Övertoner i lågspänningsnät

Math Bollen

Luleå tekniska universitet

8 juni 2023

Kontakt: math.bollen@ltu.se

Problemställningen och organisation

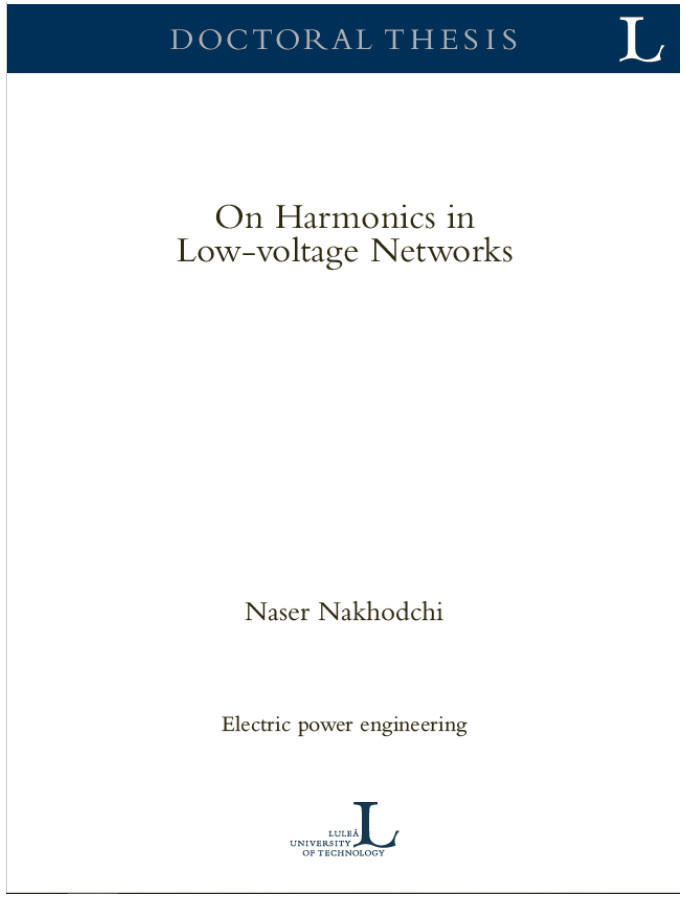
- Hur ser övertonsdistorsionen ut i lågspänningsnät och varför; och hur kommer den att se ut i framtiden?

- Finansiering: Göteborg Energi Forskningsstiftelse;

  …… Umeå Energi, Energiforsk

- Doktorand: Naser Nakhodchi
- Handledning: Math Bollen; Sarah Rönnberg
- Bidrag: Jil Sutaria, Roger Alves de Oliveira,

  …. Angela Espin Delgado


DOCTORAL THESIS

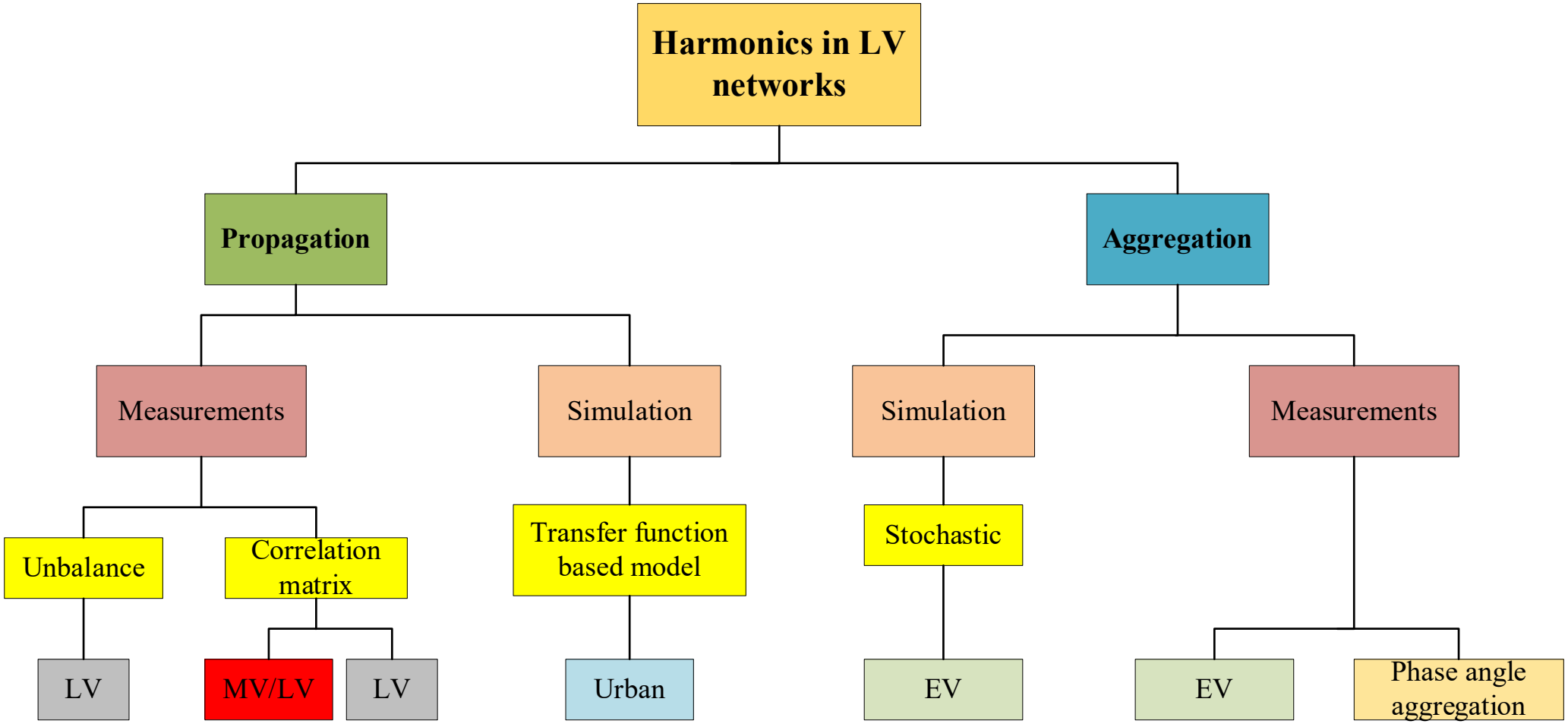
On Harmonics in
Low-voltage Networks

Naser Nakhodchi

Electric power engineering

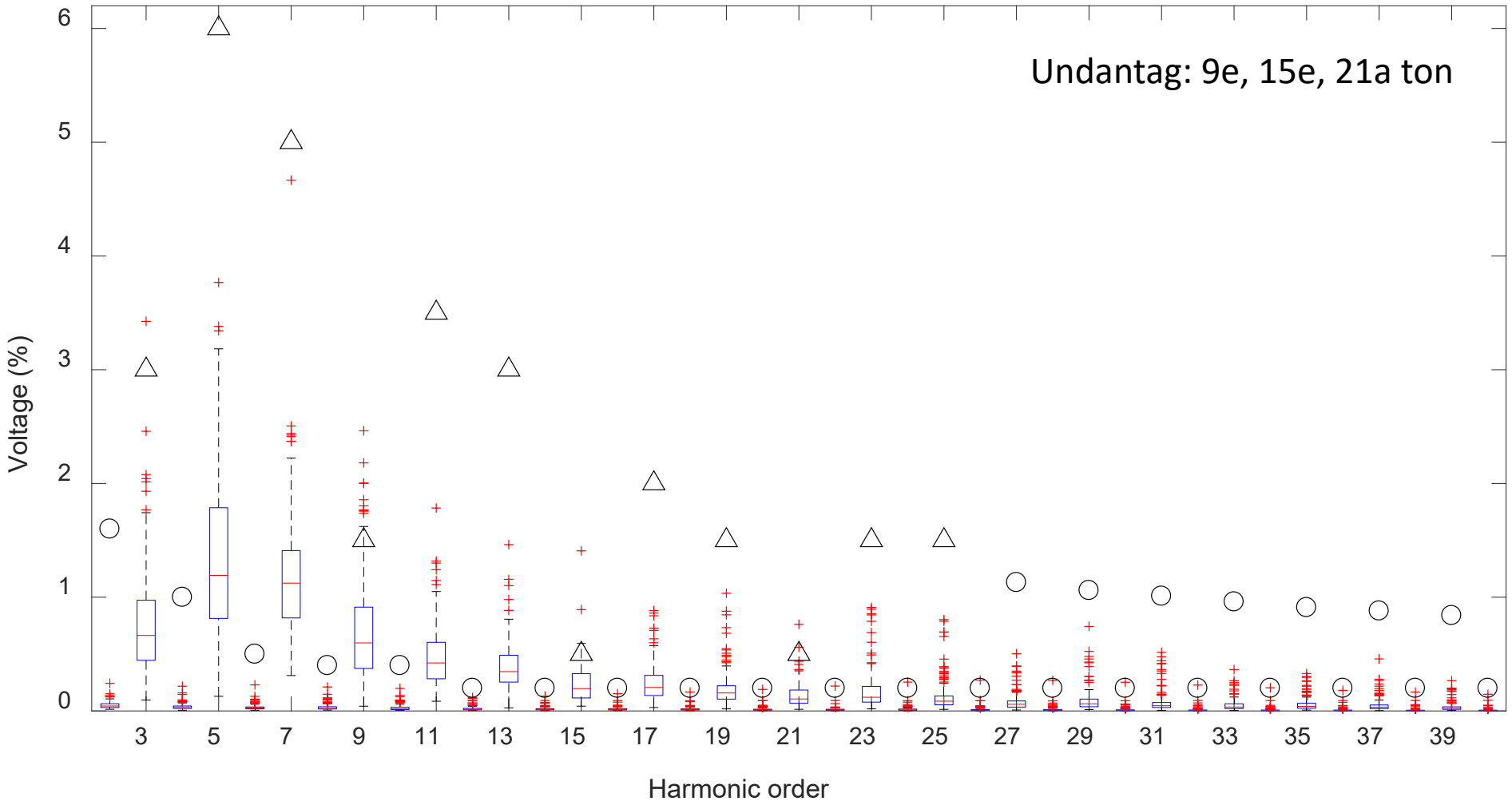
LULEÅ UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Upplägget av forskningsprojektet



Källan: Naser Nakhodchi

Befintliga nivåer i är låga



Utveckling av 50%-värden under 25 år

	1993/1994	2017/2018
3e ton	1,0 %	0,8 %
5e ton	2,0 %	1,2 %
7e ton	0,8 %	1, 1%
9e ton	0,3 %	0,6 %
11e ton	0,2 %	0,4 %
13e ton	0,2 %	0,3 %

Minskning av nivåerna

Ökning av nivåerna

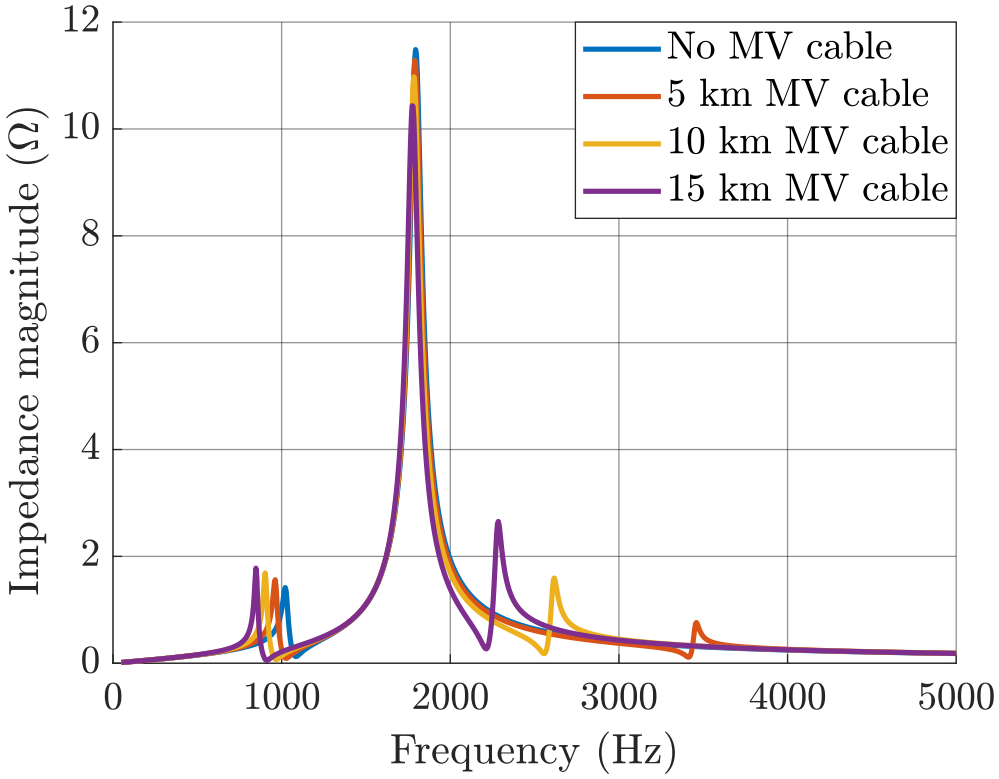
Begränsning av övertoner i elnät inom tätort, Elforsk Rapport 97:3, januari 1997.

LULEÅ TEKNISKA UNIVERSITET

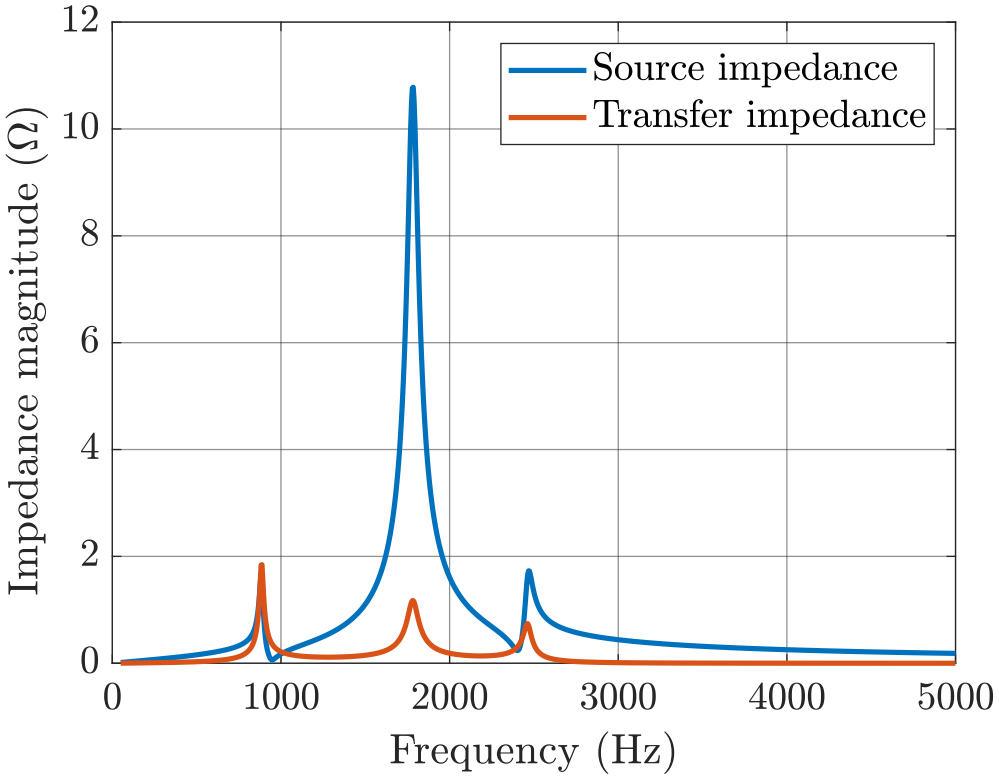
Spridning av övertoner

Transferimpedansen: $Z_{tr} = \frac{U_m}{I_k}$

Käll- och transferimpedans



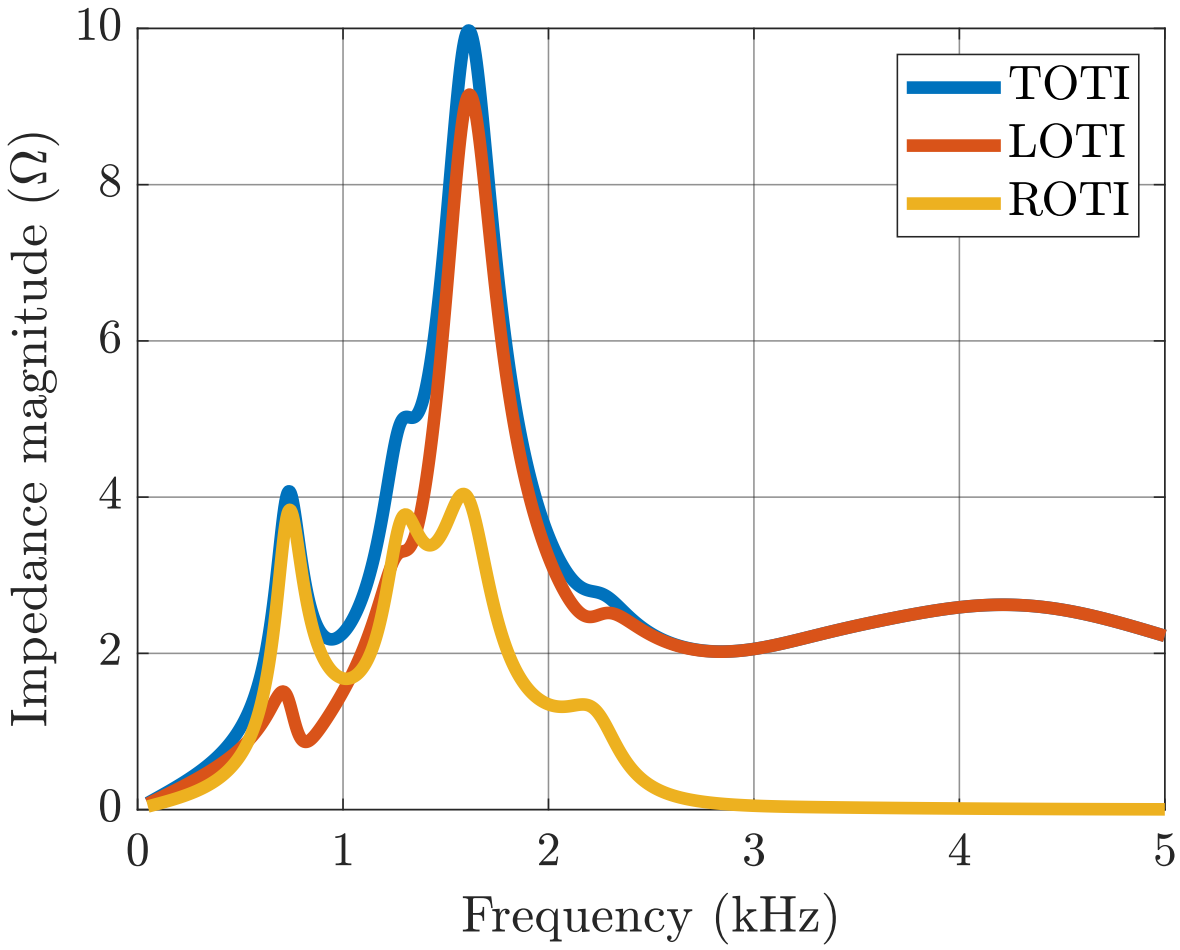
Mellanspänningsnätet påverkar källimpedans i lågspänningsnätet



Käll- och transferimpedans har likande amplitud vid vissa frekvenser

Källan: Naser Nakhodchi

Olika bidrag till övertonsspänningen



LOTI: källor anslutna till samma lågspänningsnätet
ROTI: källor anslutna till andra låg- men samma mellanspänningsnät
TOTI: totalen

LOTI = local overall transfer impedance
ROTI = remote overall transfer impedance
TOTI = total overall transfer impedance

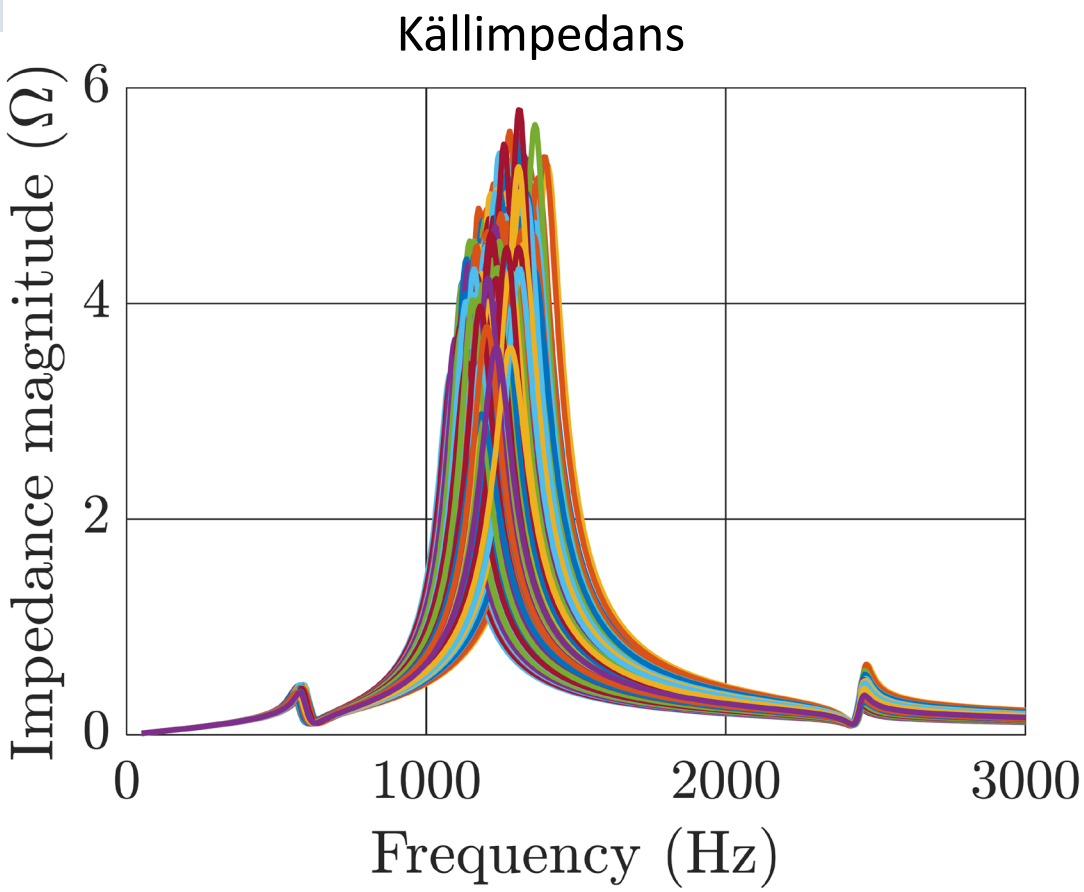
Källan: Naser Nakhodchi

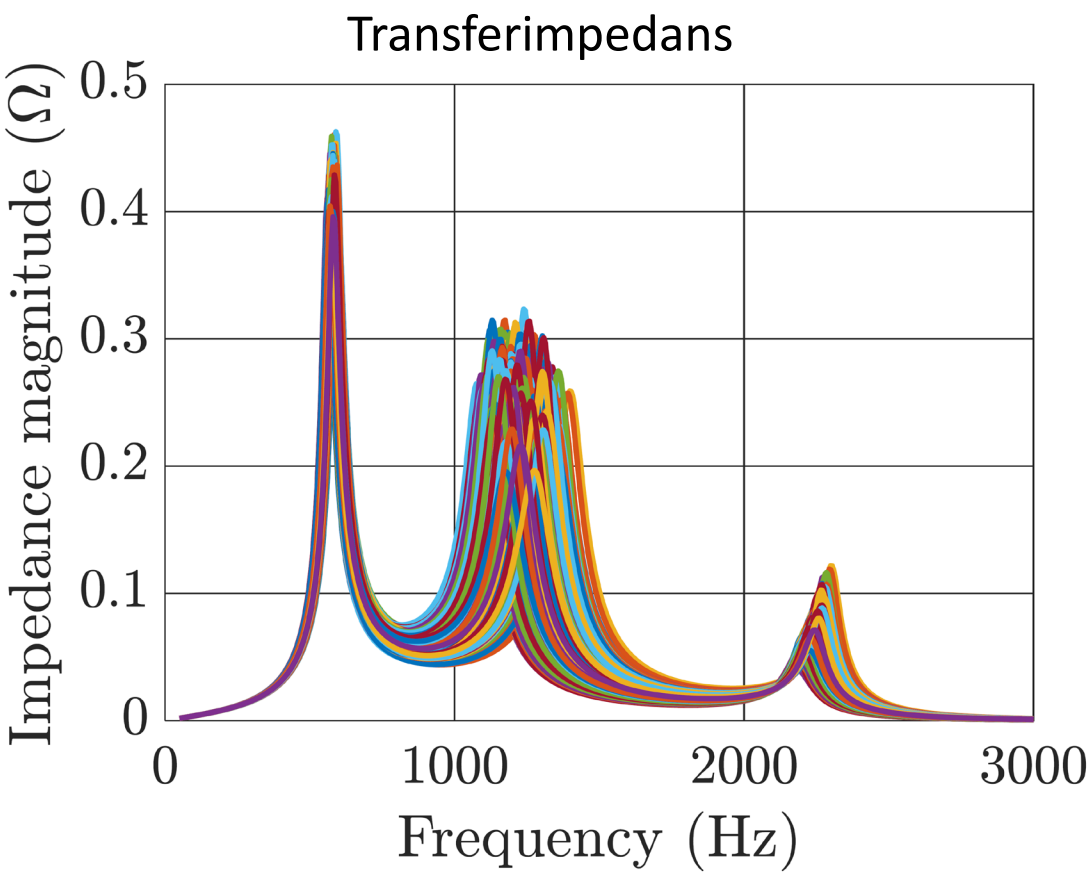
Modellering av impedanserna

- Kabelimpedans: relativt enkelt (bara matematiken)
- Transformatorimpedans: relativt enkelt (semi-empiriskt)
- Impedans av kundanläggning för övertoner: mycket begränsat med information men consensus är att kapacitansen dominerar
  - Modell av lågspänningskund baserades på mätningar i Tyskland har använts
  - Impedansen kommer att variera med tid; mellan kunder och vara osäkert

LULEÅ TEKNISKA UNIVERSITET

Osäkerhet i käll- och transferimpedansen

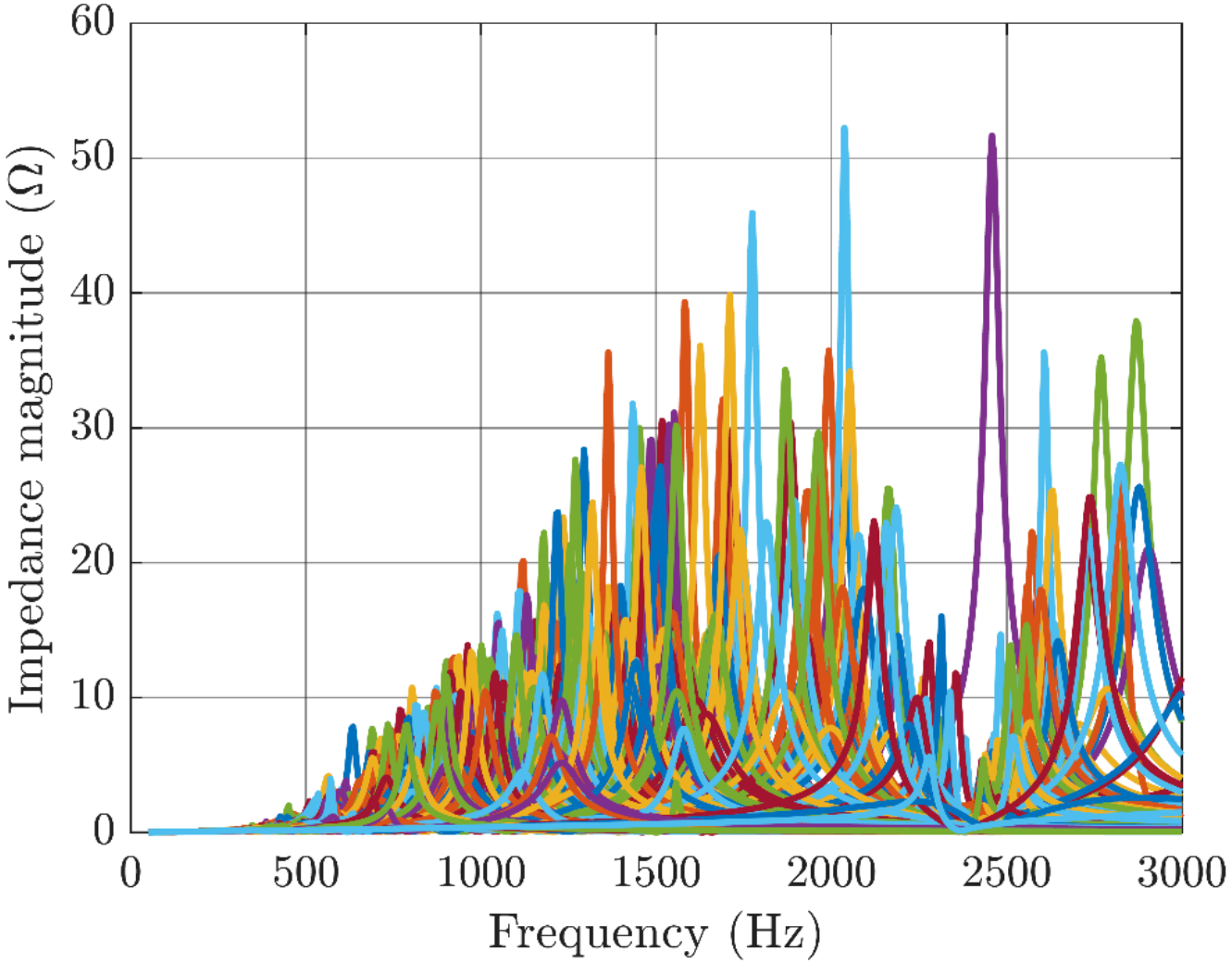




Här antas det att osäkerheterna är oberoende av varandra; att genomsnittliga modellen är känd; gäller variation under t.ex. en söndagseftermiddag

Källan: Naser Nakhodchi

Osäkerhet i själva modellen

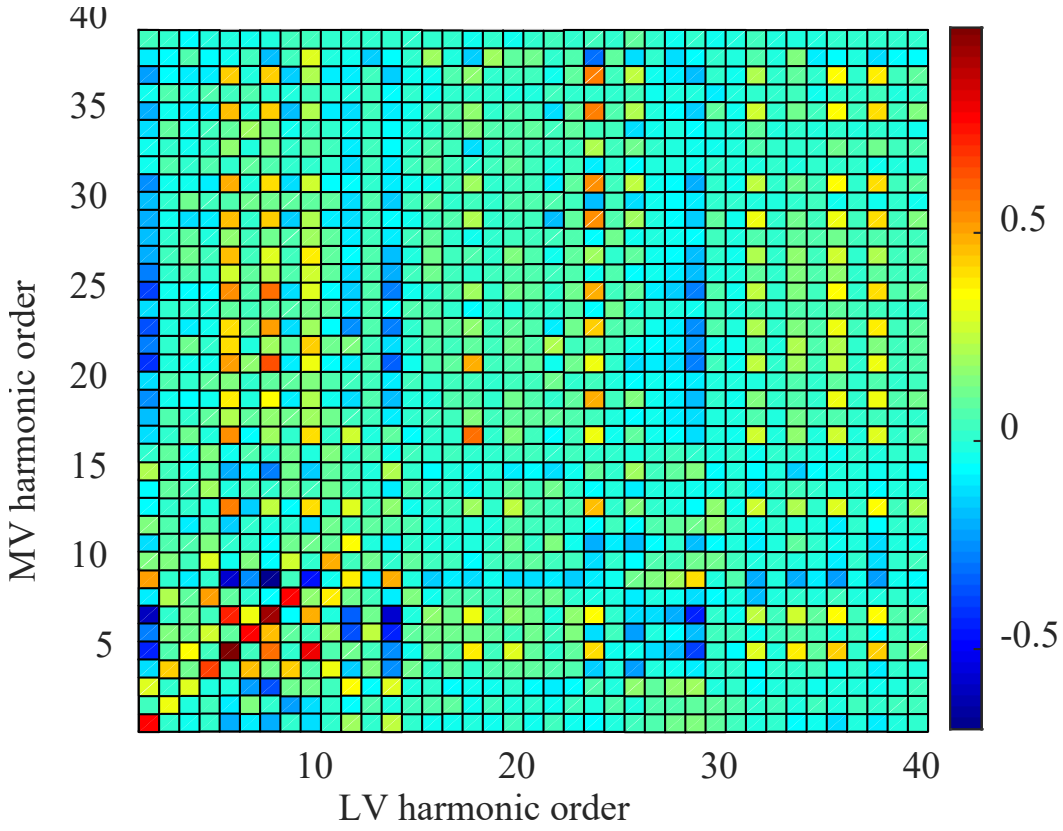


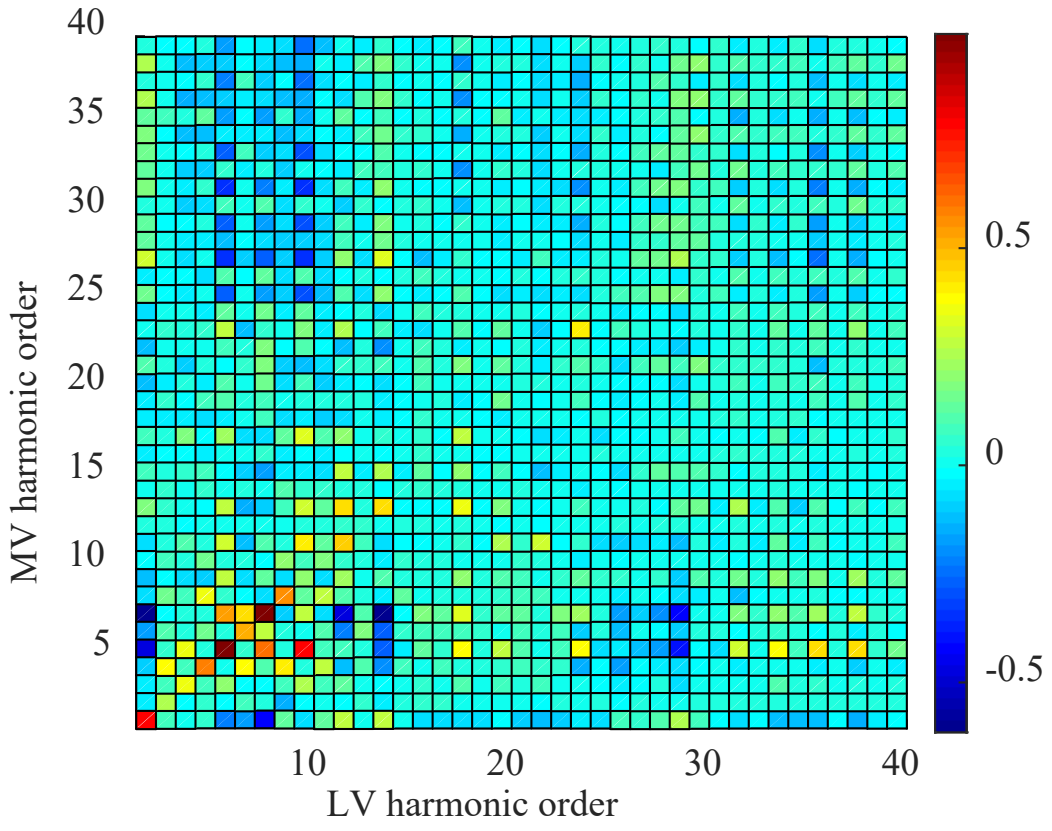
Här antas alla kunder ha samma impedans; själva modellen är osäker.

Gäller variationer under året, veckan och dagen.

Källan: Naser Nakhodchi

Korrelation mellan låg- och mellanspänning





Höga korrelationer för 5e, 6e, 7e, 8e och 9e ton

Källan: Naser Nakhodchi

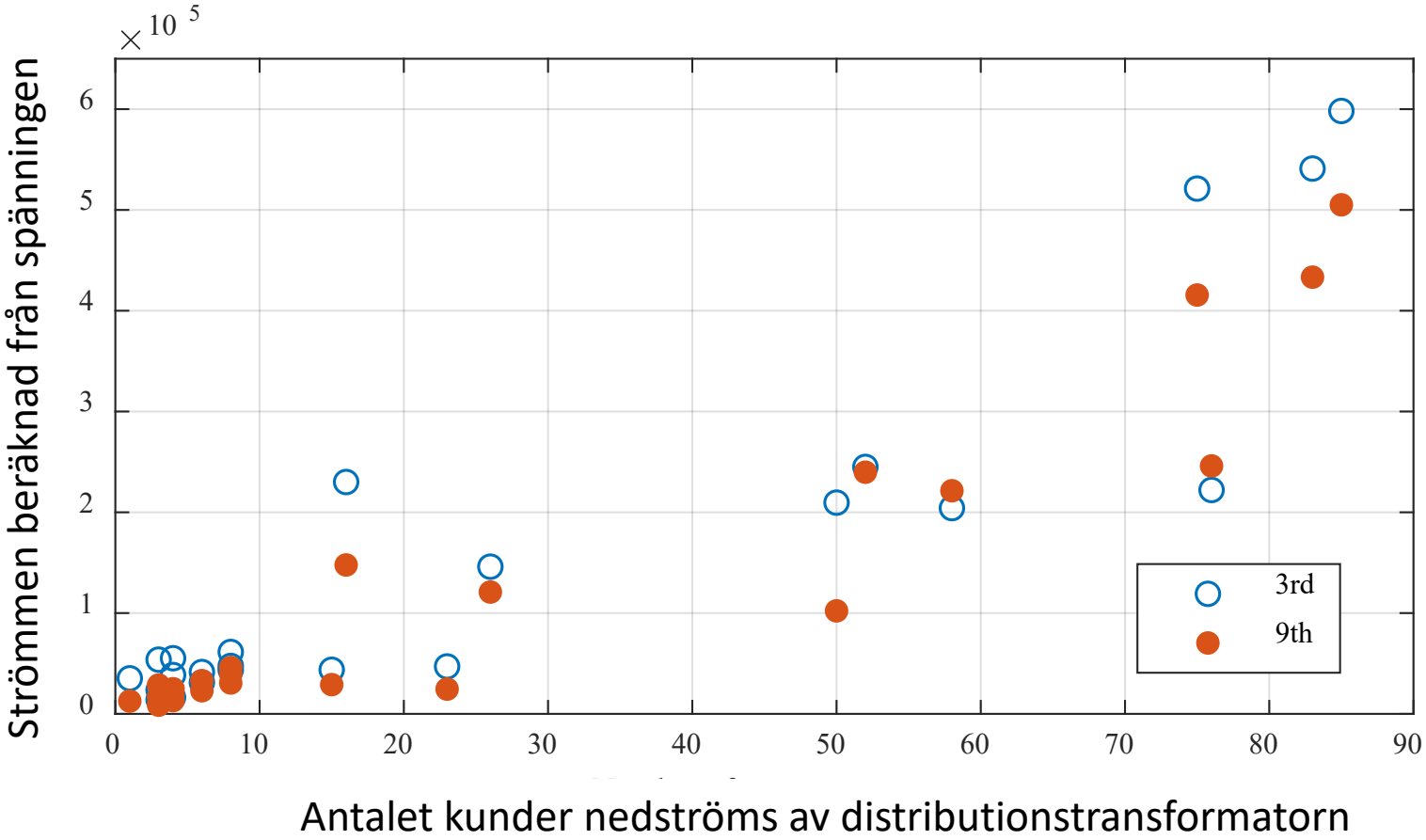
Anslutna till samma 40-kV nät

5e ton				7e ton			
	MSP A	MSP B	MSP C		MSP A	MSP B	MSP C
MSP A	1,000			MSP A	1,000		
MSP B	0,995	1,000		MSP B	0,625	1,000	
MSP C	0,977	0,975	1,000	MSP C	0,616	0,831	1,000

Här bestäms nivåerna av 5e och 7e ton i 40-kV nätet

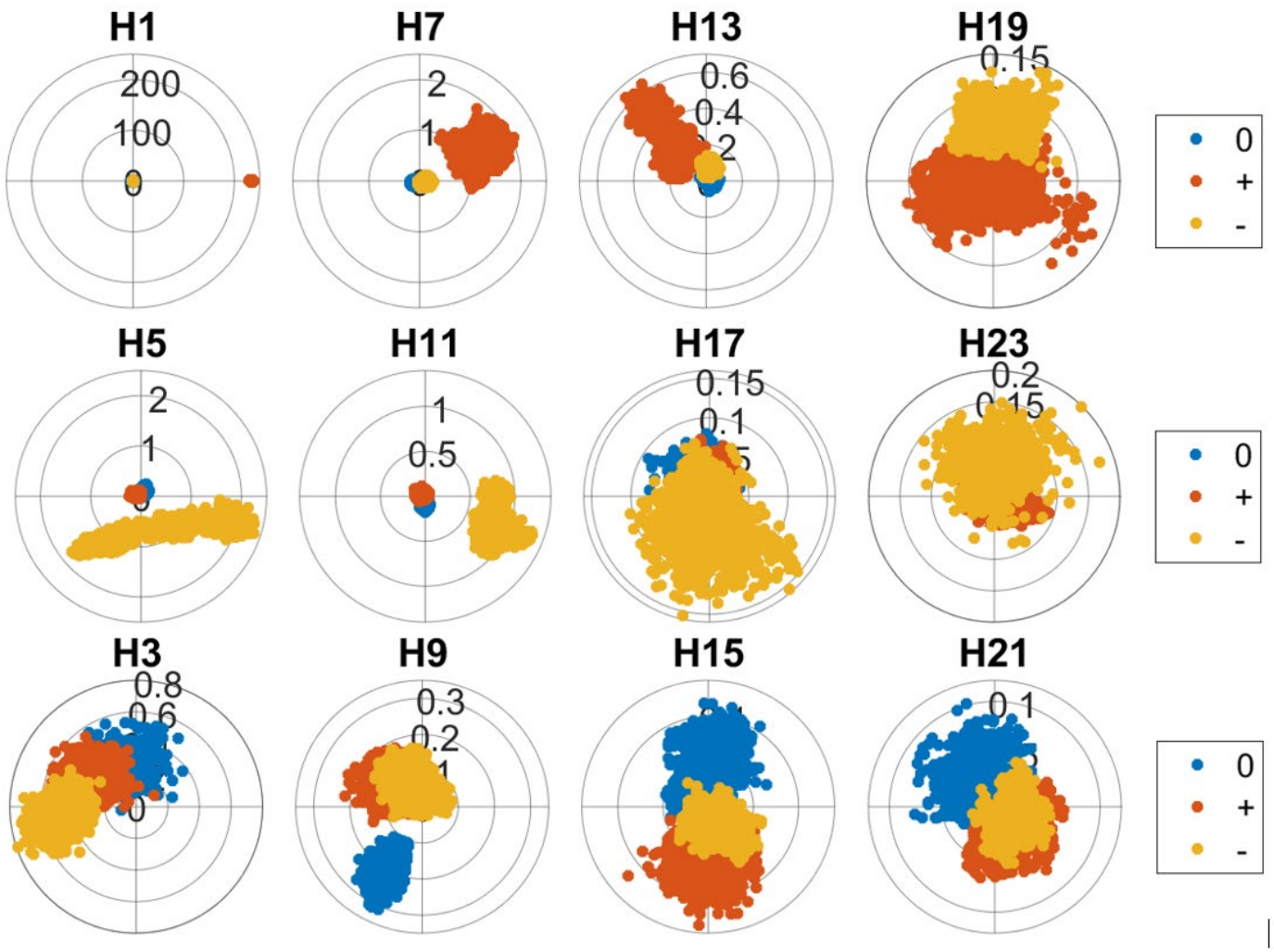
LULEÅ TEKNISKA UNIVERSITET

Aggregering av 3e och 9e ton



Källan: Naser Nakhodchi

Symmetriska och osymmetriska komponenter



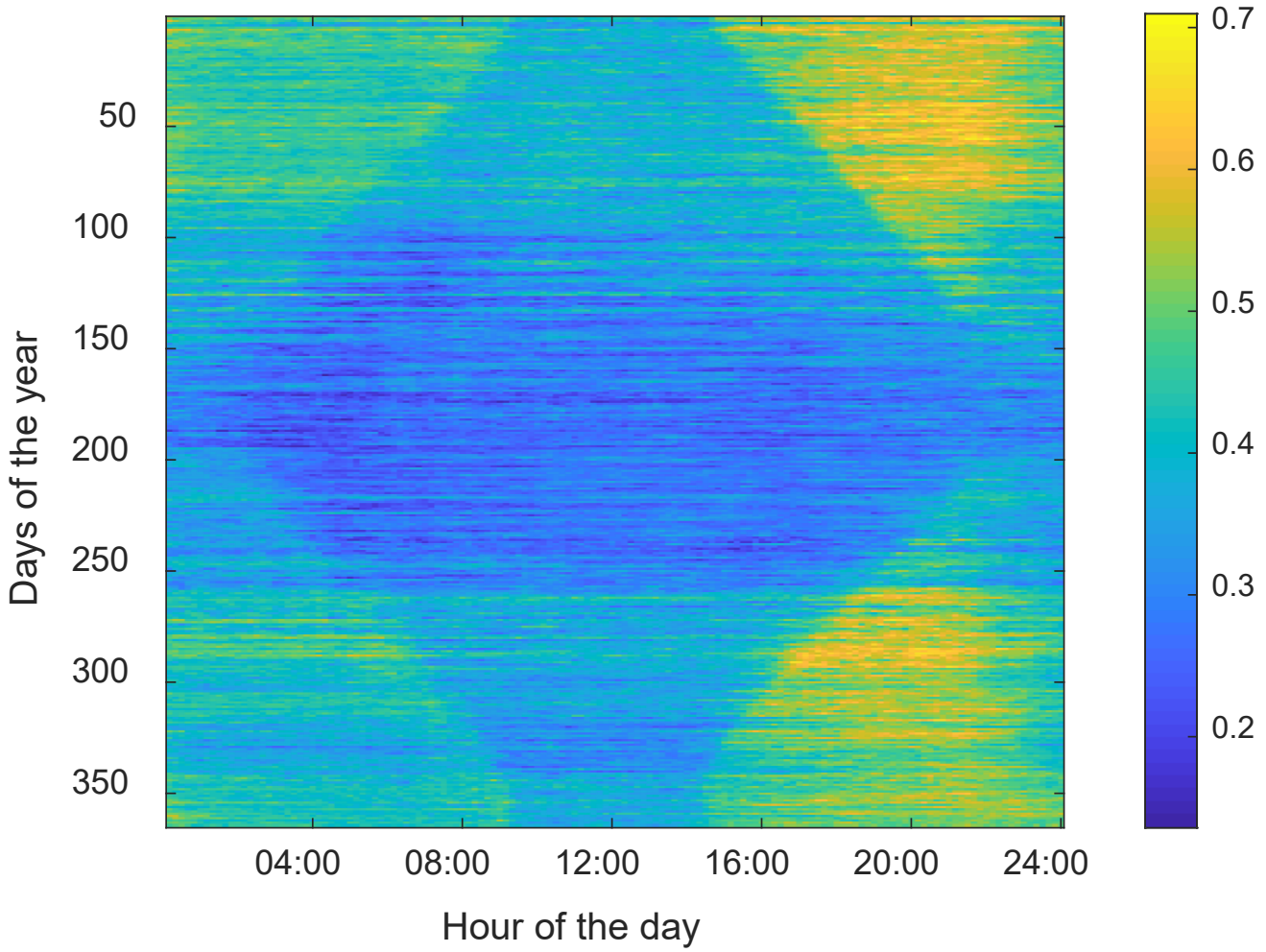
5e, 7e, 11e, 13e ton är bra balanserade

17e, 19e och 23e ton är inte bra balanserade

Multiplar av tre har stora obalanserade komponenter, som sprids över mellanspänningsnätet

Källan: Jil Sutaria

Variation med tid - Birkahamn



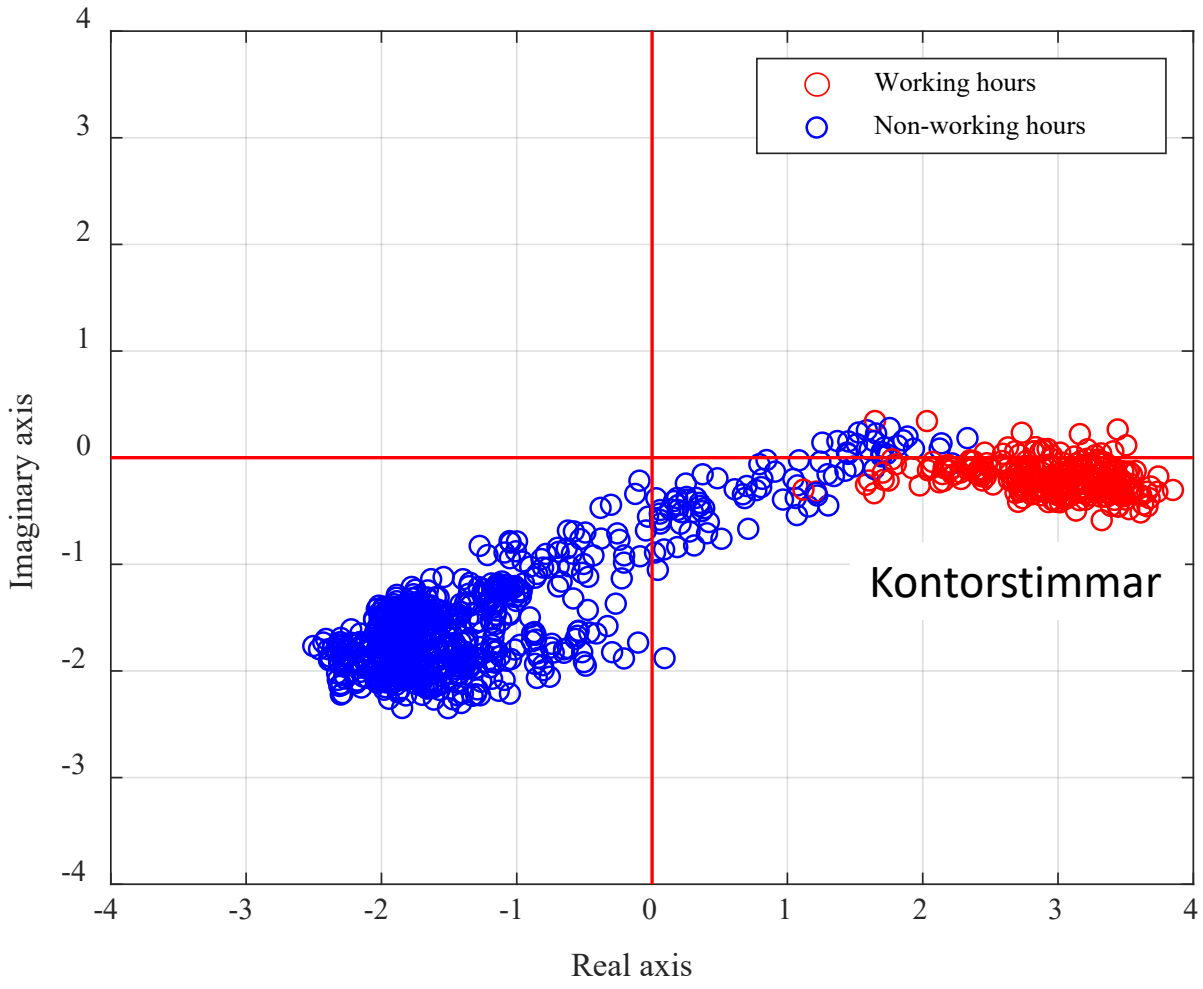
Gatubelysning misstänks ligga bakom mönstret.

Liknande mönster visas för andra frekvenser och transformatorer

Det finns också mönster relaterade till kontorstimmar

Källan: Roger Alves de Oliveira

Fasvinkel femte tonsspänning



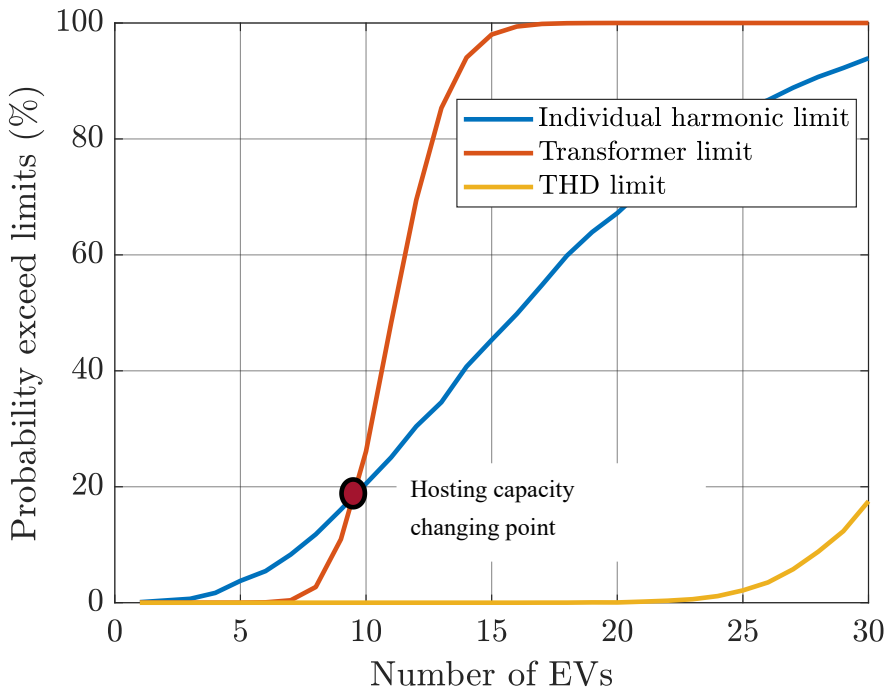
Förklaring till detta: trefaslaster kontinuerligt; enfaslaster under kontorstimmar.

Resulterar i en 12-timmers period i 5e-tons amplitud.

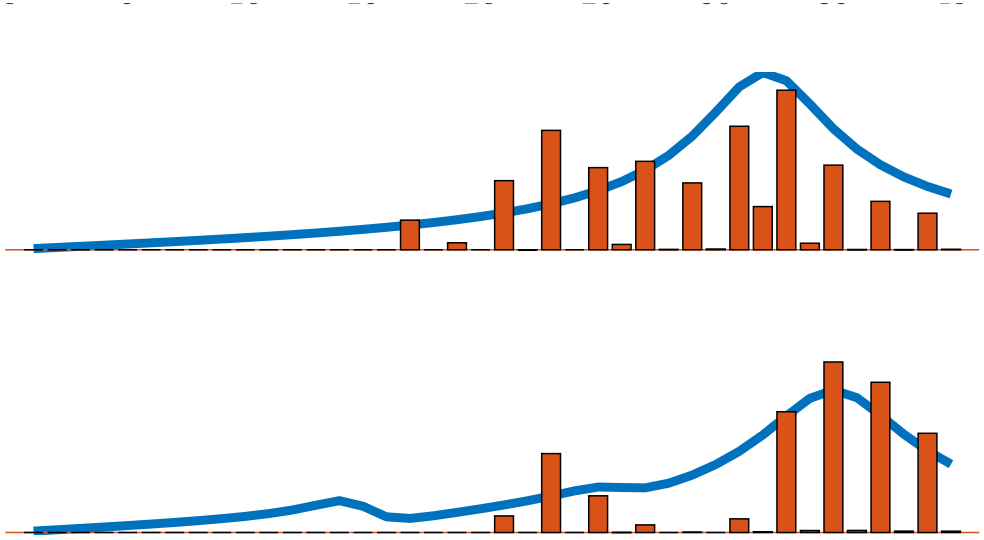
Källan: Naser Nakhodchi

Acceptansgräns för elbilsladdning

Sannolikhet av höga nivåer



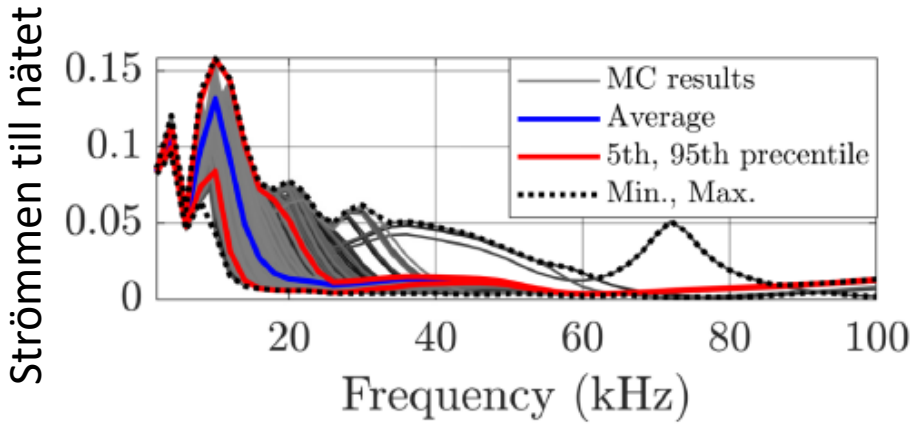
Frekvensen som sätter gränsen



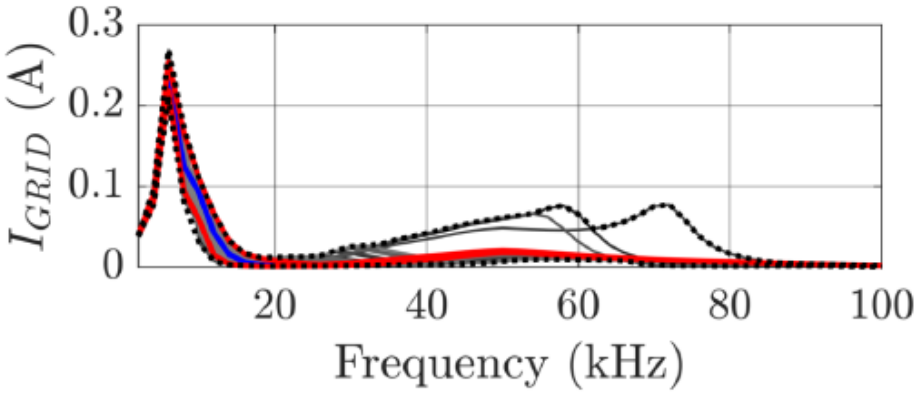
Det är viktigt att ta med mellanspänningsnätet och andra lågspänningsnät.
Övertonsspänningen kan överskrida gränsvärden innan transformatorn blir överbelastad.
Det är de högre frekvenserna som sätter gränsen först.

Källan: Naser Nakhodchi

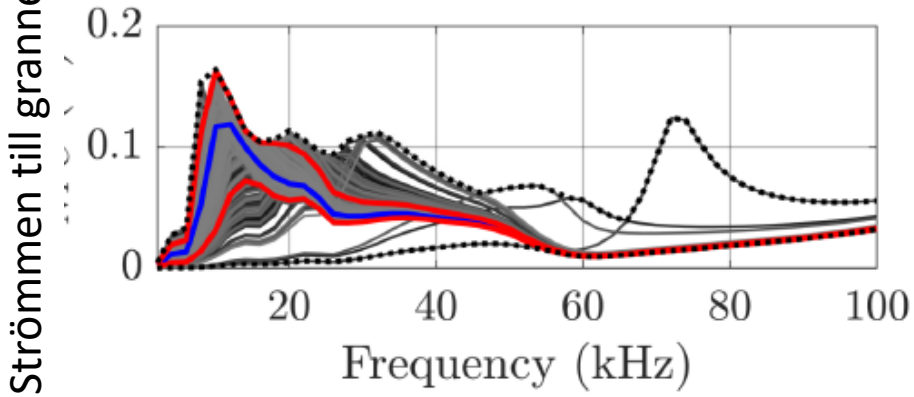
Supratoner – spridning i lågspänning



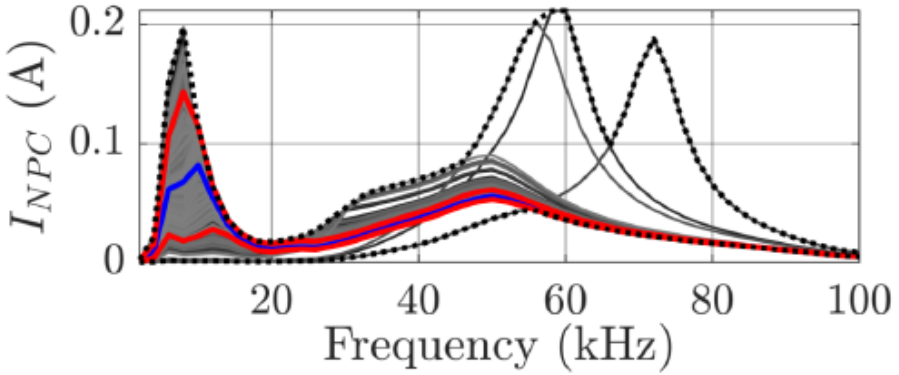
(a)



(b)



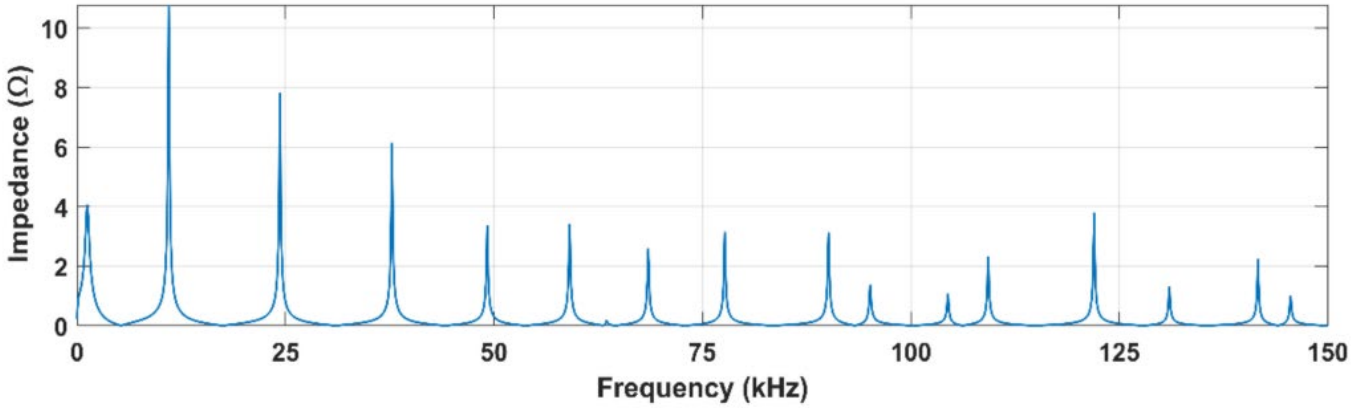
Emission från belysning



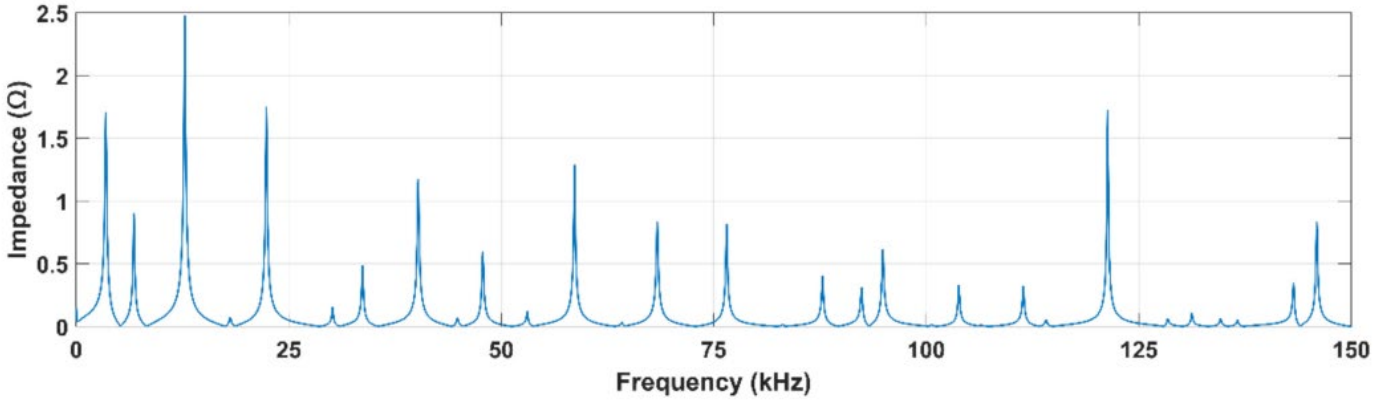
Emission från solcellsanläggning

Källan: Ángela Espín Delgado

Supratoner – resonanser på mellanspänning



(a)



Det finns många resonanser av mellanspänningsnätet som kan förstärka supratoner.

Både serie- och parallell-resonanser ska beaktas.

Relevans framförallt för källor anslutna till mellan-spänningsnätet

Källan: Shimi Sudha Letha

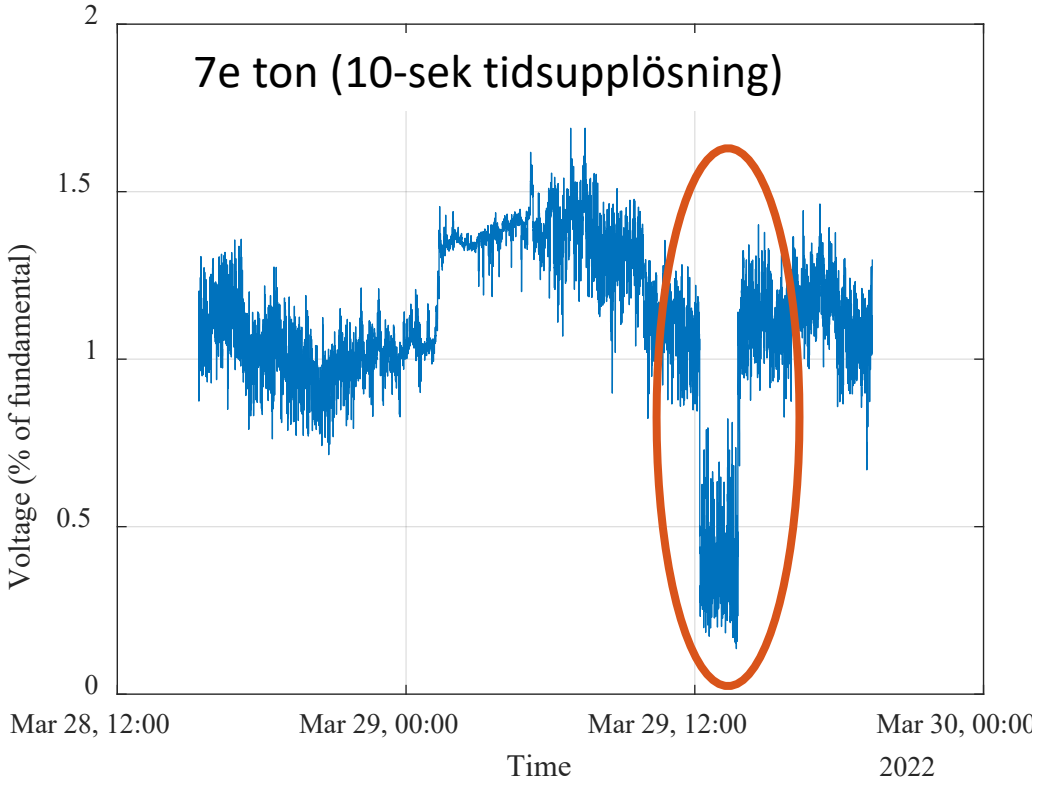
Och ibland har man bara tur

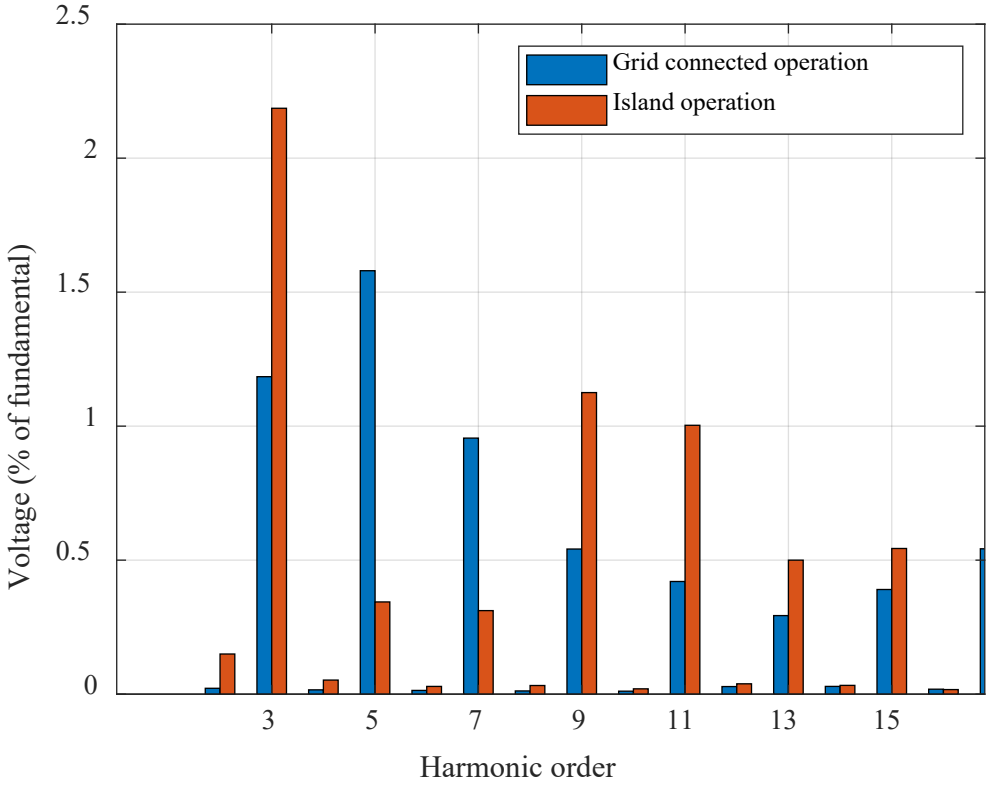
- Två naturliga händelsen som bekräftade resultat från våra modeller

- Ödrift (planerad) av ett lågspänningsnät med kring 400 lägenheter
  - 5e och 7e ton gick ner mycket
- Kabelfel på mellanspänning med annat driftläge efteråt
  - 5e, 7e och 9e ton ändrade vid annat driftläge

LULEÅ TEKNISKA UNIVERSITET

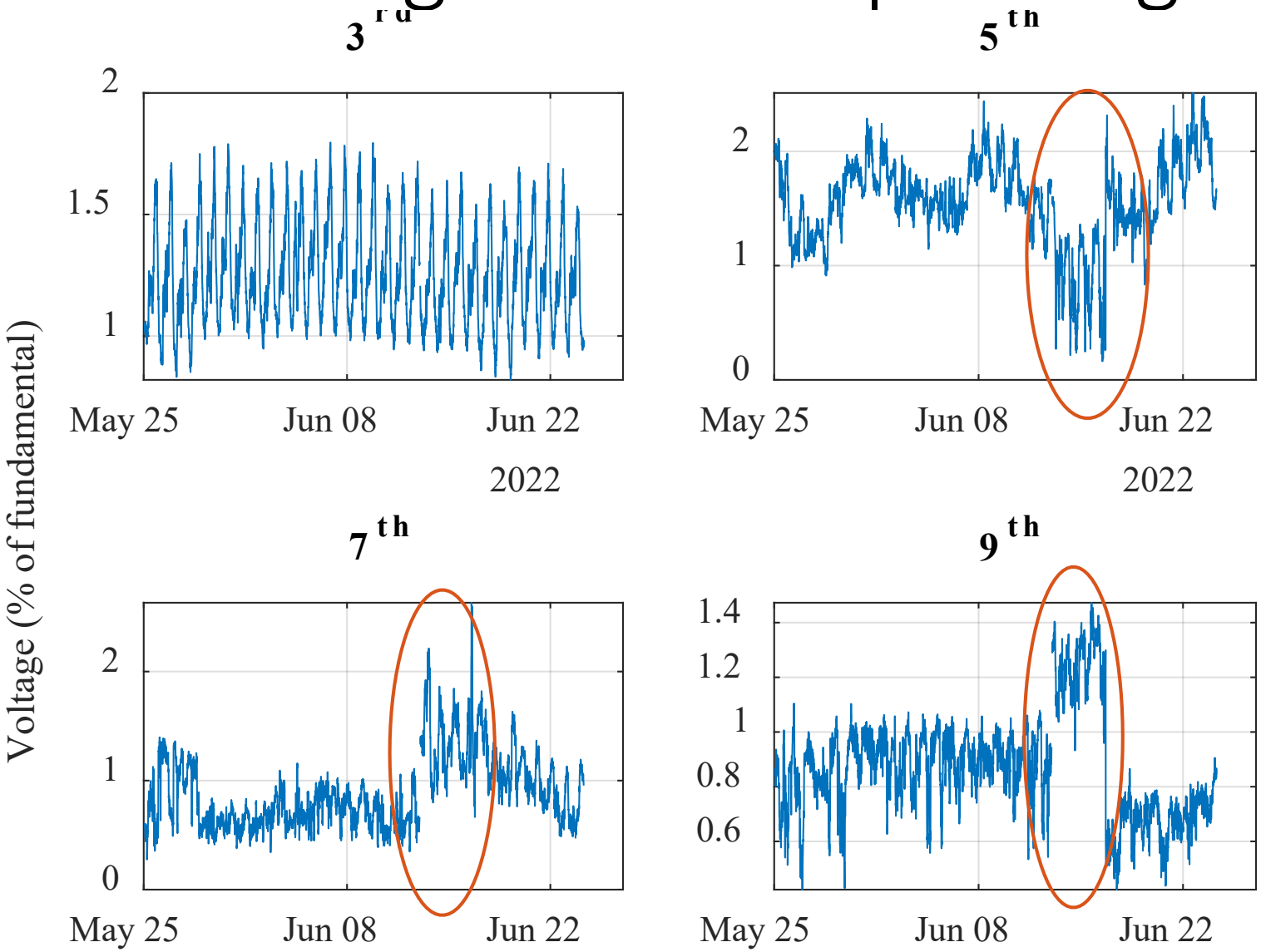
Ödrift av ett lågspänningsnät





5e och 7e ton minskar: bidraget från mellanspänning försvinner
3e, 9e, 11e ökar mycket: högre källimpedans från generatorn
13e, 15e ökar något: sannolikt en kombination

Annat driftläge i mellanspänningsnätet



Innehåll av rapporten

- Inledning, allmän beskrivning av övertoner, befintliga nivåer
- Spridning av övertoner
  - Transferimpedansmodell och tillämpning av den
- Mätningar
  - en del exempel som visades här plus några till
- Acceptansgräns
  - Kort sammanfattning och basprincipen samt möjligheter och begränsningar med tillämpningen till övertoner
  - Snabb och grov uppskattning
  - Exempel för fordonsladdning
- Supratoner
  - Kort sammanfattning av forskningsläget
- Konsekvenser av övertoner
  - Sammanfattning av information, kunskaper, litteraturen
- Slutsatser, diskussion, rekommendationer

LULEÅ TEKNISKA UNIVERSITET

Slutsatser

- Nuvarande nivåer är ganska låga, med undantag av 9e, 15e och 21e ton
- Det har egentligen inte hänt så mycket sedan 90-talet, men nivåerna har ökad för högre frekvenser
- Mellanspänningsnätet och möjligen även högspänningsnätet spelar en viktig roll för nivåer av övertoner i lågspänningsnät
  - Anslutningar på mellanspänningsnät kan behöva en utredning
- Gatubelysning misstänkts ha (ibland?) en stor påverkan
- Emission från elbilsladdning kan leda till höga nivåer av framförallt högre övertoner (11 och upp)
- Spridning av supratoner (2 kHz – 150 kHz) är svårt att förutse och det finns många resonanser i detta frekvensområde

LULEÅ TEKNISKA UNIVERSITET

Rekommendationer – fortsätt arbete

- Kontinuerliga mätningar i låg- och mellanspänningsnät
  - ”att mäta allt, alltid och överallt”
  - Verifiera modeller, observera trender
- Studier för att kartlägga emission från fordonsladdning
  - Övertoner, mellantoner, supratoner
  - Mätningar och simuleringar
  - Låg- och mellanspänningsanläggningar
- Spridning från mellanspänningsanslutningar till lågspänning
  - Nya resonanser från ytterligare kablifiering av mellan- eller högspänningsnät
- En seriös forskningssatsning åt modeller för övertonsimpedans av apparater och anläggningar
- En seriös forskningssatsning åt immunitet av apparater för höga nivåer av framförallt högre frekvenser och lägre-ordnings multipler av tre (9, 15, 21)
- Forskning om spridning av supratoner ska fortsättas
  - Källor anslutna till lågspänning
  - Källor anslutna till mellanspänning

LULEÅ TEKNISKA UNIVERSITET