

Vejledning

Version 1.1



Dok. ansvarlig: JVI
Sekretær: SLS
Sagsnr.: s2021-393
Doknr: d2019-5979-34.0
Udgivelsesdato: 23-06-2022

Version 1.1 - Procedurer og principper for elkvalitet ved tilslutning af store anlæg

Versionslog

Afsnit	Tekst	Version	Dato
	Udarbejdet af Dansk Energi og Energinet.	1.0	23. juni 2020
5	Opdatering i afsnit 5 med underafsnit 5.1 – forsimplet impedansmodel og 5.2 – Udvidet impedansmodel. Afsnit 5.2 indeholder en ny metode til at bestemme den frekvensafhængige netimpedans. Den nye metode skal anvendes ved indgåelse af nye nettilslutningsaftaler fra den 23. juni 2022. Ved nettilslutningsaftaler indgået før denne dato skal der anvendes 1. version af denne vejledning.	1.1	23. juni 2022
Alle	Redaktionelle rettelser.		

Denne vejledning beskriver de procedurer og principper, der skal anvendes i forbindelse med elkvalitet ved nettilslutning af større forbrugs- eller produktionsanlæg på mellem- eller højspændingsniveau i distributionsnettet.

Vejledningen henvender sig til teknikere i netselskaber, der arbejder med tilslutning af store anlæg på mellem- og højspændingsniveau.

Vejledningen har fokus på den harmoniske del af elkvalitet op til 9 kHz inklusiv de harmoniske grænseværdier. Dette er kun et udpluk af kravene, der stilles til elkvalitet. Et samlet overblik over alle krav til elkvalitet fremgår af ”*Vejledning for nettilslutning af forbrugsanlæg til mellem- og højspændingsnettet (> 1 kV)*” og ”*Vejledning for nettilslutning af produktionsanlæg til mellem- og højspændingsnettet (> 1 kV)*” under [Tekniske regler- Forbrug](#) og [Tekniske regler - Produktion](#).

Procedurerne og principperne har fokus på elkvalitet ved tilslutning af anlæg til mellem- eller højspændingsnettet. Strømgrænser anvendes for mindre produktionsanlæg i kategori A og B samt for forbrugsanlæg tilsluttet lavspænding og behandles ikke i nærværende vejledning. Krav til disse

anlæg fremgår af vejledningerne ”Vejledning for nettilslutning af forbrugsinstallationer til lavspændingsnettet” og ”Vejledning for nettilslutning af produktionsanlæg til lavspændingsnettet” – kan findes via ovenstående links.

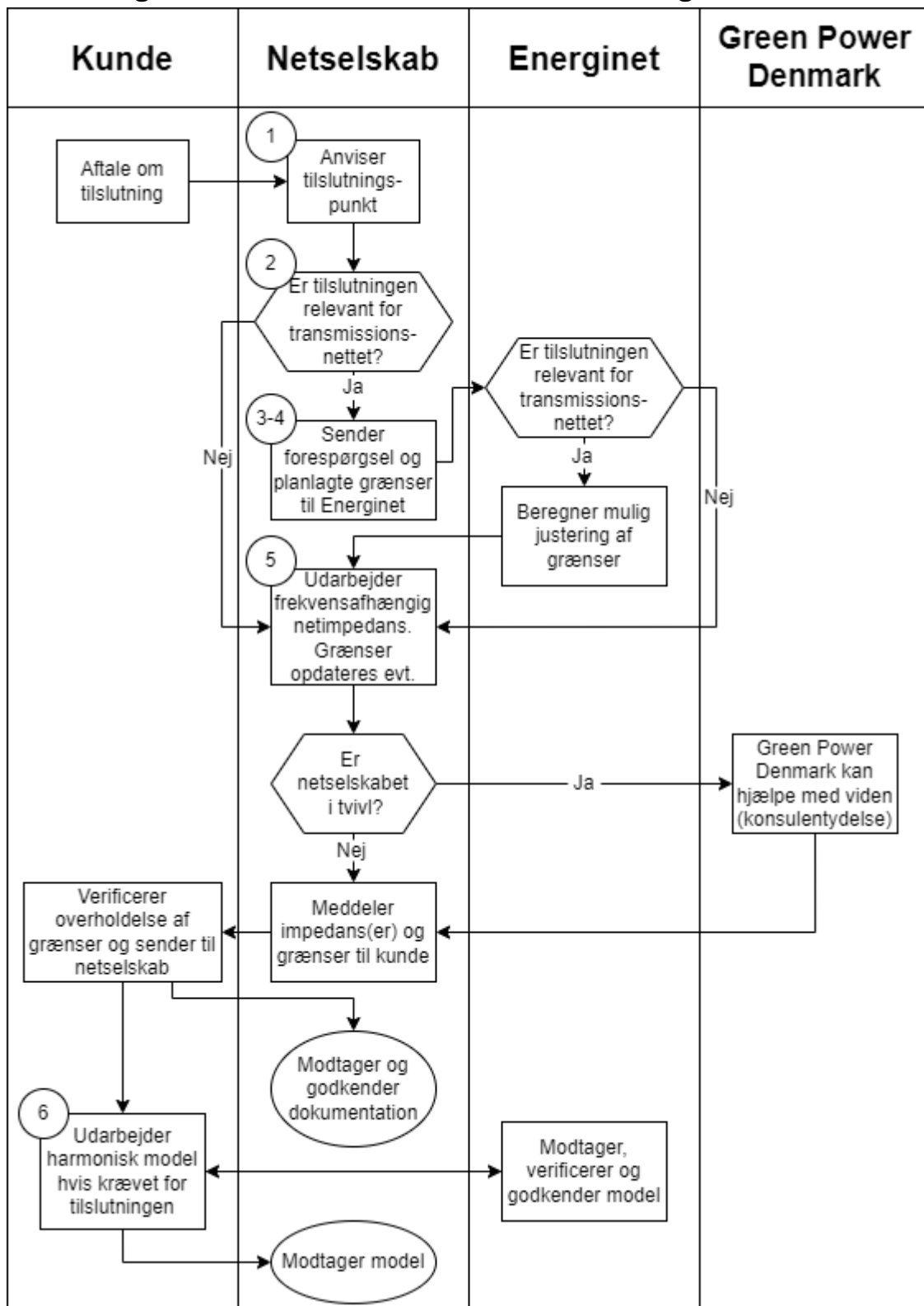
Alle emissionsgrænser skal overholdes i nettilslutningspunktet POC.

Den overordnede proces for at sætte krav til elkvalitet for store anlæg fremgår af Figur 1 efterfulgt af en række nummererede afsnit, som beskriver de enkelte delpunkter i processen mere grundigt. Afsnittenes nummerering følger numrene på Figur 1.

Indhold

Procesdiagram for elkvalitetskrav ved tilslutning	3
1. Tilslutning og hvor krav fastsættes	4
2. Er tilslutningen relevant for transmissionsnettet?	4
3. Sende forespørgsel og planlagte grænser til Energinet	4
4. Principper for beregning af grænseværdier	5
5. Udarbejdelse af frekvensafhængig netimpedans	5
5.1 Forsimplet impedansmodel	5
5.2 Udvidet impedansmodel	6
6. Krav til harmonisk simuleringsmodel	10
7. Anbefalinger vedrørende opsætning af elkvalitetsmåler ved tilslutning af nye anlæg	12
Bilag 1: Eksempler på forespørgsel om relevans for transmissionsnettet	15
Bilag 2: N-1 og N-2	16
Bilag 3: Grafisk eksempel på efterbehandling af impedansresultat	17
Bilag 4: Eksempel på efterbehandling	19

Procesdiagram for elkvalitetskrav ved tilslutning



Figur 1: Processkema for de krav, der er specifikke for elkvalitet ved tilslutning. Processen er ikke den samlede proces, men udelukkende elkvalitetsdelen af den samlede tilslutningsproces.

1. Tilslutning og hvor krav fastsættes

Ved alle tilslutninger er der under den generelle tilslutning defineret et tilslutningspunkt (POC). Krav til elkvalitet bør altid fastsættes i dette tilslutningspunkt.

Anlæg, som tilsluttes og har flere tilslutningspunkter, bør få krav til elkvalitet fastsat i hvert af disse tilslutningspunkter individuelt – dvs. der bør fastsættes krav for hvert POC.

2. Er tilslutningen relevant for transmissionsnettet?

Visse anlæg, der tilsluttes til distributionsnettet, kan være så store, eller af en sådan beskaffenhed, at de har en betydende indvirkning på transmissionsnettet. I disse tilfælde skal Energinet Elsystemansvar inddrages i tilslutningsprocessen, se Figur 1.

Inddragelsen af Energinet Elsystemansvar sker ved, at netselskabet kører en ekstra runde med Energinet Elsystemansvar, inden de endelige krav sendes til kunden. Netselskabet vil på denne måde kunne medtage eventuelle krav fra Energinet Elsystemansvar i et enkelt sæt samlede krav, så kunden stadig kun modtager et enkelt sæt krav, der skal overholdes.

Netselskabet skal vurdere, hvorvidt et anlæg, som tilsluttes, kan være relevant for transmissionsnettet. Anlægstyper, der som udgangspunkt kan være relevante for transmissionsnettet, er følgende:

- Produktionsanlæg i kategori D
- Forbrugsanlæg over 25 MW
- Produktions- eller forbrugsanlæg, der er af en specifik beskaffenhed, hvor der enten mistænkes eller forventes en betydelig indvirkning på transmissionsnettet¹.

3. Sende forespørgsel og planlagte grænser til Energinet

Hvis netselskabet vurderer, at en tilslutning af et anlæg kan være relevant for transmissionsnettet, sendes en forespørgsel herom til Energinet Elsystemansvar (elkvalitet@energinet.dk).

Forespørgslen skal som minimum indeholde følgende informationer²:

- Forventet tilslutningspunkt (plus evt. reserve/alternativt forsyningspunkt)
- Forbrug eller produktion, samt type af anlæg
- Størrelse af det samlede anlæg
- Forventede elkvalitetsgrænser til det tilsluttede anlæg
- Eventuelle netændringer i forbindelse med tilslutningen
- Øvrige anlæg i distributionsnettet, som er relevante for transmissionsnettet og allerede tilsluttet under samme hovedstation. Dette kunne eksempelvis være anlæg med meget kabelnet, fasekompensering, filtre etc.
- Forventet længde og type af net for tilslutning (det kabel/den linje, der anvendes til tilslutning af kunden).

¹ Dette kan fx være, hvis det mistænkes, at anlægget har en større indvirkning på impedansforholdene i tilslutningspunktet, idet det vil kunne skabe kraftige resonansfænomener el.lign. Dette kunne eksempelvis være anlæg med invertere, meget kabelnet etc.

² Se også eksempler i Bilag 1.

Hvis Energinet Elsystemansvar ikke finder anlægget relevant for transmissionsnettet, fortsætter netselskabet deres tilslutningsproces som normalt efter principperne i afsnit 4.

Hvis Energinet Elsystemansvar finder anlægget relevant for transmissionsnettet, vil de udarbejde justeringer til grænser, som sendes til netselskabet til indarbejdelse i de endelige krav til kunden.

4. Principper for beregning af grænseværdier

Beregning af grænseværdier foregår efter principperne i IEC/TR 61000-3-6³ og IEC/TR 61000-3-7. Disse er internationalt udarbejdede forslag til planlægningsgrænser og beregningsmetoder for, hvordan den tilladelige forvrængning af elkvaliteten beregnes og tildeles tilslutninger efter deres størrelse.

Bemærk, at forbrug og produktion ikke nødvendigvis støjer på en måde, så det udligner hinanden, men sagtens kan støje ens, således at støjen summeres op. Af denne årsag er det vigtigt at anvende summen af en transformers forbrug og produktion, når emissionsgrænser tildeles tilslutninger.

I praksis betyder det, at den samlede emissionsgrænse for støj under transformeren skal deles mellem forbrug og produktion – så fx en transformer, der kan levere 50 MW, skal dele den tilladelige støj for tilslutninger ud fra 100 MW støjende tilslutninger (50 MW støjende forbrug og 50 MW støjende produktion).

5. Udarbejdelse af frekvensafhængig netimpedans

En af to metoder skal bruges til at bestemme den frekvensafhængige netimpedans:

1. Forsimplet impedansmodel
2. Udvidet impedansmodel

Den forsimplede impedansmodel bruges for anlæg, der ikke er relevante for transmissionsnettet. Hvis anlægget er relevant for transmissionsnettet, er der behov for en mere præcis metode end metode 1, og den udvidede impedansmodel skal bruges i stedet.

Den udvidede impedansmodel kan ikke fange alle resonanser, som kan opstå i nettet ved flere indfødningspunkter. Nogle af disse resonanser "mistes", fordi transmissionsnettet repræsenteres med et simpelt Thévenin-ækvivalent. Det er dog vurderet som en realistisk repræsentation af nettets impedans og fuldt ud anvendelig.

5.1 Forsimplet impedansmodel

Ved tilslutninger, der ikke er relevante for transmissionsnettet, bruges den forsimplede impedansmodel, hvor impedansen udregnes på baggrund af $S_{k,elkvalitet}$ og den tilhørende kortslutningsvinkel.

Beregning af grænseværdier udfærdiges efter principperne i afsnit 4.

³ Bemærk, at den forsimplede impedansmodel i IEC/TR 61000-3-6 ikke anvendes. Den frekvensafhængige impedans i denne vejledning anvendes i stedet.

I tilfælde, hvor $S_{k,elkvalitet}$ ikke er tilgængelig, beregnes den ved at tage den direkte middelværdi af minimumskortslutningseffekten og maksimumskortslutningseffekten formel (1). Den tilhørende kortslutningsvinkel beregnes som set i formel (2).

$$S_{k,elkvalitet} = \frac{S_{k,min} + S_{k,maks}}{2} \quad (1)$$

$$\Phi_{k,elkvalitet} = \frac{\Phi_{k,min} + \Phi_{k,maks}}{2} \quad (2)$$

$S_{k,elkvalitet}$ og kortslutningsvinkel opgives til kunden, samt eventuelt den deraf afledte beregnede netimpedans $|Z_{net,h}| = \sqrt{R_{50}^2 + (h \cdot X_{50})^2}$.

Impedansen beregnes op til den 40. harmoniske (2000 Hz), hvorefter den fastholdes som den 40. harmoniske (impedansen over 2000 Hz er således den samme som impedansen ved 2000 Hz).

5.2 Udvidet impedansmodel

I tilfælde, hvor et anlæg forventes at være relevant for transmissionsnettet eller have betydende indvirkning på distributionsnettet, anvendes følgende metode i stedet for den forsimplede impedansmodel for frekvensintervallet 50-2000 Hz. Impedanserne over 2000 Hz bestemmes som beskrevet i den forsimplede impedansmodel.

Den frekvensafhængige netimpedans beregnes ved følgende metode:

1. Minimumskortslutningseffekten og vinklen for lavspændingssiden af hovedstationen (132 eller 150 kV-skinen) beregnes.
2. Resistansen og reaktansen for kortslutningseffekten bestemmes.
3. Resistansen og reaktansen udregnes for frekvensintervallet 50-2100 Hz.
4. Netmodellen åbnes i netselskabets simuleringsprogram, for at trin 5 og 6 kan udføres.
5. Overliggende net på hovedstationen afbrydes, og en AC-spændingskilde tilsluttes.
6. De udregnede resistanser og reaktanser, jf. trin 3, indtastes som AC-spændingskildens frekvensafhængighed (*bemærk, nogle simuleringstværkøjer bruger induktans og ikke reaktans!*).
7. Et frekvenssweep med en minimumsopløsning på 1 Hz eksekveres for stationen, hvor anlægget skal tilsluttes for udvalgte netkonfigurationer (N-0 og N-1)⁴ under vinterproduktion og -forbrug.
8. Efterbehandling foretages på den resulterende maksimale impedans i form af et flydende maksimum på ± 100 Hz. Der kan med fordel tages brug af Excel-værktøjet, der linkes til under [Efterbehandling](#).
9. Hvis kunden har behov for R-X polygon, fx til filterdesign, skal følgende foretages:
 - a. Eksekvere frekvenssweeps for N-2 med samme opløsning som de allerede simulerede frekvenssweeps.
 - b. Efterbehandlingen på den resulterende resistans og reaktans udføres.
 - c. Afslutningsvis anvendes linearisering.

⁴ Netkonfigurationerne er uddybet i trin 7 under afsnittet "Gennemgang af metodens trin".

Flere indfødningspunkter

For anlæg tilsluttet i distributionsnet med flere indfødningspunkter end et anvendes ovenstående metode med få justeringer. For flere indfødningspunkter skal der tilsluttes en AC-spændingskilde til alle indfødningspunkterne, hvor $S_{k,min}$ i stationen anvendes til at beregne resistanser og reaktanser som beskrevet i ovenstående metode.

Gennemgang af metodens trin

Trin 1-3:

Minimumskortslutningseffekten og vinklen for højspændingssiden af hovedstationen (132 eller 150 kV-skinen) findes i kortslutningskataloget, og minimumskortslutningsniveauet beregnes for lavspændingssiden af transformeren, jf. DS/EN 60909-0.

Når den mindste kortslutningseffekt skal findes på sekundærsiden af transformeren, er det vigtigt at have in mente, at der for stationer med parallelle transformere skal tages hensyn til, at kortslutningseffekten repræsenterer N-1 på transformerne. For net med flere indfødningspunkter fra transmissionsnettet er minimumskortslutningseffekten i nettet repræsenteret ved, at den af de 132-150/50-60 kV-transformere, der forsyner området med flere indfødningspunkter, og som giver det største kortslutningsbidrag til det punkt, hvor kunden tilsluttes, er taget ud af drift. De øvrige transformere, der forsyner området, antages i drift.

Med kortslutningseffekten og vinklen kan R_{50} og X_{50} bestemmes ved brug af formel (3), (4), (5) & (6).

$$|Z_{net,50}| = \frac{V_n^2}{S_{k,min}} \quad (3)$$

$$Z_{net,50} = |Z_{net,50}| \cdot \cos(\Psi_{k,min}) + j \cdot |Z_{net,50}| \cdot \sin(\Psi_{k,min}) \quad (4)$$

$$R_{50} = \text{real}(Z_{net,50}) \quad (5)$$

$$X_{50} = \text{imag}(Z_{net,50}) \quad (6)$$

Hvor:

$Z_{net,50}$ er impedansen ved grundfrekvensen

V_n er den nominelle fase-fase netspænding

$S_{k,min}$ er minimumskortslutningseffekten

$\Psi_{k,min}$ er minimumskortslutningsvinklen

R_{50} er resistansen ved grundfrekvensen

X_{50} er reaktansen ved grundfrekvensen.

Når resistansen og reaktansen ved grundfrekvensen er bestemt, kan disse bruges til at udregne resistansen og reaktansen for alle frekvenserne i intervallet 50-2100 Hz. For at finde $X_{50 \rightarrow 2100\text{Hz}}$ og $R_{50 \rightarrow 2100\text{Hz}}$ bruges formlerne (7) & (8).

$$X_{50 \rightarrow 2100\text{Hz}} = \frac{X_{50} \cdot f}{50} \quad (7)$$

$$R_{50 \rightarrow 2100\text{Hz}} = R_{50} \quad (8)$$

Hvor f er frekvensen i Hz.

Trin 4-6:

Når resistanserne og reaktanserne for frekvensintervallet er bestemt, fortsættes der i det foretrukne simuleringsværktøj.

Al overliggende net afbrydes fra hovedstationen, og i stedet tilsluttes der en AC-spændingskilde. Resistanserne og reaktanserne indtastes i AC-spændingskildens frekvensafhængighed (frekvensafhængigheden findes formentligt tæt på de harmoniske indtastninger).

Nogle simuleringsværktøjer bruger induktanser som input i stedet for reaktanser. Reaktanserne skal derfor først omregnes til induktanser ved brug af formel (9) (Vær opmærksom på enheder).

$$L_{50 \rightarrow 2100\text{Hz}} = \frac{X_{50}}{2 \cdot \pi \cdot 50} \quad (9)$$

Trin 7:

Når AC-spændingskilden er indsat i modellen som beskrevet ovenfor, skal der eksekveres et frekvenssweep for normaldriftsnetkonfigurationen⁵ samt relevante N-1-netkonfigurationer.

Relevante N-1-netkonfigurationer indbefatter udkobling af alle linjer tilsluttet stationen samt produktion, der ikke forbliver tilsluttet i gældende netkonfiguration. Er linjerne fra stationen meget korte, kan det overvejes at foretage N-1 på tilstødende station.

Hvis anlægsejer har behov for R-X-polygonet, skal der udover normaldrift og N-1 også kigges på N-2-netkonfigurationer. Der skal i så fald foretages frekvenssweep for alle mulige N-2-konfigurationer med de samme linjer, som blev udkoblet under N-1-konfigurationerne.

I Bilag 2 findes eksempel på, hvilke linjer der udkobles under N-1 og N-2.

Trin 8:

Efterbehandling

Når frekvenssweepene er eksekveret, skal resultaterne efterbehandles. Følgende Excel-skabelon kan med fordel tages i brug for at udføre efterbehandlingen:

Findes under dokumenter på [Tekniske regler - Produktion](#)

⁵ Normaldrift er defineret som både med og uden eksisterende produktionsenheder.

For alle frekvenssweep-resultaterne skal impedanserne beregnes ved brug af formel (10), hvilket resulterer i en impedans for alle frekvenser i intervallet 50-2100 Hz.

$$Z(f) = \sqrt{R(f)^2 + X(f)^2} \quad (10)$$

Når impedanserne er beregnet for alle eksekverede frekvenssweep, sammenlignes alle frekvens-sweep-impedanserne for hver frekvens, og den maksimale impedans vælges. Dette resulterer i impedanser for frekvensområdet 50-2100 Hz, som beskriver netimpedanserne for de undersøgte netkonfigurationer.

Flydende maksimum

Næste skridt er at lave et flydende maksimum på ± 100 Hz for den resulterende maksimale impedans, der er fundet frem til jf. ovenstående. Det flydende maksimum foretages kun for impedanserne i intervallet 51-2100 Hz. Impedansen ved 50 Hz tages ikke med i det flydende maksimum, da impedansen er kendt fra kortslutningseffekten og vinklen.

Det flydende maksimum bestemmes ved at liste impedanserne fra 51 til 2100 Hz. Til en start vælges den første impedans i listen som "impedansen ved den undersøgte frekvens": $Z(f_{obs})$. Denne impedans skal sammenlignes med alle impedanser 100 Hz tilbage og 100 Hz frem i listen over impedanser. Er det tilfældet, at $Z(f_{obs})$ er den største impedans i det undersøgte interval ± 100 Hz, sættes den resulterende maksimale impedans lig med den undersøgte impedans (se evt. formel (11)).

$$\begin{aligned} \text{Hvis } Z(f_{obs}) > Z(f_{sam}) &\rightarrow Z_{flyd-maks}(f_{obs}) = Z(f_{obs}), \\ \text{for } f_{sam} \in [f_{obs} - 100, f_{obs} + 100] & \end{aligned} \quad (11)$$

Det kan også være tilfældet, at $Z(f_{obs})$ ikke er den største impedans i det undersøgte interval ± 100 Hz, men at den største impedans i stedet optræder for én af de andre frekvenser i intervallet. I det tilfælde sættes den resulterende maksimale impedans lig med den største impedans i intervallet (se evt. formel (12)).

$$\begin{aligned} \text{Hvis } Z(f_{obs}) < Z(f_{sam}) &\rightarrow Z_{flyd-maks}(f_{obs}) = \max(Z(f_{sam})), \\ \text{for } f_{sam} \in [f_{obs} - 100, f_{obs} + 100] & \end{aligned} \quad (12)$$

Herefter gentages den ovenstående proces, indtil alle impedanser (51-2000 Hz) er løbet igennem.

Når impedanserne i intervallet 51-2100 Hz undersøges, vil der være grænseområder i begge ender af intervallet, hvor der ikke kan sammenlignes med 100 Hz tilbage eller frem. I disse yderområder skal der sammenlignes med de mulige frekvenser.

Undersøges fx impedansen ved 75 Hz, er sammenligningsintervallet kun 51-175 Hz.

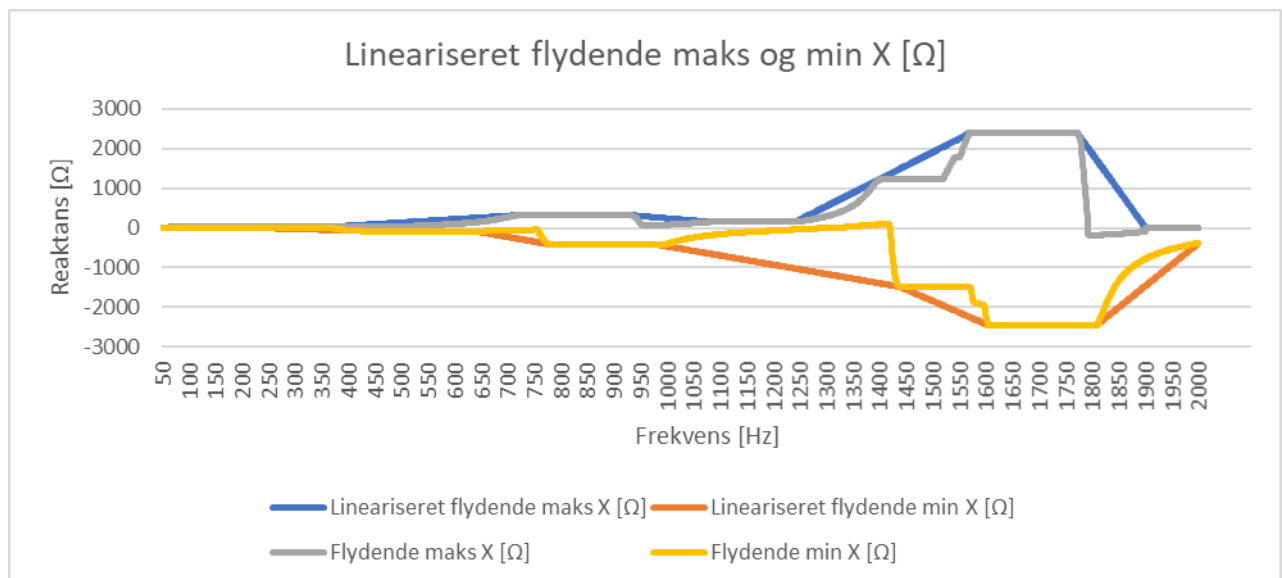
Grafisk eksempel af efterbehandlingen kan ses i Bilag 3 og Bilag 4.

Det flydende maksimum ($Z_{flyd-maks}$) baseret på de maksimale impedanser i frekvensintervallet 50-2000 Hz sendes til kunden sammen med impedanserne i frekvensintervallet 2000-9000 Hz bestemt som beskrevet i den foresimplede impedansmodel.

Trin 9:

I særtilfælde, hvor kunden har brug for yderligere information om nettets resistans og reaktans, bruges næsten samme metode:

1. Der simuleres frekvenssweep for N-0, N-1 og N-2.
2. Den maksimale og minimale resistans og reaktans findes for hver frekvens på baggrund af resultaterne af frekvenssweepene (N-0, N-1 og N-2).
3. Efterbehandling i form af flydende maksimum og minimum udføres på resistans og reaktans. Det flydende maksimum og minimum lineariseres. Lineariseringen skal foretages mellem det flydende maksimum og minimums "flade niveauer". Se Figur 2 for at se et eksempel på dette.
 - a. Lineariseringen er til for at sikre et robust design af filtre mm., samt at designede filtre overholder kravene til elkvalitet. Dette gavner både anlægsejer og netselskab og sikrer, at filtre designes således, at harmonisk emission i resonansområderne mindskes.
4. Der kan laves R-X-polygoner for alle frekvenser i intervallet, hvis nødvendigt.



Figur 2: Eksempel på linearisering.

6. Krav til harmonisk simuleringsmodel

Krav til konkrete harmoniske simuleringsmodeller for forbrugsanlæg afhænger af anlæggets størrelse. Dette afsnit er udelukkende relevant for harmoniske simuleringsmodeller og er ikke anvendeligt for øvrige simuleringsmodeller.

Forbrugsanlæg mindre end og lig 10 MW

Forbrugsanlæg på 10 MW og herunder har som udgangspunkt ikke noget egentligt krav om en harmonisk simuleringsmodel. Forbrugsanlæggets harmoniske emissioner, som anvendes til at verificere overholdelse af de angivne grænseværdier for forbrugsanlægget, er normalt fyldestgørende.

Forbrugsanlæg over 10 MW og til og med 25 MW

Forbrugsanlæg over 10 MW og til og med 25 MW har som udgangspunkt ikke yderligere krav til harmonisk simuleringsmodel end forbrugsanlæg på 10 MW eller derunder – dog kan der være krav om en harmonisk simuleringsmodel, hvis:

- anlægget i sjældne tilfælde er relevant for transmissionsnettet
- anlægget kan have en betydelig indvirkning på den frekvensafhængige impedans lokalt
 - Fx kan nogle invertere rykke ved frekvensimpedanserne.

Hvis intet af ovenstående er gældende, er de harmoniske emissioner, som anvendes til at verificere overholdelse af de angivne grænseværdier, fyldestgørende.

Forbrugsanlæg over 25 MW

Forbrugsanlæg over 25 MW har kun krav om en harmonisk simuleringsmodel, hvis:

- forbrugsanlægget anses som værende relevant for transmissionsnettet
- der af andre årsager skal anvendes impedanspolygoner for beregninger med impedansen
- anlægget har en betydelig indvirkning på den frekvensafhængige impedans lokalt
 - Fx kan nogle invertere rykke ved frekvensimpedanserne.

Hvis intet af ovenstående er gældende, er de harmoniske emissioner, som anvendes til at verificere overholdelse af de angivne grænseværdier, fyldestgørende.

Forbrugsanlæg, som er relevante for transmissionsnettet, skal overholde de harmoniske simuleringsmodelkrav, som er beskrevet i afsnittet omkring harmoniske simuleringsmodeller i NETWORK CODE ON DEMAND CONNECTION (DCC) - KRAV TIL SIMULERINGSMODEL (Dok. 17/07437-43).

Produktionsanlæg på 10 MW eller større skal altid levere en model, som overholder de harmoniske simuleringsmodelkrav, der er beskrevet i afsnittet omkring harmoniske simuleringsmodeller i REQUIREMENTS FOR GENERATORS (RFG) BILAG 1.B – KRAV TIL SIMULERINGSMODEL (Dok. 18/00436-1).

Levering af harmonisk simuleringsmodel, hvor tilslutningen er relevant for transmissionsnettet

Levering og verifikation af kundens (fra POC) harmoniske simuleringsmodel, hvor anlægget er relevant for transmissionsnettet, foregår direkte mellem anlægsejer og Energinet Elsystemansvar.

Netselskabet skal også bruge en harmonisk simuleringsmodel. Den harmoniske simuleringsmodel skal godkendes af Energinet Elsystemansvar, og anlægsejer skal herefter sende simuleringsmodellen til netselskabets kontaktperson.

7. Anbefalinger vedrørende opsætning af elkvalitetsmåler ved tilslutning af nye anlæg

Opsætning af elkvalitetsmåler ved et anlæg bør udelukkende foretages i de tilfælde, hvor det giver teknisk eller økonomisk mening. Dette afhænger af en række parametre, herunder hvilke krav der er til anlægget.

Overvejelser ifm. mulighed for opsætning af elkvalitetsmåler

Overvejelser ifm. mulighed for tilslutning af elkvalitetsmåler afhænger primært af, hvad der skal måles, dvs. oftest om den nye tilslutning har krav, der er fastsat som strømme eller spændinger.

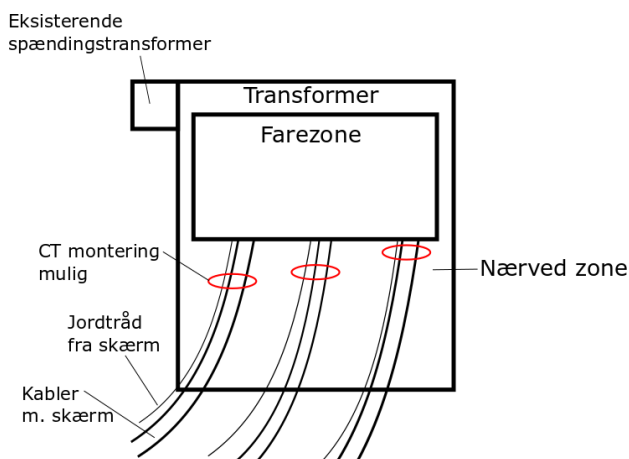
Anlæg med emissionskrav i strømme

I alle typer anlæg, hvor kravene til anlæggets emissioner er givet i strømme, bør det sikres, at der er let tilgængelig mulighed for at tilslutte en elkvalitetsmålers strømprober omkring de enkelte faseledere (med skærmen ført tilbage igennem målepunktet, så den bliver annulleret).

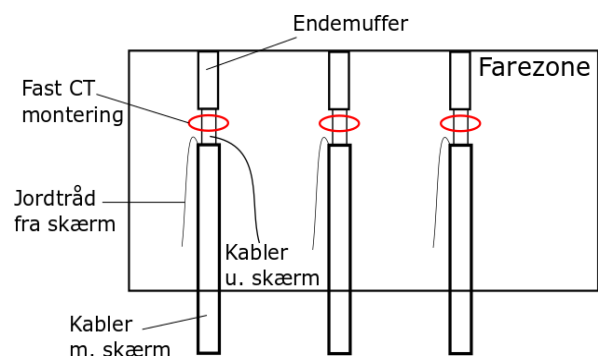
Figur 3 og Figur 4 viser eksempler på montering af midlertidige strømtransformere i nærved-zonen og på permanent montering i farezonen, hvor det sikres, at evt. påvirkning fra skærmen ikke er med i målingen.

Det bør også sikres, at der er mulighed for at tilgå eventuel eksisterende måletransformer for spændingen (hvis det er tilsluttet til mellemspændingsniveau), da elkvalitetsmålere ofte skal bruge dette som referencepunkt.

Dette omfatter alle forbrugsanlæg, som tilsluttes lavspænding, samt produktionsanlæg i kategori A eller B.



Figur 3: Tilslutning af midlertidige måletransformere til måling af strøm - måling om kabel med skærm.



Figur 4: Permanent tilsluttede strømtransformere – måling efter skærm. De permanente strømtransformere skal her være af en type, som kan måle stabilt hele vejen op i frekvens, hvor der er fastsat krav (typisk 9 kHz).

Anlæg med emissionskrav i spændinger

I alle typer anlæg, hvor kravene til anlæggets emissioner er givet i spændinger, bør det sikres, at der er installeret en måletransformer til spændingen, som er stabil i hele det frekvensområde, hvortil der stilles emissionskrav (normalt op til 9 kHz). Derudover bør det overvejes, om der kan sikres en let tilgængelig mulighed for at tilslutte en elkvalitetsmålers strømprober omkring de enkelte faseledere (efter en metode i stil med den i Figur 3) af hensyn til forbedret mulighed for diagnosticering og retningsbestemmelse af forstyrrelserne.

Dette omfatter forbrugsanlæg, som tilsluttes mellem- eller højspænding, samt produktionsanlæg i kategori C eller D.

Overvejelser ifm. opsætning af elkvalitetsmåler

Der er en række specifikke situationer, hvor det kan være en fordel at opsætte en elkvalitetsmåler til at verificere påvirkningen af elnettet. Fx:

- Anlæg bestående af enten flere forskellige typer enheder, eller et højt antal (> 10) enheder. I disse tilfælde er der stor sandsynlighed for, at udligningen af støj ikke passer med de almindelige matematiske summeringsregler i de anvendte IEC-standarder. Yderligere er det her, et anlæg kan begynde at have uforudsete interaktioner mellem de enkelte enheder, som kan skabe problemer med resonanser, sekundær emission mv.
- Anlæg med krav til emissioner givet i spændinger, da en før- og efter-måling er den eneste måde, hvor overholdelse af støjgrænser kan verificeres med måling her, samt at det er den eneste måde at verificere, at den anvendte impedans passer med virkeligheden.
- I områder, hvor elkvaliteten forventes udfordret, eller hvor der tidligere har været klager, kan det også være fordelagtigt at have en måling opsat til at verificere, at elkvaliteten stadig er i orden efter den nye tilslutning.

Hvor længe skal en elkvalitetsmåler sidde?

En elkvalitetsmåler, som skal verificere overholdelse af elkvaliteten, skal som minimum sidde en uge (7 hele, sammenhængende døgn).

En elkvalitetsmåler, som skal sikre overholdelse af emissioner fra en ny tilslutning, skal minimum sidde i en uge (7 hele, sammenhængende døgn) – muligvis længere. Verificering af en ny tilslutning skal inkludere målinger af alle driftspunkter – så en vindmølle skal have produktion varierende fra nul til fuld produktion, en solcelle mellem nat og optimalt solindfald og et forbrugsanlæg alle normalt forventelige driftspunkter.

Fx vil en fabrik med planer om at køre 1/3 produktion om sommeren, men ellers fuld produktion, skulle verificeres over en eller flere måleperioder, som dækker både fuld produktion og den reducerede sommerproduktion.

Længere målinger af elkvaliteten kan også være fordelagtige, så målingerne ud over variation i emission også udsættes for variation i kortslutningsniveauet.

Verifikation af visse specifikke dele af elkvalitet kræver dog længerevarende målinger. Verifikation af spændingsdyk og/eller transienter skal foretages over minimum 6 måneder, men helst 12 måneder, hvis muligt.

At opretholde måleren permanent er ikke et krav ved tilslutninger, men kan fint give mening i mange tilfælde – specielt på højspændingsniveau, da selve måleren her kun vil være en begrænset del af den samlede udgift til den evt. nødvendige måling.

Tekniske krav til elkvalitetsmåler

Elkvalitetsmålere skal være i stand til at måle de relevante parametre afhængig af formålet med den pågældende måling. Fx skal en måling efter overholdelse af EN 50160 kunne måle de parametre, der sættes krav om i EN 50160.

For tilslutning af nye anlæg skal målerne kunne måle de parametre, der stilles krav til i de Tekniske Betingelser for nettilslutning:

- Målinger af de forskellige elkvalitetsparametre skal udføres i henhold til den europæiske norm DS/EN 61000-4-30 (klasse A).
- Måling af harmonisk forvrængning af spænding og strøm skal foretages som defineret i IEC 61000-4-7 efter de principper (harmonic subgroup) og med de nøjagtigheder, der er angivet for klasse I.
- Måling af interharmonisk forvrængning op til 2 kHz skal foretages som defineret i IEC 61000-4-7 Annex A og skal måles som interharmoniske grupper (interharmonic subgroup).
- Alternativt er det tilladt at måle harmonisk forvrængning op til 2 kHz med grouping aktiveret (harmonic groups), som specificeret i IEC 61000-4-7 og med de nøjagtigheder, der er angivet for klasse I. Hvis harmonisk forvrængning op til 2 kHz måles med grouping aktiveret, er det ikke påkrævet at måle interharmonisk forvrængning op til 2 kHz separat.
- Måling af forstyrrelser i området 2-9 kHz skal foretages jævnfør IEC 61000-4-7 Annex B og skal måles i 200 Hz-vinduer med centerfrekvenser fra 2100 Hz til 8900 Hz.

Det vil sige, at målerne ved tilslutninger af nye anlæg skal kunne måle op til 9 kHz efter metoderne specificeret i ovennævnte standarder.

Bilag 1: Eksempler på forespørgsel om relevans for transmissionsnettet

Nedenfor er to eksempler på, hvilke informationer der skal medtages ved en forespørgsel til Energinet om, hvorvidt en tilslutning er relevant for transmissionsnettet.

Eksempel 1:

Tilslutning af pumpestation.

- Tilslutning til 132/50 kV-station ABC direkte til 50 kV-skinne.
- Udelukkende forbrug, frekvensstyrede pumper.
- 47 MW forbrug samlet set.
- Vedhæftet VAS-EL-beregning, som angiver fordelingen af krav til elkvalitet.
- Der forventes ingen netændringer i forbindelse med tilslutningen.
- Der er ingen andre tilsluttede kunder, som er relevante for transmissionsnettet.
- Tilslutningen sker direkte til 50 kV-skinne i hovedstationen gennem et 750 meter langt kabel.

Eksempel 2:

Tilslutning af fabrik med vindmøller og solceller.

- Tilslutning til 150/60 kV-station DEF direkte til 60 kV-skinne.
- Blandet tilslutning bestående af en fabrik med vindmølle og solceller.
 - Fabrikken har en 25 MW direkte koblet synkronmotor og herudover primært frekvensstyrede maskiner.
 - Både vindmøller og solceller er inverterbaserede.
- 72 MW forbrug til fabrikken og 27 MW blandede vindmøller og solceller.
- Vedhæftet VAS-EL-beregning, som angiver fordelingen af krav til elkvalitet.
- Det forventes, at station DEF skal forstærkes for at kunne levere den nye samlede effekt.
- Der er tilsluttet en tidligere vindmøllepark (Vindmølleparknavn) til 60 kV-skinne på hovedstation DEF, som var relevant for transmissionsnettet.
- Der skal lægges 12,7 km højspændingskabel til at forbinde installationen til hovedstation DEF.

Bilag 2: N-1 og N-2

Figur 5 viser et eksempel på en 60 kV-station, hvor der skal tilsluttes en forbrugsenhed, der er relevant for transmissionsnettet. Der skal derfor laves frekvenssweep for normaldrift med og uden eksisterende produktion. Normaldriften er systemet uden udkoblede linjer. Derudover skal der foretages frekvenssweep for N-1 på alle linjer tilsluttet stationen. Den eksisterende generationsenhed udkobles under N-1.

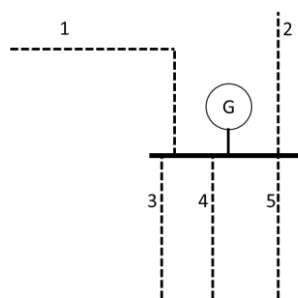
Anlægget, der skal modtage impedanserne, skal ikke være indkoblet i nogen af driftskonfigurationerne.

Følgende trin skal følges for dette net:

1. Første frekvenssweep eksekveres for normal drift
2. Den eksisterende generationsenhed udkobles
3. Andet frekvenssweep eksekveres for stationen
4. Linje 1 udkobles
5. Tredje frekvenssweep eksekveres for stationen
6. Linje 1 kobles ind igen
7. Linje 2 udkobles
8. Fjerde frekvenssweep eksekveres for stationen
9. Linje 2 kobles ind igen
10. Linje 3 udkobles
11. Femte frekvenssweep eksekveres for stationen
12. Linje 3 kobles ind igen
13. Linje 4 udkobles
14. Sjette frekvenssweep eksekveres for stationen
15. Linje 4 kobles ind igen
16. Linje 5 kobles ud
17. Syvende frekvenssweep eksekveres for stationen

Når trin 17 er udført, foreligger alle nødvendige resultater.

Hvis anlægsejer har brug for $R-X$ -polygon til design af eksempelvis et filter, skal der foretages N-2. For N-2 vil produktionsenheden stadig være udkoblet, og linjerne 1-5 kobles ud to ad gangen. Eksempelvis kobles linje 1 og 5 ud, derefter kobles 1 og 4 ud osv.

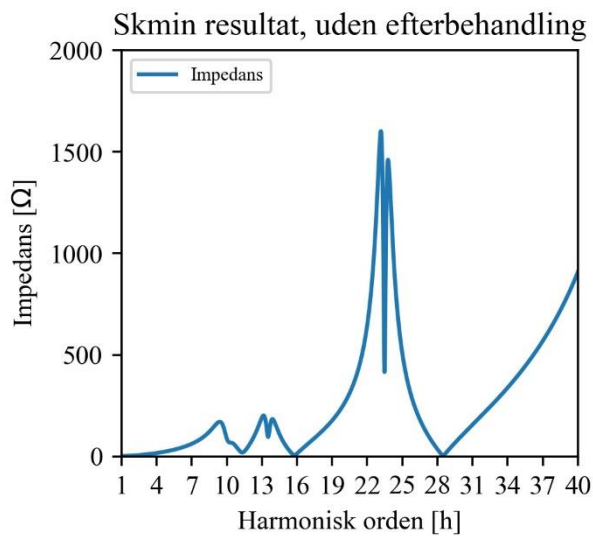


Figur 5 - N-1 eksempel.

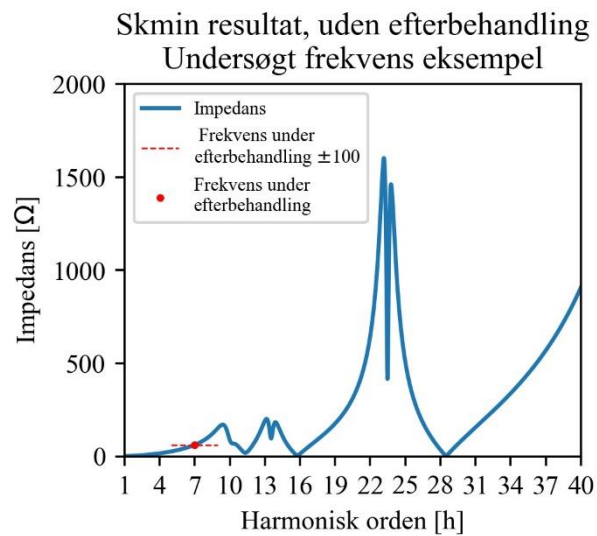
Bilag 3: Grafisk eksempel på efterbehandling af impedansresultat

Figur 6 viser, hvordan efterbehandlingen kan foretages.

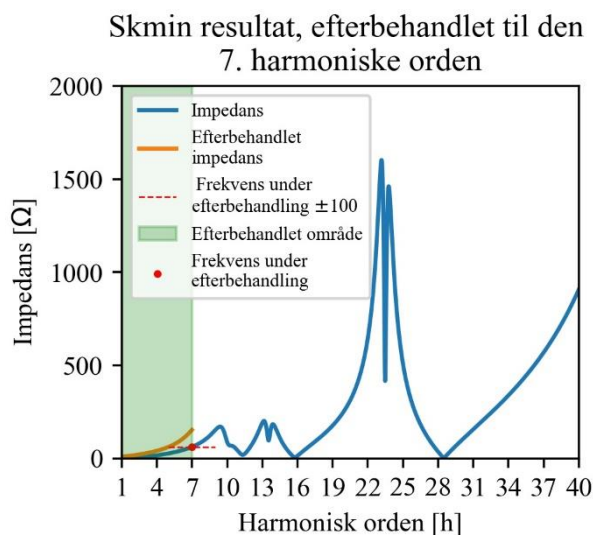
- (a) viser den maksimale impedans på tværs af alle resultater fra frekvenssweepene.
- (b) viser frekvensintervallet, der kigges på, når den undersøgte frekvens f_{obs} er 350 Hz.
- (c) viser efterbehandlingen foretaget fra den 1. harmoniske orden til den 7. harmoniske orden.
- (d) viser efterbehandlingen foretaget fra den 1. harmoniske orden til den 20. harmoniske orden.
- (e) viser efterbehandlingen foretaget fra den 1. harmoniske orden til den 26. harmoniske orden.
- (f) viser den fulde efterbehandling af impedansresultatet.



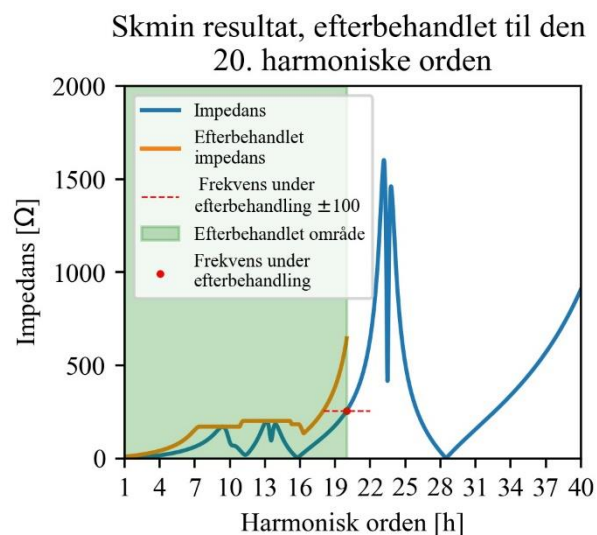
(a)



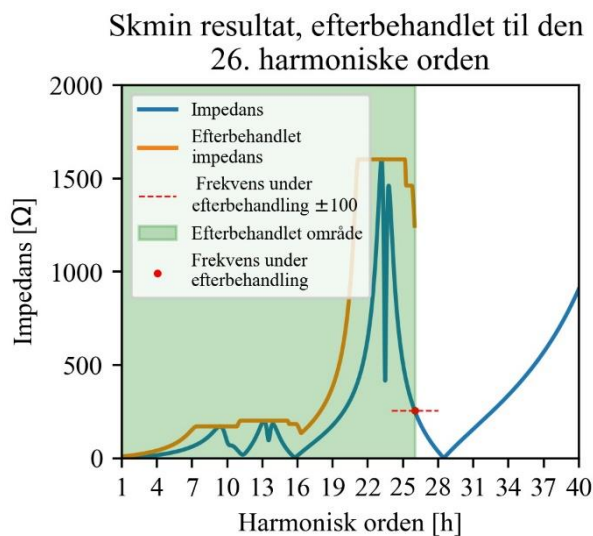
(b)



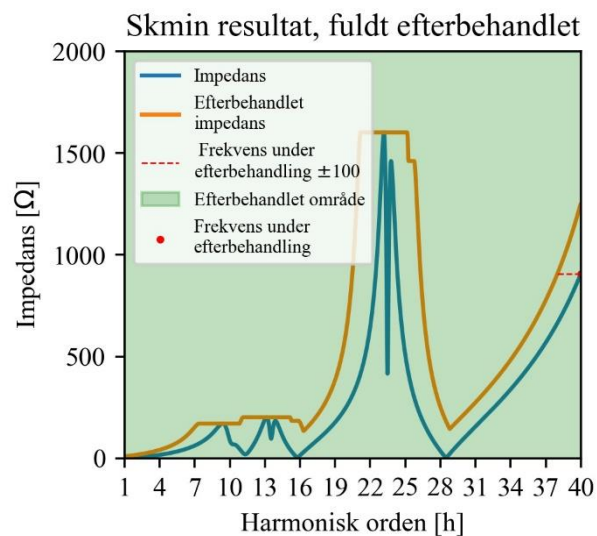
(c)



(d)



(e)



(f)

Figur 6 - Eksempel på efterbehandling af impedansresultater.

Bilag 4: Eksempel på efterbehandling

Et eksempel på det flydende maksimum ses nedenfor. For simplificeringens skyld undersøges en række af 10 impedanser, hvor det flydende maksimum tages for ± 2 Hz.

$$Z = [1,3,5,6,2,4,4,1,2,1,5]$$

Først undersøges den første impedans $Z(f_{obs}) = 1$.

$$Z = [\underbrace{1, 3, 5, 6, 2, 4, 4, 1, 2, 1, 5}_{5}]$$

Den største værdi, der findes i intervallet, er 5, og den undersøgte impedans $Z(f_{obs})$ sættes lig med 5.

$$Z_{flyd-maks}(1) = 5$$

Næste impedansværdi undersøges $Z(f_{obs}) = 3$.

$$Z = [1, \underbrace{3, 5, 6, 2, 4, 4, 1, 2, 1, 5}_{6}]$$

Næste impedansværdi i $Z_{flyd-maks}$ sættes lig 6.

Fortsættes det hele rækken igennem, fås følgende efterbehandlede impedans værdier:

$$Z_{flyd-maks} = [5,6,6,6,6,6,4,4,5,5,5]$$