

Beräkningsmetoder för elnät under stor osäkerhet

SampEL Arena Elkvalitet 24/3 2021

Oscar Lennerhag
Specialist

Independent Insulation Group Sweden AB
Storgatan 5 / 771 30 Ludvika / Sweden
Phone: +46 10 151 08 51
oscar@i2g.se
www.i2g.se

Bakgrund

- 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

- 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 genomförs som ett industridoktorandprojekt
- Projektet undersöker 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 vid stora osäkerheter

Sammanfattning av resultat (hittills)

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 i övertonstudier

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
- Exempelnätet används i ett flertal forskningsprojekt samt inom CIGRE
- Exempelnätet finns inkluderat som standardfall i PowerFactory 2020

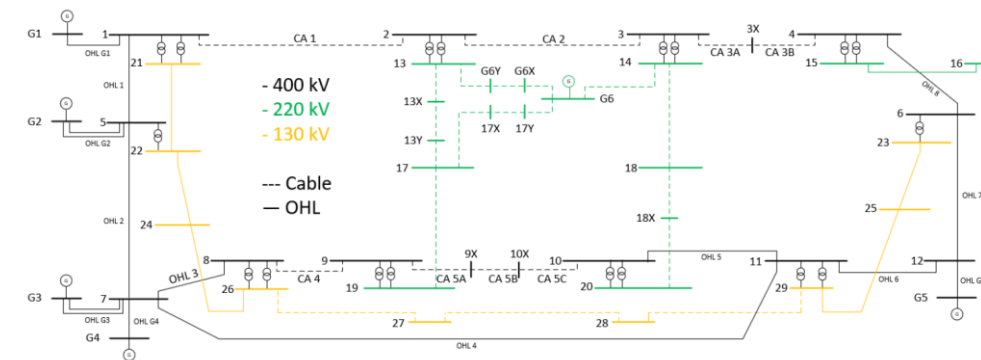
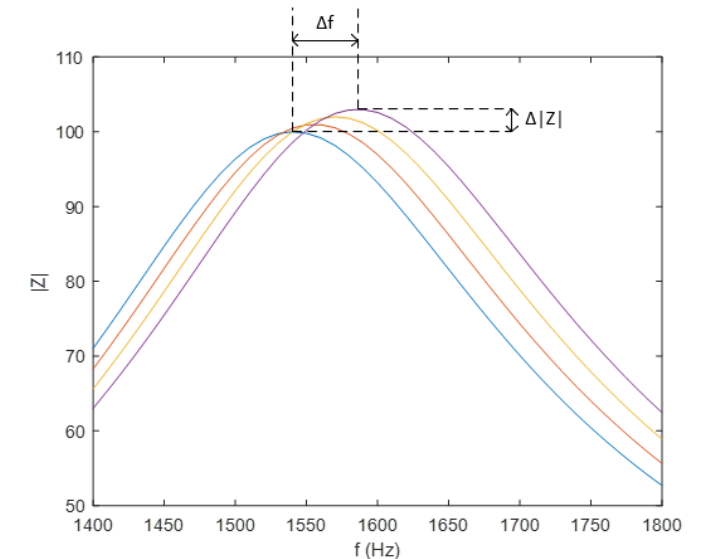


Figure 2.5: Overview of the example grid detailed in [Paper C].

Inverkan av osäkerheter på resonanta överspänningar

- När mer kapacitans införs i nätet (t.ex. kablar) 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
- Olika driftlägen och andra aspekter som mekanisk spridning i brytare bör beaktas i studier



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 påverkar resonansfrekvenser och dämpning och bör beaktas i studier
- Kundimpedansen är dock en stor osäkerhet
- Metoden gör det möjligt att inkludera den stokastiska karaktären hos laster (eller andra osäkerhetsfaktorer) vid studier på högre spänningsnivåer, samtidigt som beräkningsbördan minskas

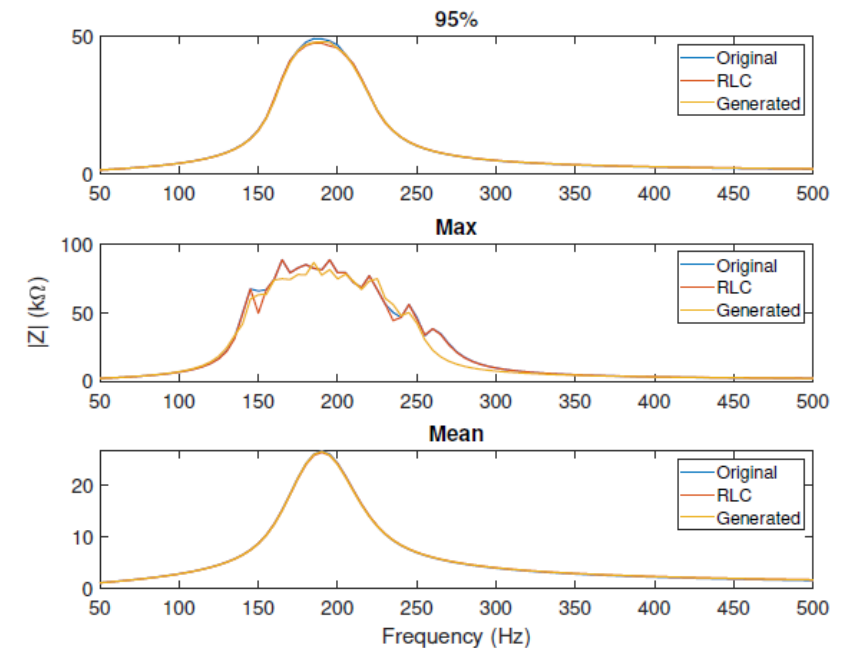
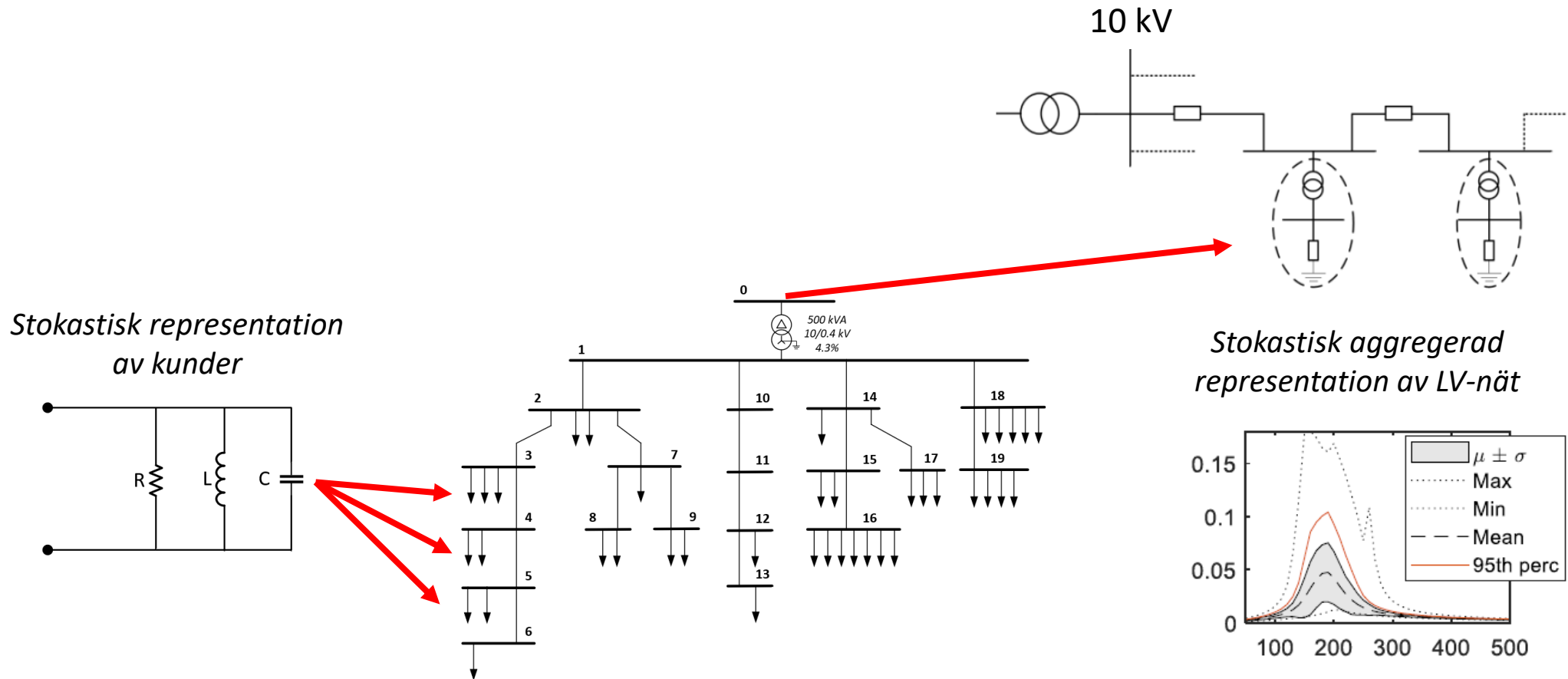


Fig. 14. 95%, max and mean for the full representation, the simplified representation (RLC) and the generated data, for the 83-customer network.

En stokastisk aggregerad lastmodell



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
- Metoden är även applicerbar på AC-system

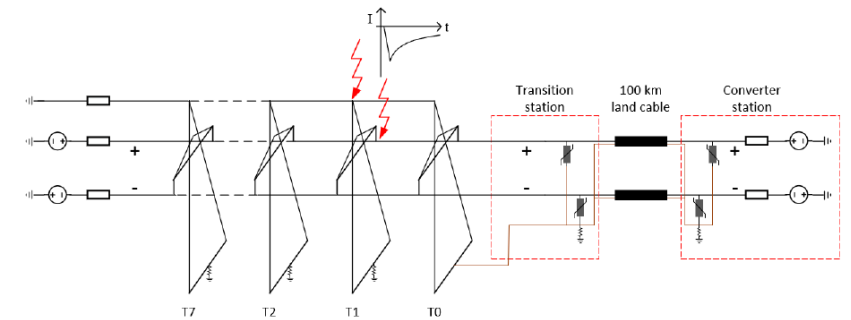


Figure 2. Overview of model used for calculation of lightning overvoltages in the cable system.

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

Tower No.	d m	S kV/ μ s	T_f μ s	τ μ 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										
8	3200	531	8.2	15	0.384	4370	19682	619	0.000008	0.00333

Framtida arbete

- Tillämpning av matematiska metoder som kan användas för att hantera ett stort antal osäkerheter i studier
 - Beräkning av kopplingsöverspänningar
 - Spridning av övertoner
- Disputation planerad till Q1/Q2 2022

Frågor?



OSCAR LENNERHAG
Specialist

I²G INDEPENDENT
INSULATION
GROUP

@ oscar@i2group.se

+46(0)10 151 08 51

www.i2group.se

Lista på publikationer

1. O. Lennerhag, M. Bollen, “Power system impacts of decreasing resonance frequencies”, International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 2018, Ljubljana, Slovenia.
 - <https://ieeexplore.ieee.org/document/8378880>
2. O. Lennerhag, M. Bollen, “Impact of uncertainties on resonant overvoltages”, International Conference on Power System Transients (IPST), 2019, Perpignan, France.
 - https://www.ipstconf.org/papers/Proc_IPST2019/19IPST030.pdf
3. O. Lennerhag, M. Bollen, “A power system model for resonance studies”, CIRED, 2019, Madrid, Spain.
 - <https://www.cired-repository.org/handle/20.500.12455/200>
4. 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, 2019.
 - <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/16/3121>
5. O. Lennerhag, M. Bollen, “A stochastic aggregate harmonic load model”, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 35, no. 5, 2020.
 - <https://ieeexplore.ieee.org/document/8939467>

Lista på publikationer

6. O. Lennerhag, “Calculation Methods for Power Systems Facing Large Uncertainties”, Tech. Rep., Luleå Tekniska Universitet, 2020.
 - <http://ltu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1427567&dswid=5757>
7. O. Lennerhag, M. Bollen, “Impact of uncertainties on resonant overvoltages following transformer energization”, Elsevier - Electric Power Systems Research 187, 106503, 2020.
 - <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378779620303060>
8. O. Lennerhag, A. Dernfalk, P. Nygren, “Harmonics and Supraharmonics in the Presence of Static Frequency Converters Feeding a 16 2/3 Hz Railway System”, International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 2020.
 - <https://ieeexplore.ieee.org/document/9177901>
9. O. Lennerhag, M. Bollen, “Application of a stochastic aggregate harmonic load model to distribution networks”, accepted for presentation in CIRED, 2021, Geneve, Switzerland.
10. O. Lennerhag, J. Lundquist, M. Bollen, “Temporary Detuning of Cablified Transmission Grids for Mitigation of Resonant Overvoltages”, submitted to IEEE Transactions on Power Delivery, 2021