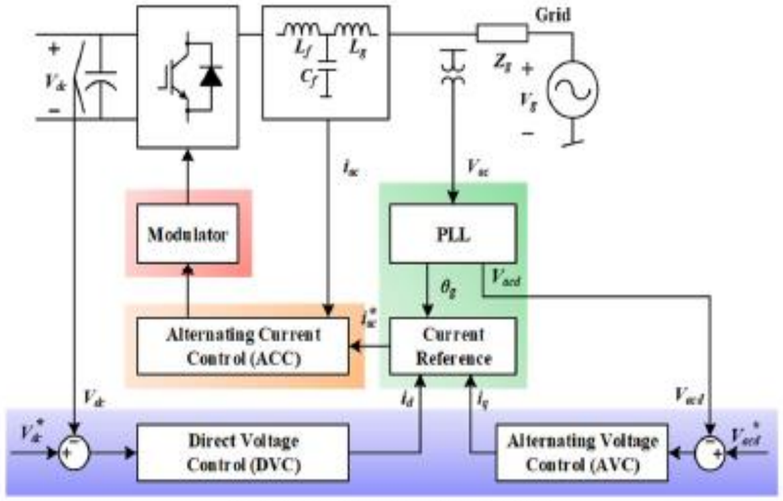
Ikke løst problemet? Behov for måling

- Hva kan et «vanlig» PQ-instrument måle?





f_1: Grid fundamental frequency; f_s: Switching frequency



Cascaded control system for VSCs

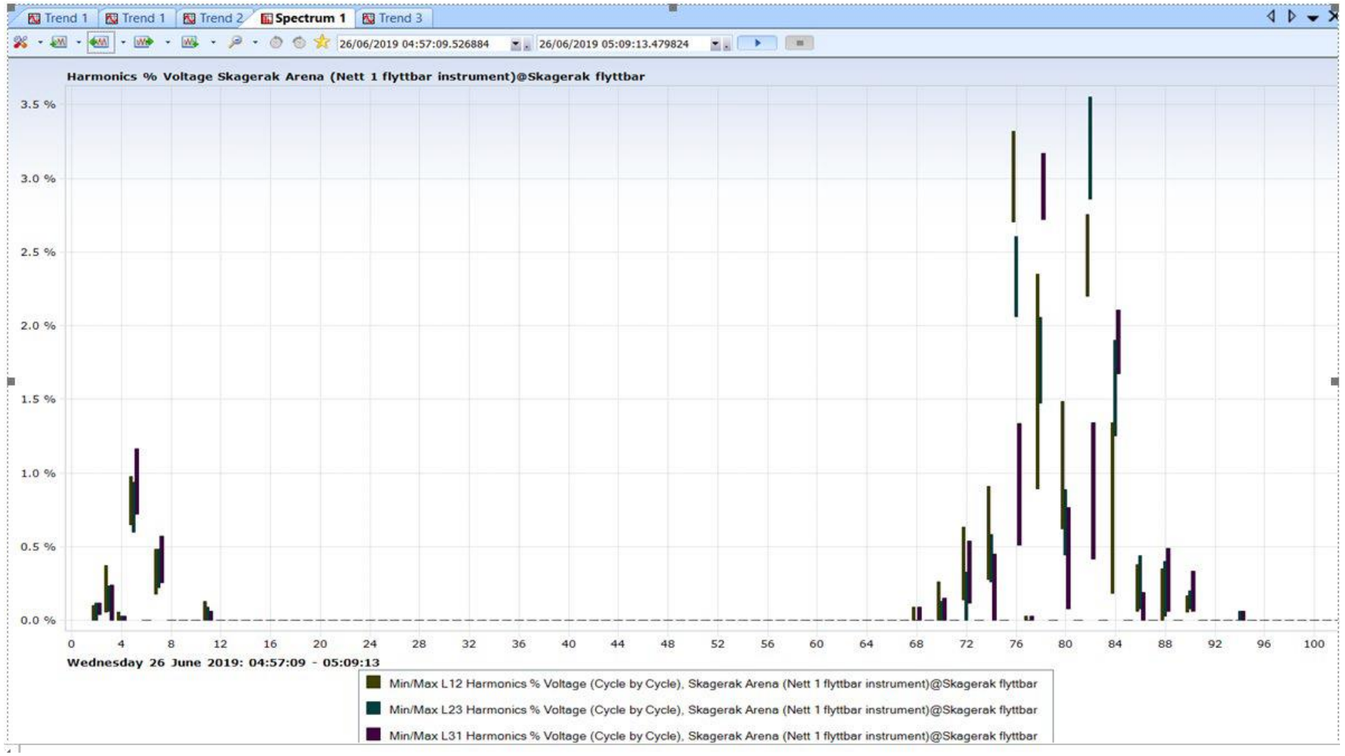
Hva må måleinstrumentet kunne?

- Må:
  - Interharmoniske spenninger
  - Samplefrekvens mer enn 2x svitsjefrekvens og mulighet til å se høyere ordens overharmoniske spenninger

- Bør:
  - 10ms RMS-verdier, til nøds 200ms eller 3s
  - Feilskriverfunksjonalitet, mulighet til å justere triggegrenser og hvor lenge før og etter en hendelse kontinuerlig kurveform lagres

Videre arbeidsområder

- Batterianlegg
- Mikronett



Kilde: Stig Simonsen, Brukermøte Spenningskvalitet 2019

P Q A

Takk for oppmerksomheten!