

# Beräkningsmetoder för elnät under stor osäkerhet

Sammanfattning av resultat så här långt i projektet

**Oscar Lennerhag**

Specialist, Industrial PhD student

Independent Insulation Group Sweden AB

Storgatan 5 / 771 30 Ludvika / Sweden

Phone: +46 10 151 08 51

Cell: +46 70 182 13 45

[oscar@i2group.se](mailto:oscar@i2group.se)

[www.i2group.se](http://www.i2group.se)

# Bakgrund/mål

- Kraftsystemet förändras
  - Storskalig integrering av förnybara energikällor
  - Förändringar i nätet (t.ex. mer kablar)
  - Förändringar i lastens sammansättning
- Dessa förändringar påverkar kraftsystemet på olika sätt...
  - Impedansen (resonanser)
  - Källorna
  - **Ökad osäkerhet i studier**



# Bakgrund/mål

- Beräkningsmetoder baseras ofta på en (antagen) fullständig kunskap om systemet
- Osäkerheter hanteras via t.ex. Monte Carlo eller deterministiska metoder
  - MC – inte alltid praktiskt beroende på problemets skala
  - Deterministiska metoder – kan ge väldigt pessimistiska resultat
- **Projektet ämnar undersöka hur förändringar i kraftsystemet och en ökad osäkerhet påverkar överspänningar och spridning av övertoner**
- **Projektet ämnar ta fram beräkningsmetoder som kan användas för att studera isolationskoordinering och elkvalitet i elnät med stora osäkerheter**

# Sammanfattning av resultat

## En kraftsystemmodell för resonansstudier

En realistisk kraftsystemmodell som inkluderar spänningsnivåer från 400 V till 400 kV

## Inverkan av osäkerheter på resonanta överspänningar

Undersökning av inverkan av olika osäkerheter på resonanser och överspänningar relaterade till mätning av transformatorer

## En stokastisk aggregerad lastmodell

En ny metod för att aggregera underliggande nät på ett sådant sätt att dess stokastiska egenskaper bibehålls

## Åsköverspänningar i blandade HVDC luftlednings-/kabelsystem

En förbättrad statistisk metod för att beräkna åsköverspänningar i blandade HVDC luftlednings-/kabelsystem

## En kraftsystemmodell för resonansstudier

- För att studera inverkan av förändringar i kraftsystemet, samt osäkerheter, behövs realistiska nätverksmodeller
- Inom ramen för projektet har ett allmänt tillgängligt exempelnät tagits fram som täcker spänningsnivåer från 400 V till 400 kV

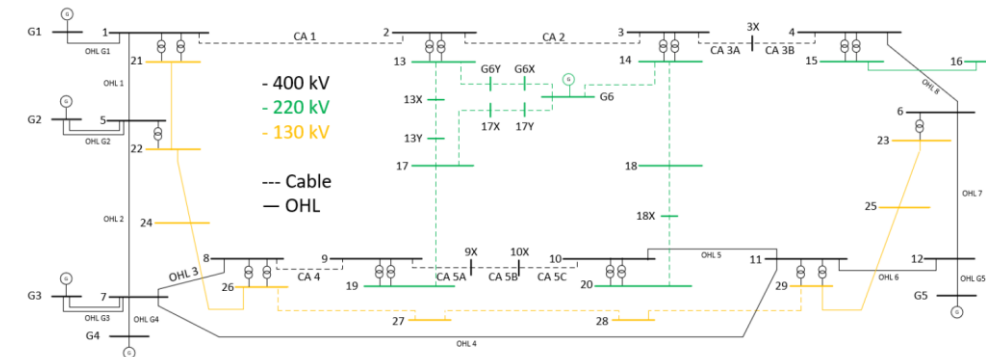
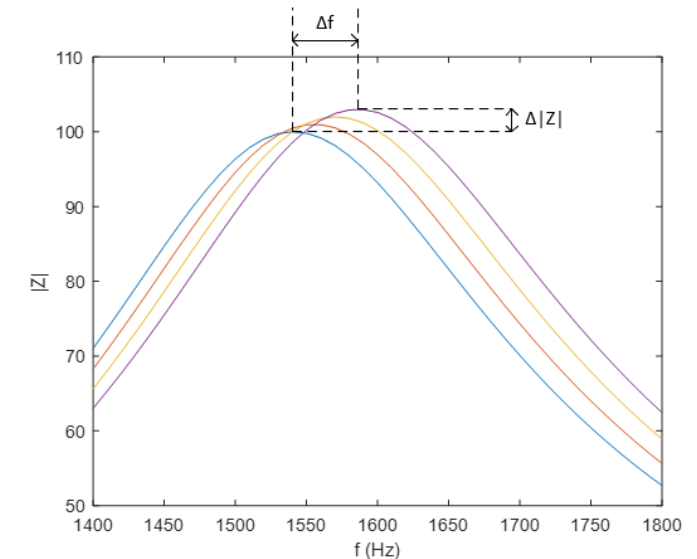


Figure 2.5: Overview of the example grid detailed in [Paper C].

- **Exempelnätet används inom CIGRE och finns inkluderat i PowerFactory 2020**

# Inverkan av osäkerheter på resonanta överspänningar

- När mer kapacitans införs i nätet kommer resonansfrekvenserna att minska
- Mindre dämpning förväntas i framtiden, t.ex. på grund av energieffektivisering samt ett skifte till kraftelektronik
- Underliggande nät och laster har stor inverkan på dämpningen av resonanser och bör inkluderas i studier
- Den mekaniska spridningen som påverkar brytarens tillslagsögonblick och den inkopplingsstrategi som används bör inkluderas vid beräkning av överspänningar



## Uncertainties affecting the impedance

- Uncertainties in load composition
- Uncertainties in grid structure
- Uncertainties in connected generation
- Uncertainties in operational scenarios (N-1 etc.)
- Uncertainties in models and model parameters



# En stokastisk aggregerad lastmodell

- Laster kan ha en betydande inverkan på frekvensen och amplituden hos resonanser och bör beaktas i studier. Kundimpedansen är dock en stor osäkerhet.
- Metoden kan användas för att inkludera den stokastiska karaktären hos laster (eller andra osäkerhetsfaktorer) vid studier på högre spänningsnivåer, samtidigt som beräkningsbördan minskas
- Resultaten från den föreslagna metoden överensstämmer väl med resultaten för den detaljerade modellen
- Mer arbete behövs vad gäller modellering av kundimpedansen

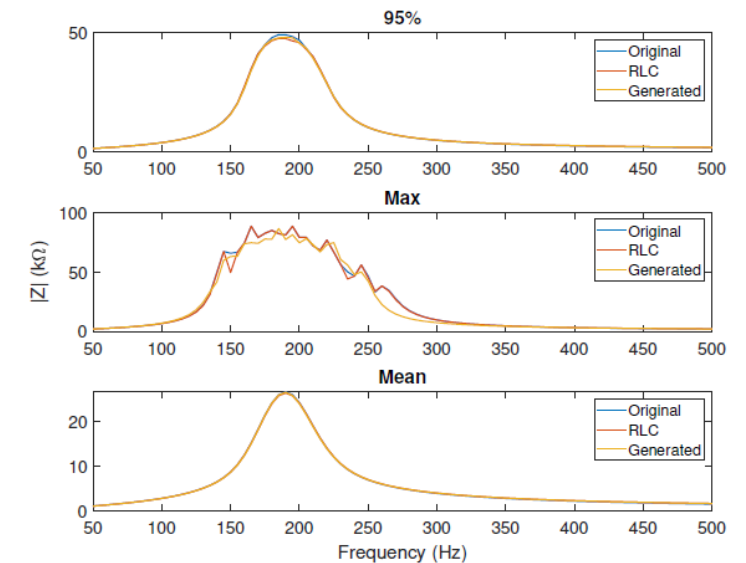


Fig. 14. 95%, max and mean for the full representation, the simplified representation (RLC) and the generated data, for the 83-customer network.

# Åsköverspänningar i blandade HVDC luftlednings-/kabelsystem

- Representativa överspänningsnivåer fastställs vanligtvis utan att beakta de statistiska egenskaperna för överspänningarna vilket leder till konservativa resultat
- Den förbättrade statistiska metoden är tillämplig på både backöverslag och skärmfel och tar hänsyn till följande:
  - Fördelning i blixtröstmagnitud
  - Dämpning på grund av korona och resistiva effekter
  - Inverkan av jonisering av marken
- Målet med metoden är att minimera antalet beräkningar som krävs för att bestämma representativa överspänningar i kabelsystemet

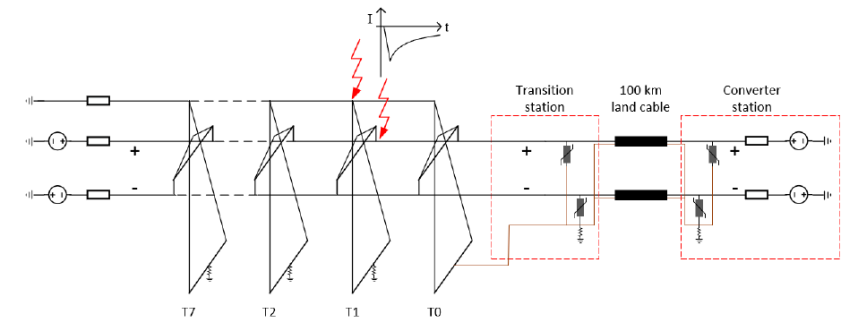


Figure 2. Overview of model used for calculation of lightning overvoltages in the cable system.

Table 4. Statistical calculation for backflashover without considering soil ionization.

Tower No.	$d$ m	$S$ kV/ $\mu$ s	$T_f$ $\mu$ s	$\tau$ $\mu$ s	$r(d)$	$V_{scr}$ kV	$V_s$ kV	$I$ kA	Annual Risk Per Span	Accumulated Annual Risk
1	400	4250	1.0	15	0.754	4370	6204	182	0.001990	0.00199
2	800	2125	2.1	15	0.637	4370	7869	236	0.000756	0.00275
3	1200	1417	3.1	15	0.561	4370	9569	291	0.000320	0.00307
4	1600	1063	4.1	15	0.507	4370	11348	349	0.000144	0.00321
5	2000	850	5.1	15	0.465	4370	13231	410	0.000068	0.00328
6	2400	675	6.1	15	0.431	4370	15064	476	0.000038	0.00333
7	2800	531	7.1	15	0.404	4370	16857	546	0.000023	0.00333
8	3200	531	8.2	15	0.384	4370	19682	619	0.000008	0.00333



# Framtida arbete

- Vidare analys av osäkerheters inverkan på resonanta överspänningar och spridning av övertoner
- Undersökning av och tillämpning av matematiska metoder som kan användas för att hantera ett stort antal osäkerheter i studier

# Publikationer

- En kraftsystemmodell för resonansstudier
  - O. Lennerhag, "Power system model for resonance studies", Technical report, Luleå University of Technology, Dec. 2018. ISBN: 978-91-7790-213-3
  - O. Lennerhag, M. Bollen, "A power system model for resonance studies", International Conference on Electricity Distribution (CIRED), Madrid, Spain, Jun. 2019.
- Inverkan av osäkerheter på resonanta överspänningar
  - O. Lennerhag, M. Bollen, "Power system impacts of decreasing resonance frequencies", International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), Ljubljana, Slovenia, May 2018.
  - O. Lennerhag, M. Bollen, "Impact of uncertainties on resonant overvoltages", International Conference on Power System Transients (IPST), Perpignan, France, Jun. 2019
  - O. Lennerhag, M. Bollen, " Impact of uncertainties on resonant overvoltages following transformer energization"

# Publikationer

- En stokastisk aggregerad lastmodell
  - O. Lennerhag, M. Bollen, “A Stochastic Aggregate Harmonic Load Model”, IEEE Transactions on Power Delivery, 2019. DOI: 10.1109/TPWRD.2019.2961790
- Beräkning av åsköverspänningar i blandade HVDC luftlednings-/kabelsystem
  - O. Lennerhag, J. Lundquist, C. Engelbrecht, T. Karmokar, M. Bollen, “An Improved Statistical Method for Calculating Lightning Overvoltages in HVDC Overhead Line/Cable Systems”, Energies Special Issue on Overvoltage Protection, vol. 12, 3121, Aug. 2019. DOI: 10.3390/en12163121

# Publikationer

- Övriga publikationer

- T. Karmokar, O. Lennerhag, “Simplified Approach for Investigating Overvoltages in dc Cables in a  $\pm 320$  kV Symmetrical Monopolar HVDC System”, in International Symposium on High Voltage Engineering (ISH), Budapest, Hungary, Aug. 2019.
- O. Lennerhag, A. Dernfalk, P. Nygren, “Supraharmonics in the Presence of Static Frequency Converters Feeding a 16 2/3 Hz Railway System”, accepted for presentation in International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), Dubai, UAE, Jun. 2020.
- O. Lennerhag, R. Rogersten, S. Råström, “A Parallel Resonance Investigation in Stockholm’s Future Cablified Transmission Grid: A Prospective Study on Transformer Energization”, IEEE PES Transmission & Distribution Conference & Exposition, Chicago, USA, 2020.

# Frågor?



**OSCAR LENNERHAG**  
Specialist

I<sup>2</sup>G INDEPENDENT  
INSULATION  
GROUP

@ oscar@i2group.se

+46(0)10 151 08 51

www.i2group.se