INDEPENDENT INSULATION GROUP

Beräkningsmetoder för elnät under stor osäkerhet

Oscar Lennerhag
oscar@i2g.se
Independent Insulation Group Sweden AB
Eriksgatan 1 / 771 31 Ludvika / Sweden
+46 (0)10 151 08 50
www.i2g.se

Bakgrund

- Industridoktorandprojekt 2017-2022
- Projektet finansierades av Energimyndigheten, Energiforsk, I2G, samt Svenska kraftnät
- Mer information om projektet samt lista på publikationer: www.i2g.se/phd

INDEPENDENT INSULATION GROUP

Kraftsystemet förändras…

Kraftsystemet förändras…

- Konsekvenser?
  - **Lägre resonansfrekvenser** och **mindre dämpning**
    → Ökad **risk** för förstärkning av övertoner
    → Ökad **risk** för ”resonanta överspänningar”
  - Mer **variabilitet** och **ökad komplexitet** i **driftläge** och **modellering** av kraftsystemet och komponenter
    → Ökad **osäkerhet**

Konsekvenser?

- **Förstärkning av övertoner** vid spänningssättning av kablar

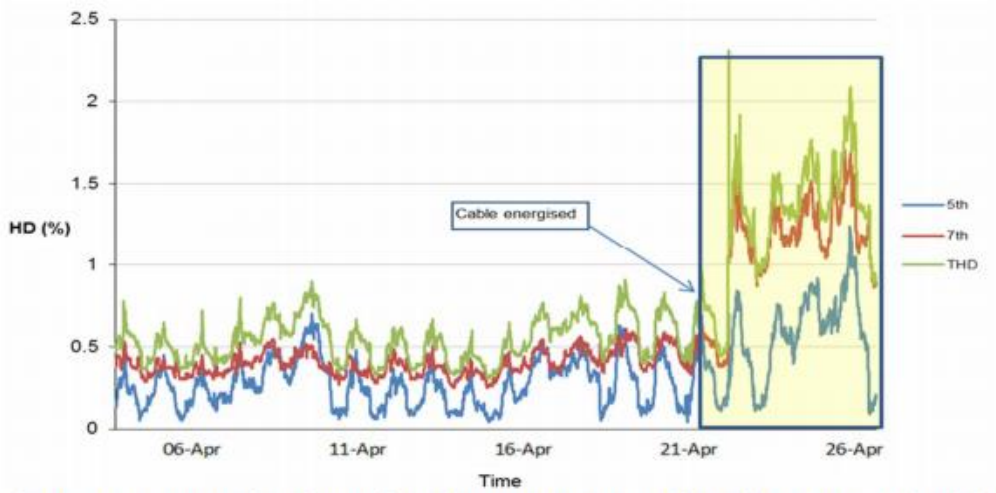


Figure 3-29: Harmonic voltage distortion measurements (10-min average values) before and after underground cable connection

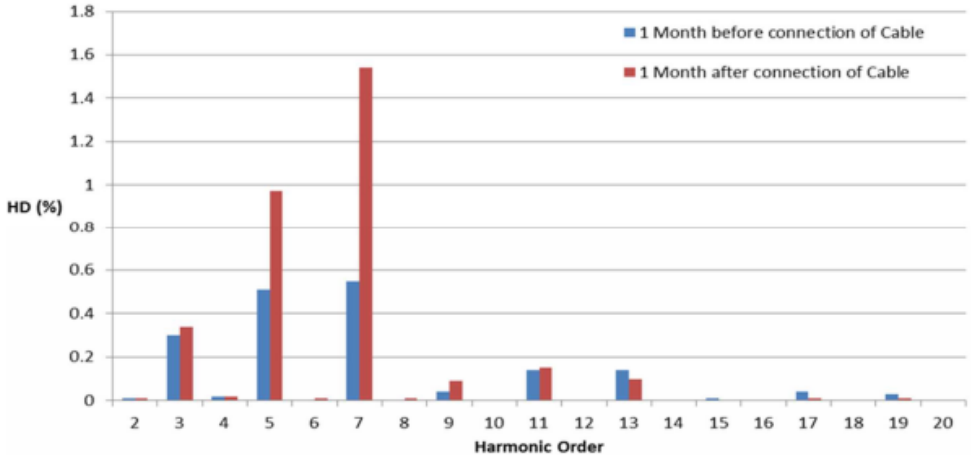
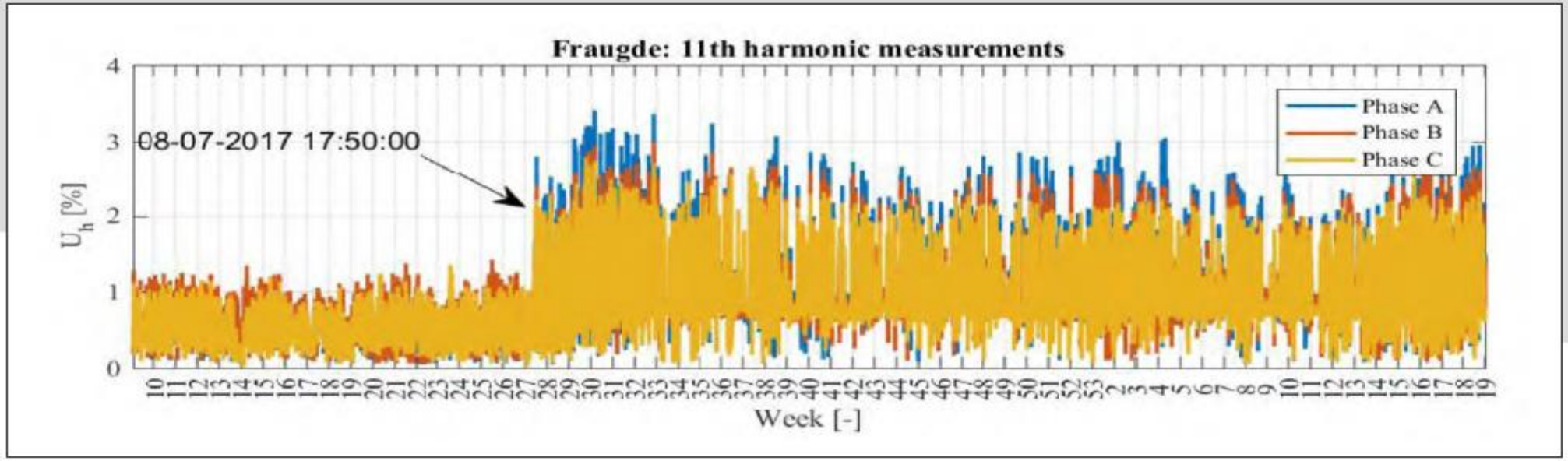


Figure 3-30: Harmonic voltage distortion measurements (95 percentile values) before and after underground cable connection

Källa: MIGRATE – Critical PQ phenomena and sources of PQ disturbances in PE rich power systems

Konsekvenser?

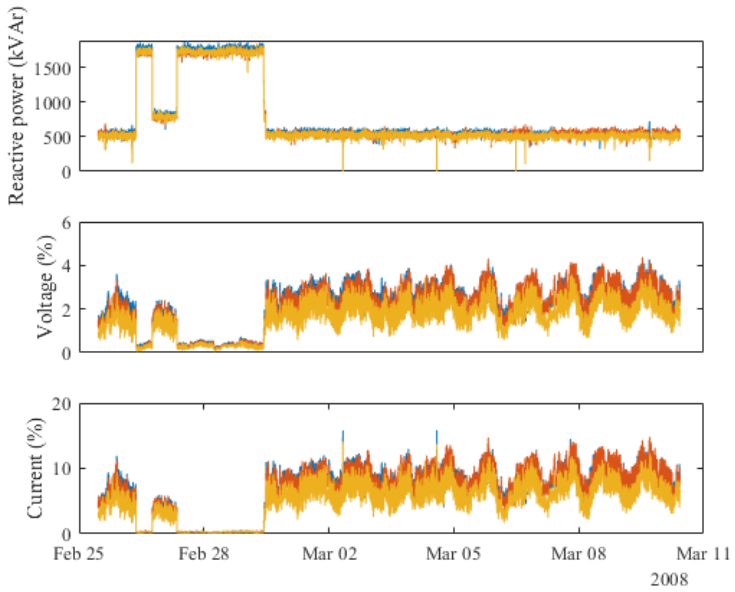
- **Förstärkning av övertoner** vid spänningssättning av kablar



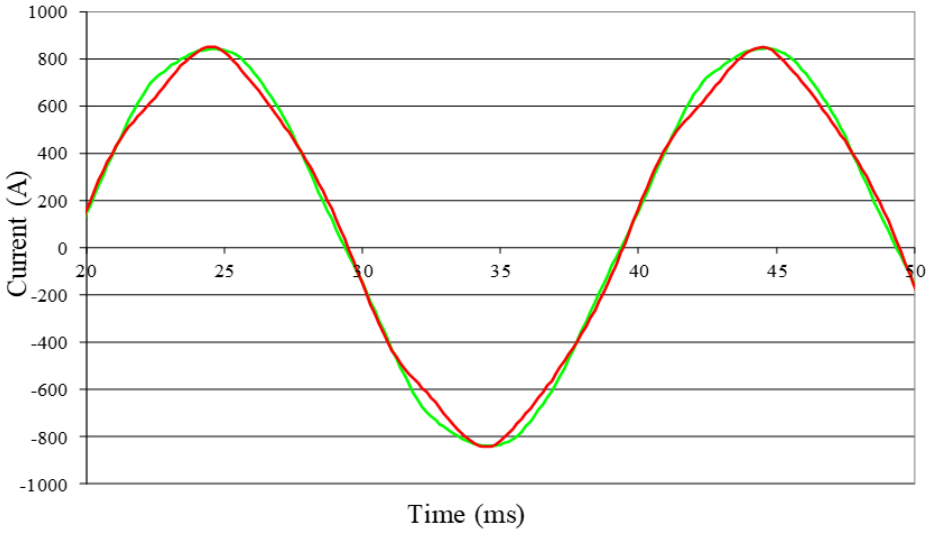
Källa: Power Quality Trends in the Transition to Carbon-Free Electrical Energy System

Konsekvenser?

- **Förstärkning av övertoner** vid inkoppling av kondensatorbatterier



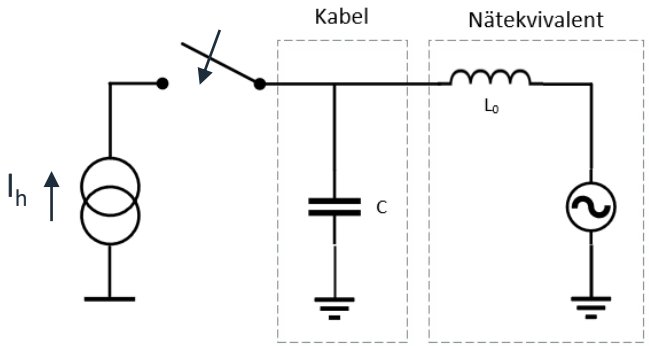
Exempel på hur 7:e överton påverkas beroende på driftläge på ett kondensatorbatteri

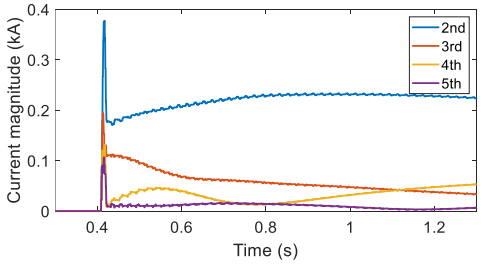


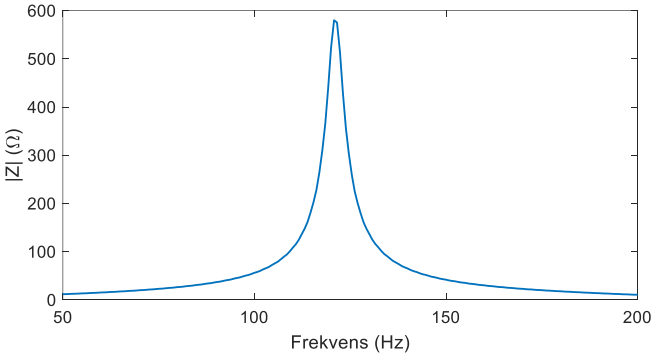
Exempel på hur strömmen genom en 130/10 kV transformator påverkas beroende på driftläge av ett kondensatorbatteri på 10 kV

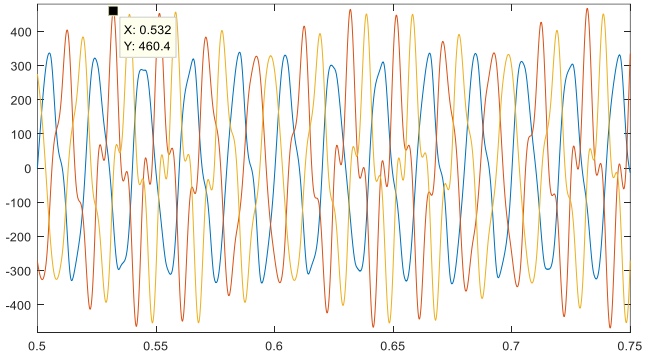
Konsekvenser?

- **Resonanta överspänningar** vid felbortkoppling eller inkoppling av transformatorer





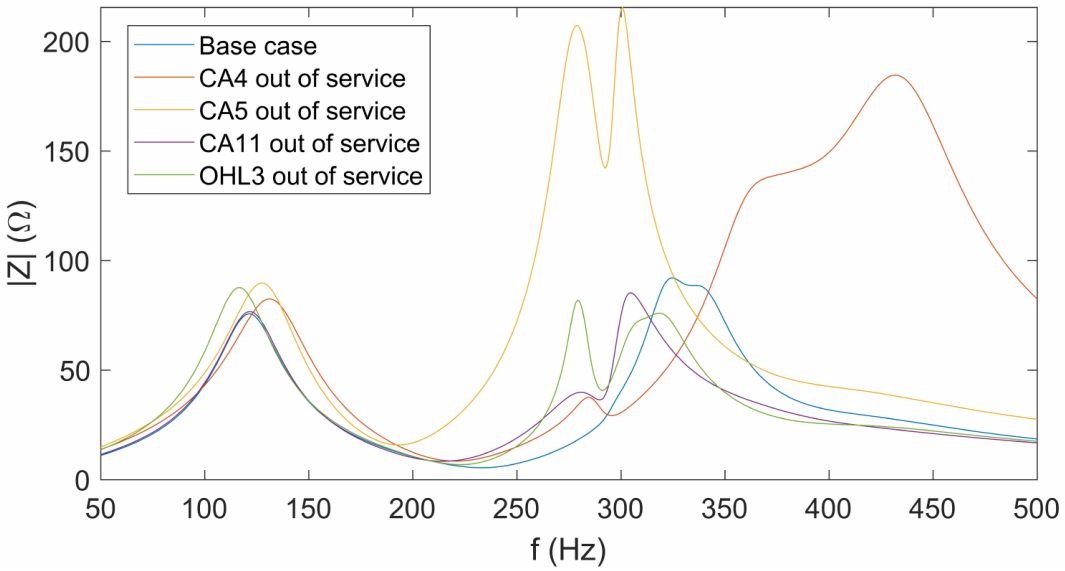




Osäkerheter

- Nätets och anläggningars egenskaper **varierar med tid/driftläge**

- En **större variabilitet** (och osäkerhet) i möjliga driftlägen hos nät och komponenter kan förväntas



Exempel på frekvensberoende nätimpedans vid olika driftläge i nätet.

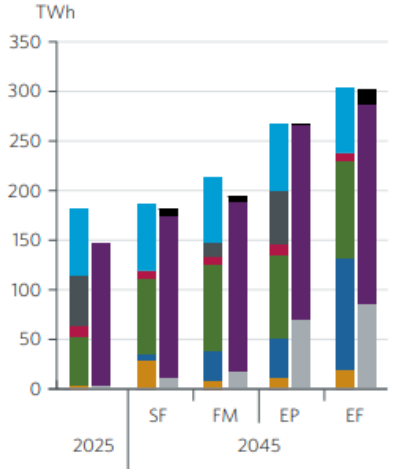
INDEPENDENT INSULATION GROUP

Osäkerheter

- Nätets framtida utveckling i form av anslutning av förnybar generering, HVDC/FACTS, samt laster innebär en **stor osäkerhet**

- Desto längre tidshorisont, desto större osäkerhet

Simulerade årsmedelvärden för elproduktion och elanvändning



Värden i TWh					
Vattenkraft	68	68	67	68	66
Kärnkraft	51	0	14	55	0
Övrig termisk	11	9	8	10	9
Vindkraft land	48	76	88	85	98
Vindkraft hav	1	6	29	39	113
Solkraft	3	28	8	11	18
Total produktion	**182**	**187**	**215**	**269**	**304**
El till vätgas	-2	-11	-16	-69	-85
Övrig elanvändning	-145	-163	-172	-197	-201
Total elanvändning	**-148**	**-174**	**-188**	**-266**	**-286**
Spill	0	-7	-6	-1	-16
Balans	34	6	21	2	2

Figur 10: Simulerat årsmedel för elproduktion, -användning och -balans för Sverige i TWh per år.

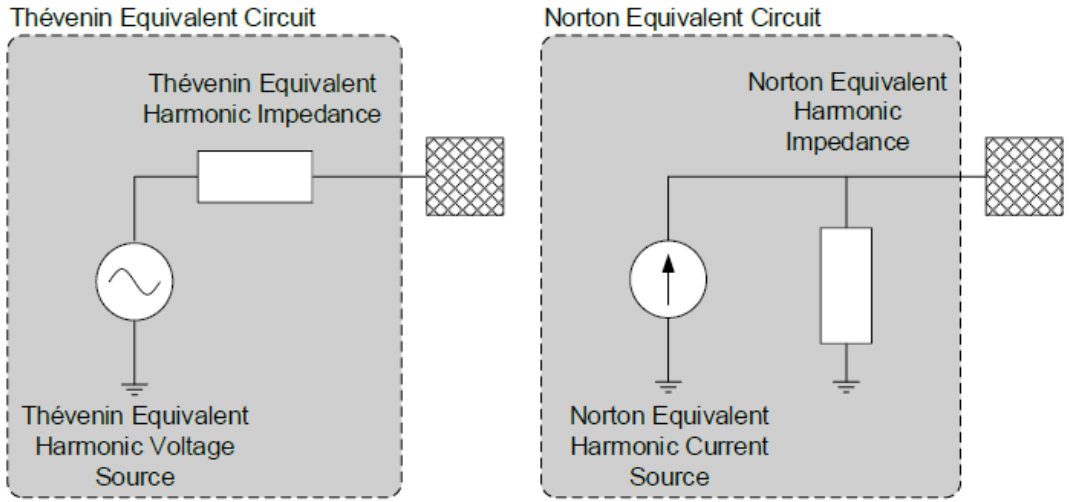
Prognos från Svenska kraftnäts systemutvecklingsplan 2022-2031

INDEPENDENT INSULATION GROUP

Osäkerheter

- Det saknas kunskap om hur anläggningar bör modelleras vid övertonsfrekvenser

- Mer arbete behövs angående hur modeller ska **tas fram och valideras**



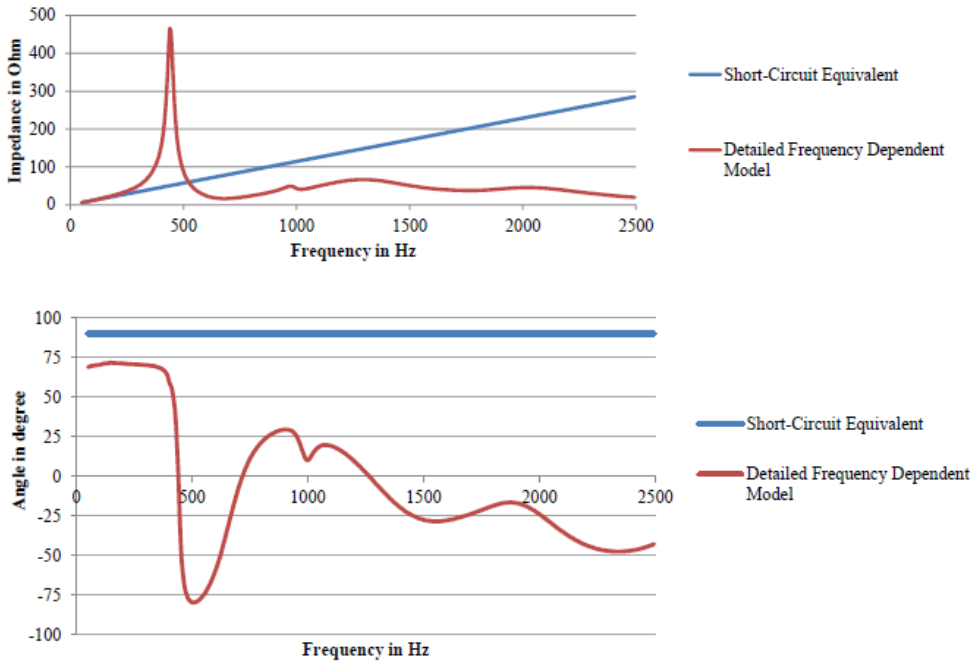
Exempel på generell modellstruktur för en anläggning från CIGRE TB 766.

INDEPENDENT INSULATION GROUP

Osäkerheter

- Ofta saknas information, t.ex. om nätets egenskaper i anslutningspunkten.

- Förenklade modeller som baseras enbart på kortslutningseffekt eller andra egenskaper vid 50 Hz **bör undvikas!**



Exempel på jämförelse mellan Thévenin-ekvivalent och detaljerad nätmodell.

INDEPENDENT INSULATION GROUP

Riskbedömning

- Ett vanligt sätt att beakta osäkerheter är genom **deterministiska** metoder

- I praktiken görs **konservativa** antaganden - om studierna trots detta visar ett gott utfall behövs inga ytterligare studier

INDEPENDENT INSULATION GROUP

Riskbedömning

- Den största fördelen med deterministiska metoder är att det typiskt räcker med ett fåtal beräkningar

- Nackdelen med en konservativ approach är att den kan resultera i **stora marginaler** och **ökade kostnader**, vilket kan leda till onödiga hinder i energiomställningen

INDEPENDENT INSULATION GROUP

Riskbedömning

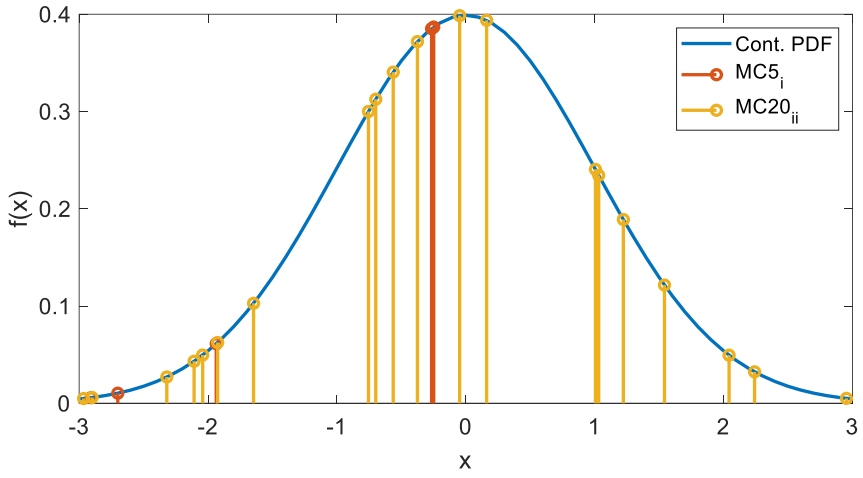
- Ett annat sätt att beakta osäkerheter är tillämpning av **statistiska** metoder

- En vanligt förekommande metod är **Monte Carlo-simuleringar**

INDEPENDENT INSULATION GROUP

Riskbedömning

- Osäkerheter representeras utifrån en känd eller antagen sannolikhetsfördelning
- Sedan genomförs ett stort antal simuleringar.
- **Fler simuleringar -> bättre noggrannhet**.



Exempel på normalfördelning samt approximation med 5 respektive 20 sampel.

INDEPENDENT INSULATION GROUP

Riskbedömning

- Den största fördelen med statistiska metoder som Monte Carlo är att de är **enkla att använda** förutsatt att det finns information om sannolikhetsfördelningar för respektive parameter

- Nackdelen är att det krävs ett förhållandevis **stort antal simuleringar**, vilket kan vara en begränsning. Vidare saknas i praktiken ofta information om lämpliga sannolikhetsfördelningar.

I²G INDEPENDENT INSULATION GROUP

Riskbedömning

- För att minimera antalet beräkningar som krävs kan man använda sig av **screeningmetoder** eller statistiska metoder som gör det möjligt att **bedöma risk med ett fåtal beräkningar**

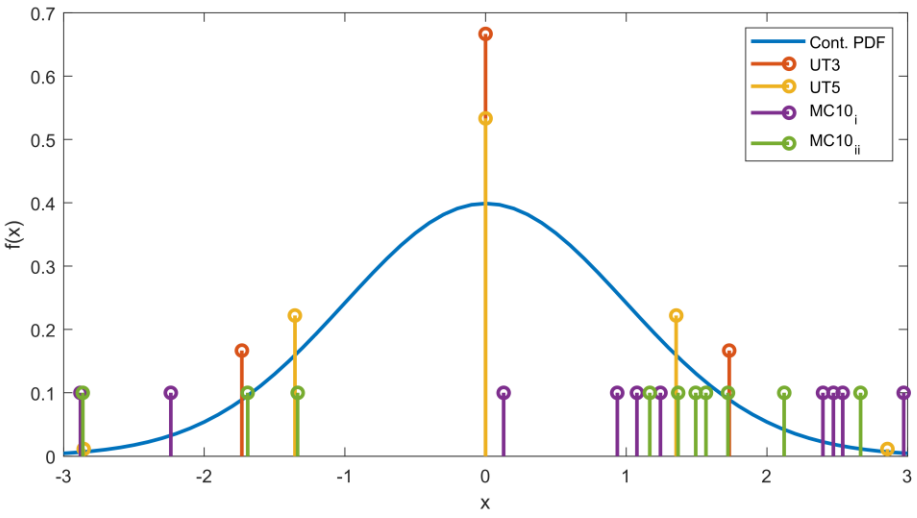
- Vissa osäkerheter går inte att fullt ut hantera i planeringsstadiet – därför behövs även metoder för att **hantera osäkerheter under drift**.

I²G INDEPENDENT INSULATION GROUP

Riskbedömning

- Ett exempel på en matematisk metod som kan användas vid riskbedömning är *Unscented Transform, UT.*

- Istället för att sampel väljs slumpmässigt, som i Monte Carlo, väljs sampel **systematiskt** i UT.



Exempel på kontinuerlig sannolikhetsfördelning samt approximation med 10 sampel (Monte Carlo) samt 3 och 5 sampel (Unscented Transform)

INDEPENDENT INSULATION GROUP

Resultat

- Projektet har resulterat i följande:
  - En metod för att aggregera ett givet nät på ett sådant sätt att dess stokastiska egenskaper bibehålls, i syfte att minska beräkningsbördan vid övertonsstudier.
  - En statistisk metod för att bestämma representativa överspänningar i HVDC luftlednings-/kabelsystem med så få beräkningar som möjligt.
  - En metod för effektiv beräkning av kopplingsöverspänningar, vilken enbart kräver en tiondel eller en femtedel så många beräkningar som konventionella metoder.
  - En metod för effektiv beräkning av övertoner.

I²G INDEPENDENT INSULATION GROUP

Resultat

- Projektet har resulterat i följande:
  - En metod för att hantera risken för resonanta överspänningar under drift, baserad på koordinerad bortkoppling av olika komponenter.
  - En metod för att bedöma påkänningar på avledare då de utsätts för resonanta överspänningar.
  - Ett exempelnät relevant för svenska förhållanden. Exempelnätet finns även inkluderat i mjukvaran PowerFactory som en standardmodell. Vidare har exempelnätet använts i arbete inom CIGRE, samt i exjobb och forskning internationellt.

I²G INDEPENDENT INSULATION GROUP

Sammanfattning

- Kraftsystemet förändras
  - **Lägre resonansfrekvenser** och **mindre dämpning**
  - Mer **variabilitet** och **ökad komplexitet** i **driftläge** och **modellering** av kraftsystemet och komponenter

- Det behövs mer arbete för att ta fram representativa modeller av nät och anläggningar för olika typer av studier

I²G INDEPENDENT INSULATION GROUP

Sammanfattning

- Deterministiska och statistiska metoder har sina för- och nackdelar
  - **Rätt metod till rätt ändamål!**

- Vi behöver arbeta mer effektivt med riskbedömning
  - Screeningverktyg och matematiska metoder är ett sätt att minimera beräkningsbördan

I²G INDEPENDENT INSULATION GROUP

OSCAR LENNERHAG

Specialist

I²G INDEPENDENT INSULATION GROUP

oscar@i2group.se

+46(0)10 151 08 51

www.i2group.se

Mer information om projektet finns på www.i2g.se/phd

I²G INDEPENDENT INSULATION GROUP