

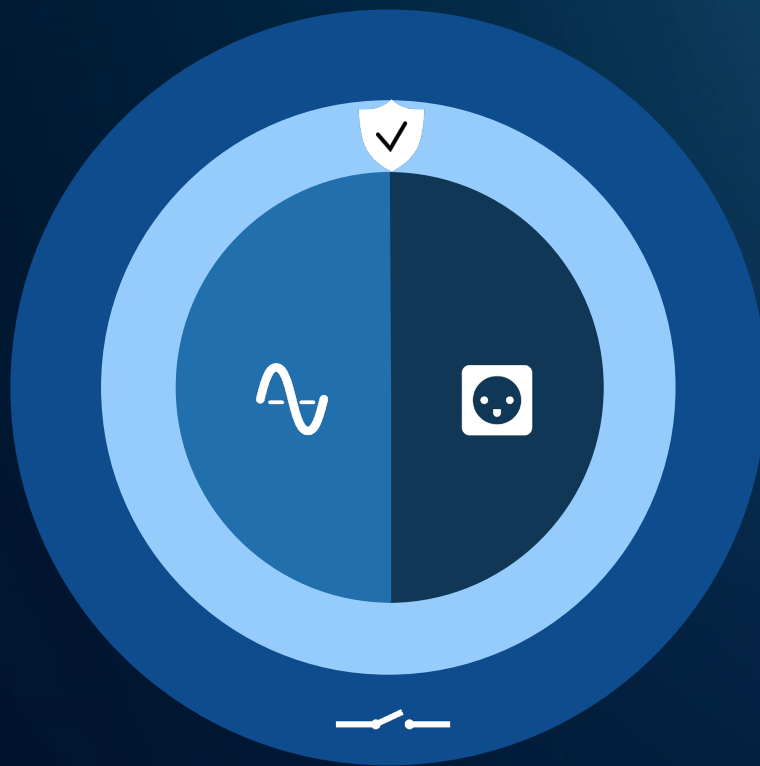
DS Elektrodag

-fremtidssikret elnet

2. marts 2026



Fremtiden starter med standarder



15.00 Elkvalitetsanalyse og nødstrømsdesign - Datagrundlag og løsninger til et ustabil elnet

v/ Kim Lund Sørensen,

CEO & Lead Power Quality Specialist,
Eluminate, medlem af S-508 og

Henrik Grønning,

Kursusleder & Rådgiver, Elsikkerhed



Elkvalitetsanalyse og nødstrømsdesign

Kim Lund Sørensen

CEO & Lead Power Quality Engineer

Smedeholm 13C

2730 Herlev

+45 91 89 03 05

kimls@eluminate.dk





Beredskab stopper ikke ved ejergrænsen

Lov nr 258 og BEK nr 260 stiller krav om modstandsdygtighed.

Forsyningssikkerhed leveres af nettet.

Driftssikkerhed leveres af installationen.

Robust infrastruktur kræver begge dele.



“Beredskab handler om forberedelse”

-Energinet



Driftssikkerhed som cybersecurity

- Vi accepterer ikke én firewall som total cyberbeskyttelse.
- Stol ikke på én løsning som jeres eneste beredskab

Robusthed kræver lag

- Stærkt net
- Stabil installation
- Korrekt dimensioneret nødstrøm
- Kontinuerlig overvågning

Forsyningssikkerhed i Danmark

- 99,995 % opetid
- 27 minutters afbrud pr år
- Spændingsdyk forekommer ofte



Blackout



Afbrydelse



The machine's down again!

We just fixed this!

Yeah, it does that sometimes.

Spændingsdyk





Hvad stopper jeres drift?

- PLC reset
- Kontaktor drop
- VFD trip
- Generator overgang
- Spontane trip af afbryder



Stationær PQ-måling som beredskabsværktøj

- IEC 61000-4-30 Class A måling muliggør:
- Hændelseslog
- Dybde og varighed
- Langsigtet trend
- Stop vs. dip-correlation
- Frekvensanalyse



Når vi lukker problemet inde med nødstrømsanlæg

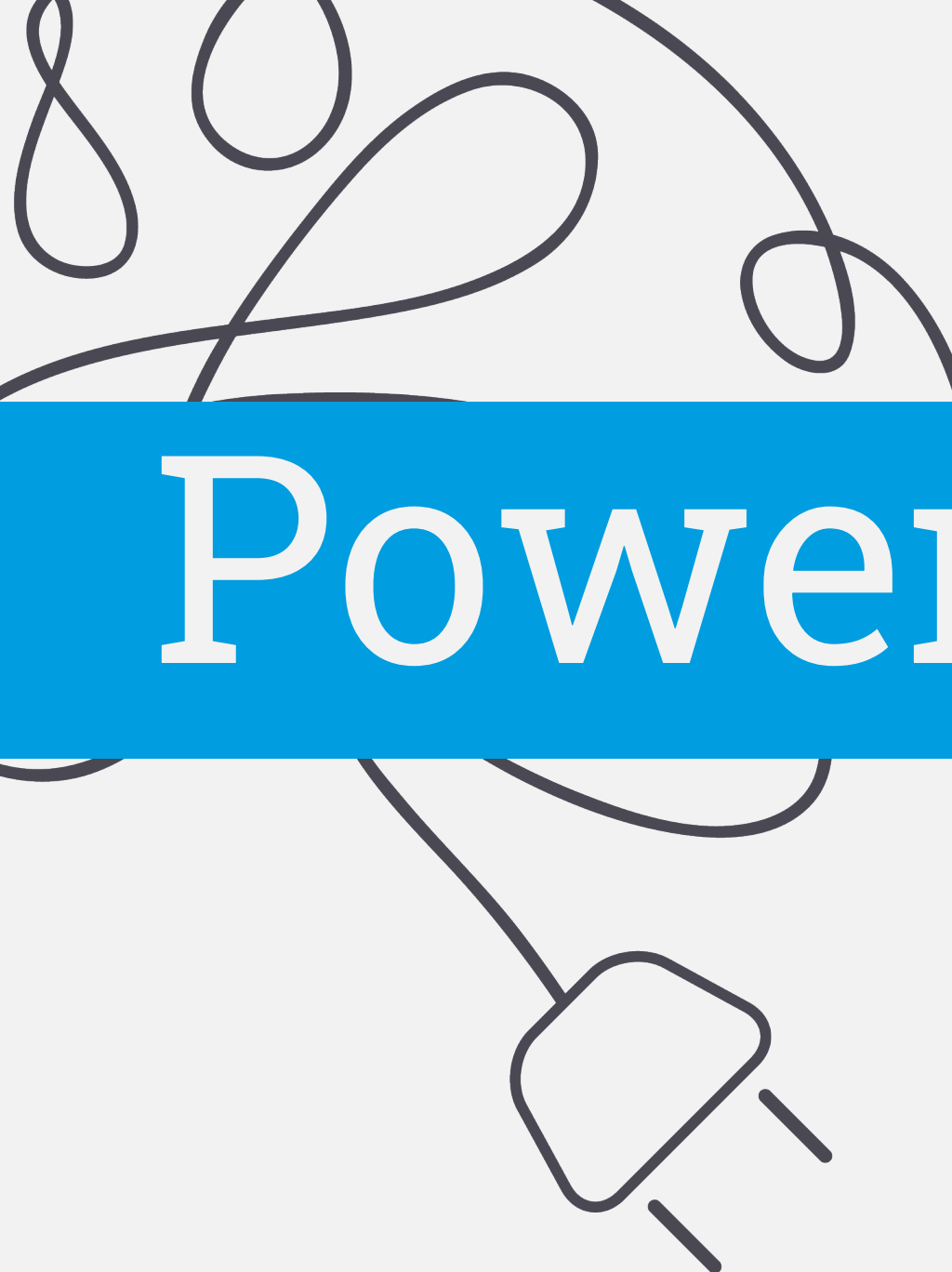
Nødstrømsanlæg ændrer netkarakteristikken.

- Lavere kortslutningseffekt
- Blødere net
- Større spændingsvariation ved lastændring
- Øget harmonisk påvirkning

Robusthed skal designes

- Inddrag PQ-kompetence fra starten
- Mål før dimensionering
- Vurder kortslutningsniveau
- Planlæg lagdelt robusthed
- Overvåg kontinuerligt

Beredskab reducerer sandsynlighed – ikke kun konsekvens.



Power quality

KURSUSLEDER



Henrik Busk Grønning

- Elektriker
- El-installatør
- Kursusleder og rådgiver for ELSikkerhed.dk
- Senior specialist i statiske UPS anlæg

KURSER



L-AUS Kursus

Hold din viden om L-AUS ajour – hvert år. Vi lover det ikke bliver kedeligt!



Arbejd sikkert med El

Skræddersyet kursus i elsikkerhed for medarbejdere uden elfaglig baggrund.



HD 60364 – Opfølgningskursus

Byg videre på jeres viden om HD 60364 med



Førstehjælp

Vær klar, hvis uheldet skulle være ude med et grundigt kursus i førstehjælp.



Dimensionering i Boliger

Få de bedste kort på hånden med vores nye dimensioneringsredskab.



Spændingskvalitet

Undgå udfordringer med harmoniske strømme med dette kursus i spændingskvalitet



Grundlæggende Elsikkerhed (EN50110)

Et grundkursus i sikkerhed ved arbejde på elektriske installationer og anlæg.



Verifikation

Bliv bedste venner med din installationstester.



L-AUS i industrien

Få styr på sikkerheden, når I arbejder på elektriske installationer i industrien



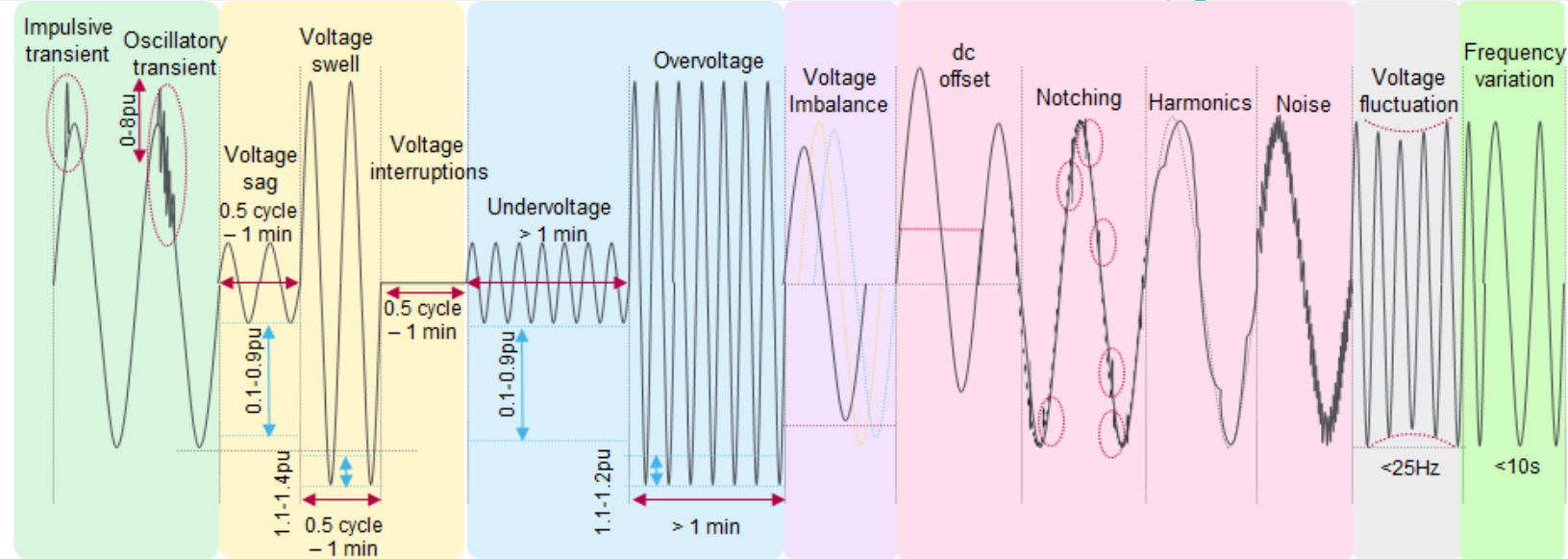
Ladestandere –

Få overblik over gældende krav for installation og dimensionering af ladestandere.

AGENDA

- Hvad er dårlig spændingskvalitet?
- Grundlag for dimensionering af UPS
- Grundlag for dimensionering af Generatorer

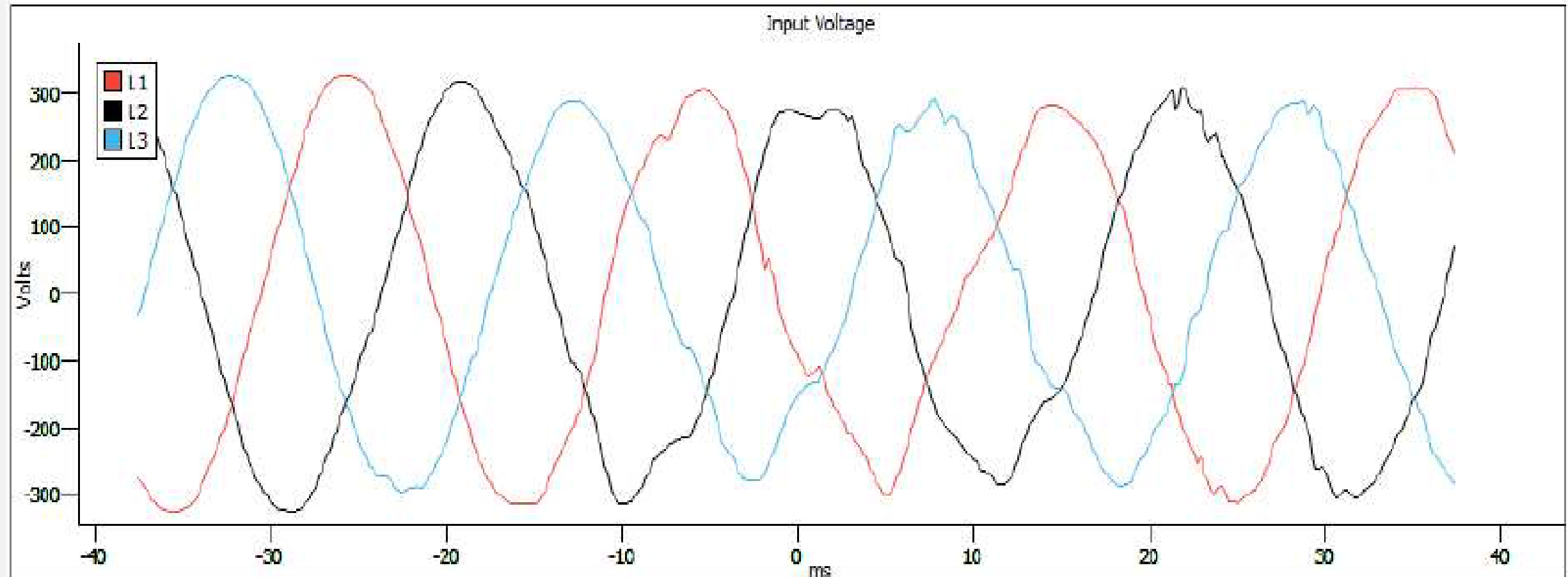
Hvad er dårlig spændingskvalitet?



Udtrykket spændingskvalitet refererer til et sæt grænser b.la EN50160, der gør det muligt for elektriske systemer at fungere på deres tilsigtede måde.

Spændingskvalitet bruges til at beskrive elektrisk spænding, der driver en elektrisk enhed, og enhedens evne til at fungere korrekt under disse forhold.

EKSEMPEL FRA DEN VIRKELIGE VERDEN



VIRKNING AF FORVRÆNGET SPÆNDING

DS/EN 61000-2-4

Table 5 – Compatibility levels for total harmonic distortion

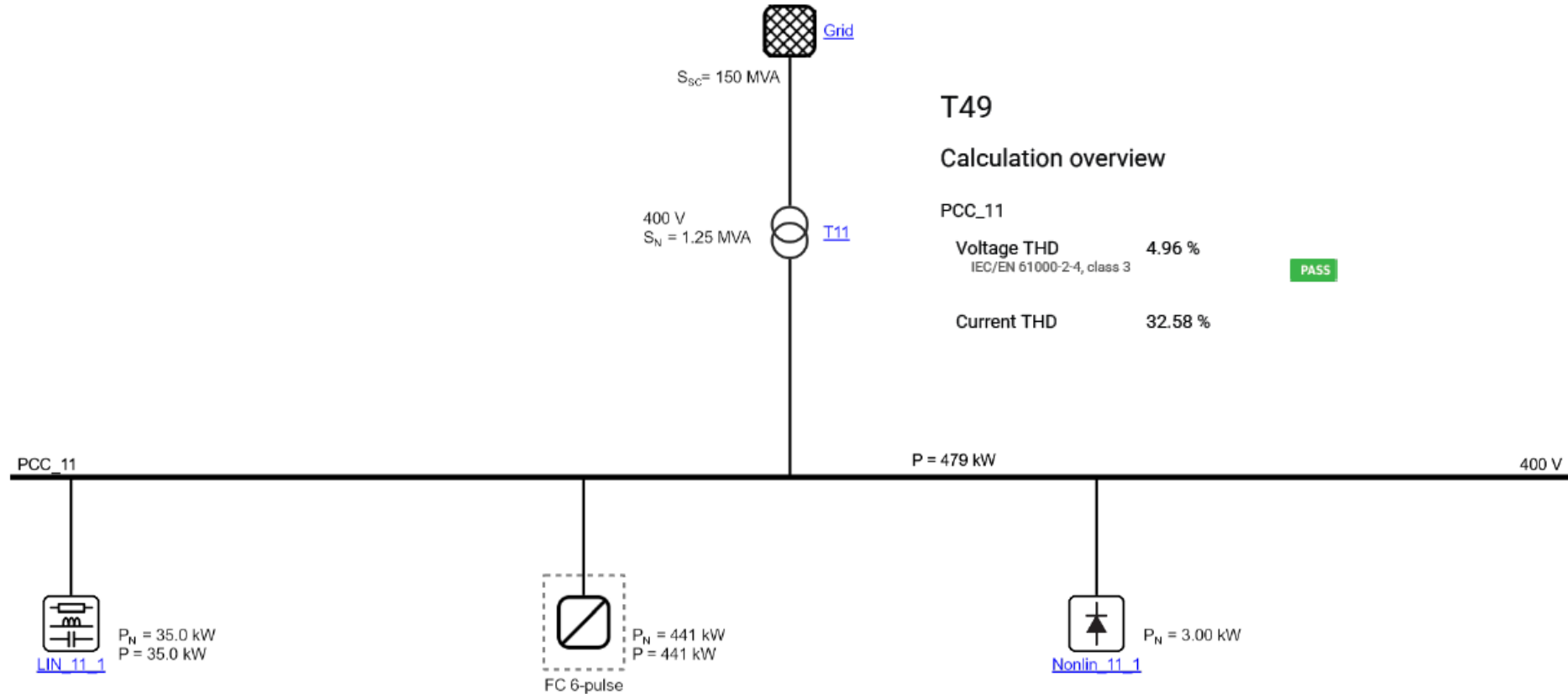
	Class 1	Class 2	Class 3
Total harmonic distortion (THD)	5 %	8 %	10 %
NOTE In some cases where part of an industrial network is dedicated to large non-linear loads, the class 3 compatibility levels for that part of the network may be 1,2 times the above values. In such cases precautions should be taken regarding immunity of equipment connected. However, at the PCC (public network) the compatibility levels from IEC 61000-2-2 and IEC 61000-2-12 take precedence.			

VIRKNING AF FORVRÆNGET SPÆNDING

Key	Value	IEC/EN 61000-2-4, class 3	PASS
3	0.04	6.00	
5	3.14	8.00	
7	2.01	7.00	
9	0.05	2.50	
11	1.94	5.00	
13	1.19	4.50	
15	0.04	2.00	
17	1.33	4.00	
19	0.97	3.53	
21	0.07	3.14	
23	0.84	2.83	
25	0.84	2.56	
27	0.07	2.33	
29	0.59	2.14	
31	0.52	1.97	
33	0.12	1.82	
35	0.28	1.69	
37	0.44	1.57	
39	0.07	1.46	
41	0.38	1.37	
43	0.30	1.28	
45	0.04	1.20	
47	0.37	1.13	
49	0.31	1.06	
THD	4.96	10.00	

$U_{rms} = 228.64$ THD_u = 4.96 % ($U_{1ms} = 228.34$ V)

voltage (0-300 mV)



T49

Calculation overview

PCC_11

Voltage THD
IEC/EN 61000-2-4, class 3

4.96 %

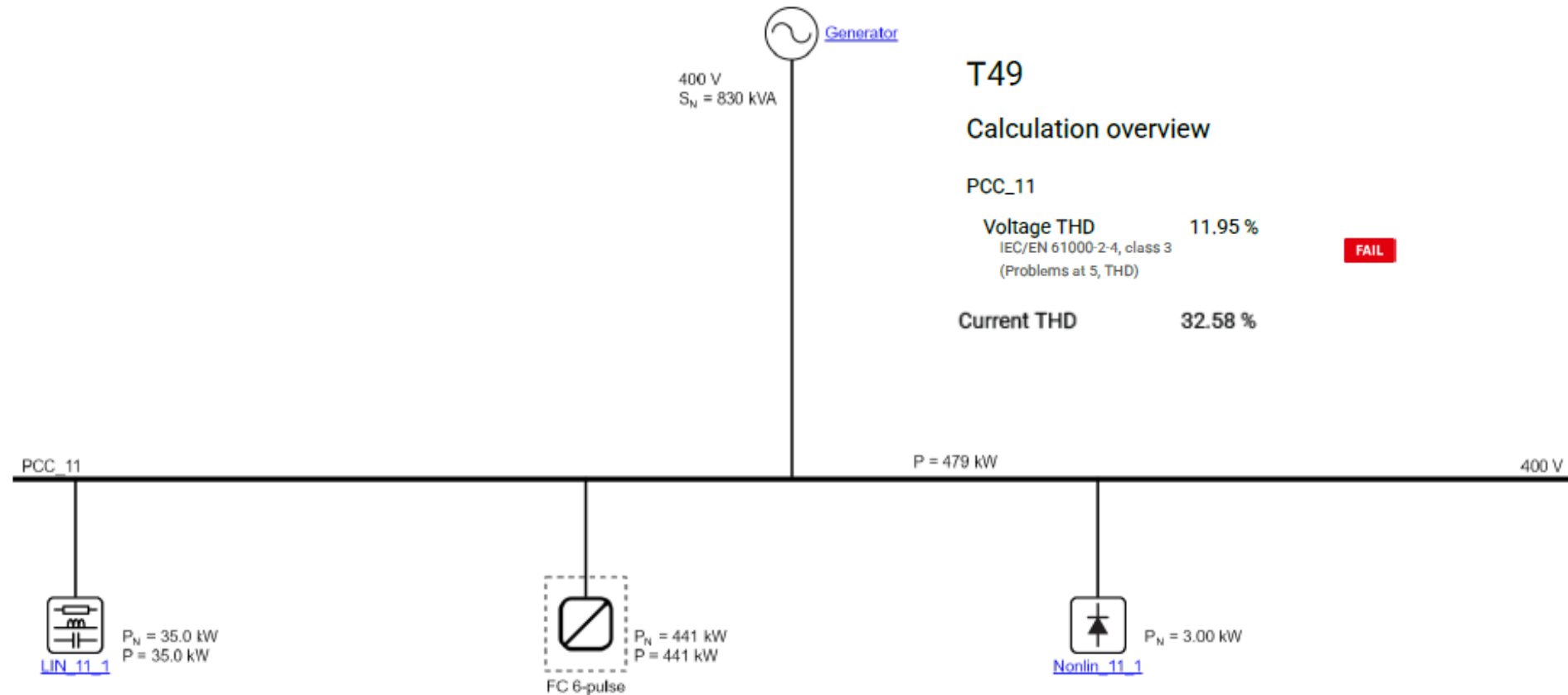
PASS

Current THD

32.58 %

VIRKNING AF FORVRÆNGET SPÆNDING

Key	Value	IEC/EN 61000-2-4, class 3	FAIL
3	0.00	6.00	
5	9.32	8.00	
7	3.94	7.00	
9	0.00	2.50	
11	3.73	5.00	
13	3.12	4.50	
15	0.00	2.00	
17	1.72	4.00	
19	1.81	3.53	
21	0.00	3.14	
23	1.53	2.83	
25	1.06	2.56	
27	0.00	2.33	
29	1.13	2.14	
31	1.26	1.97	
33	0.00	1.82	
35	1.05	1.69	
37	0.98	1.57	
39	0.00	1.46	
41	0.82	1.37	
43	0.72	1.28	
45	0.00	1.20	
47	0.67	1.13	
49	0.69	1.06	
THD	11.95	10.00	



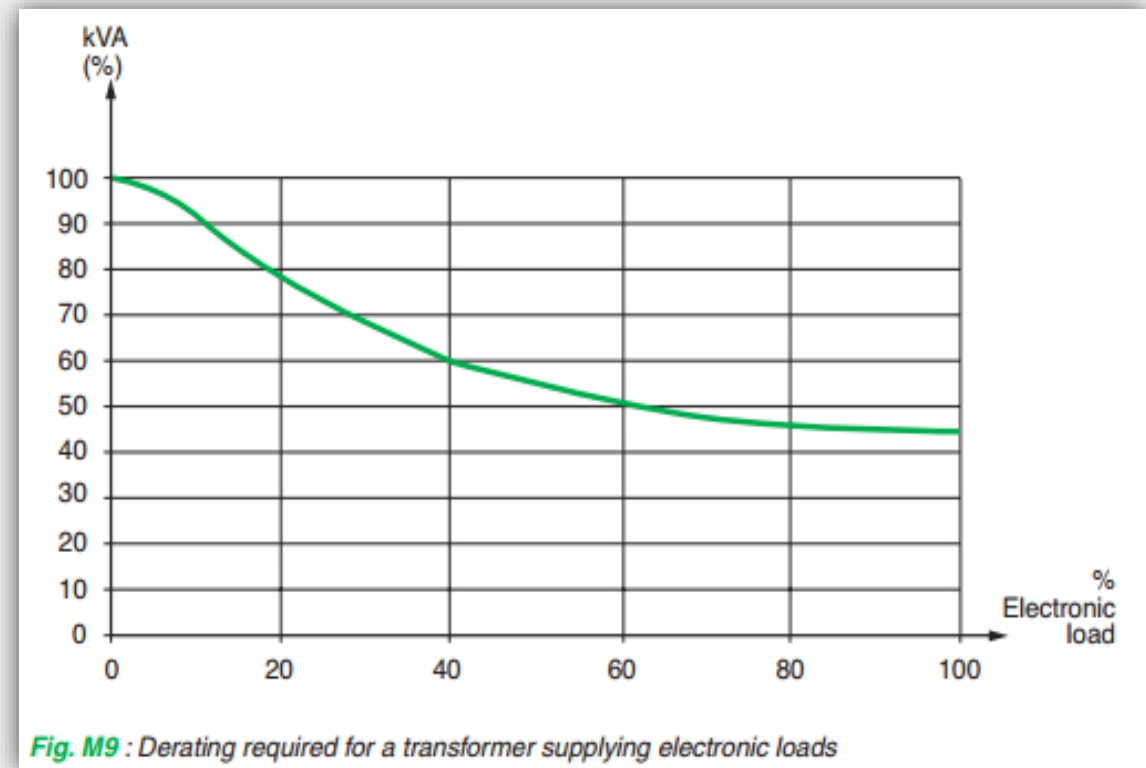
$$U_{rms} = 232.25 \text{ V} \quad THD_u = 11.95 \% \quad (U_{1rms} = 230.56 \text{ V})$$

VIRKNING AF HARMONISKE STRØMME

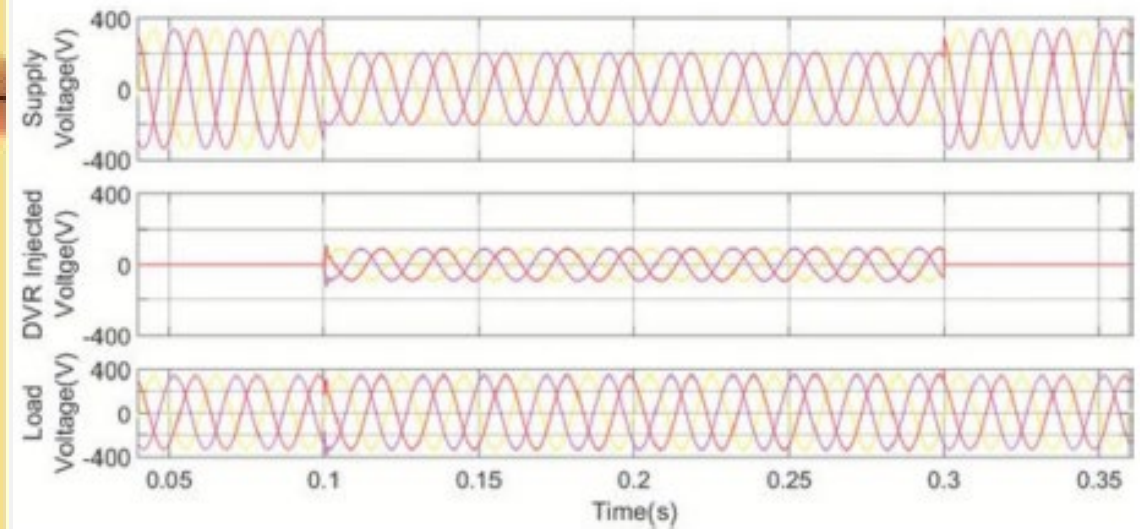
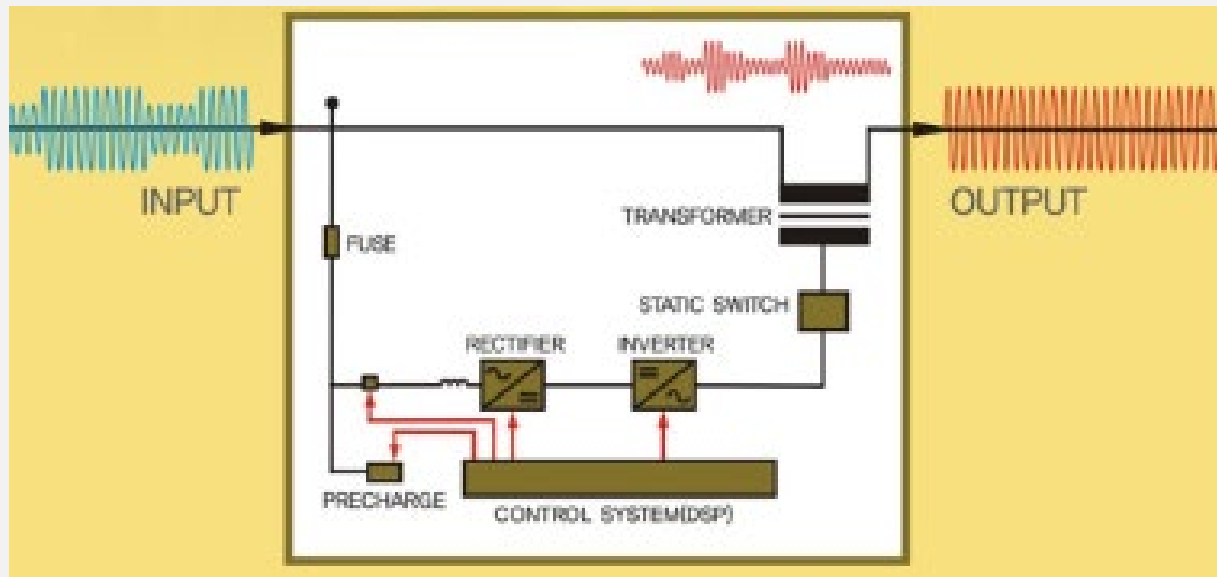
Derating af forsyning:

- Transformers K-Faktor
- Generatorer
(30% THDi = x 2,5 effekt)
- Ellers må max 25% være elektronisk belastning

→ betyder, at de skal overdimensioneres



DYNAMISKE SPÆNDINGS REGULERING



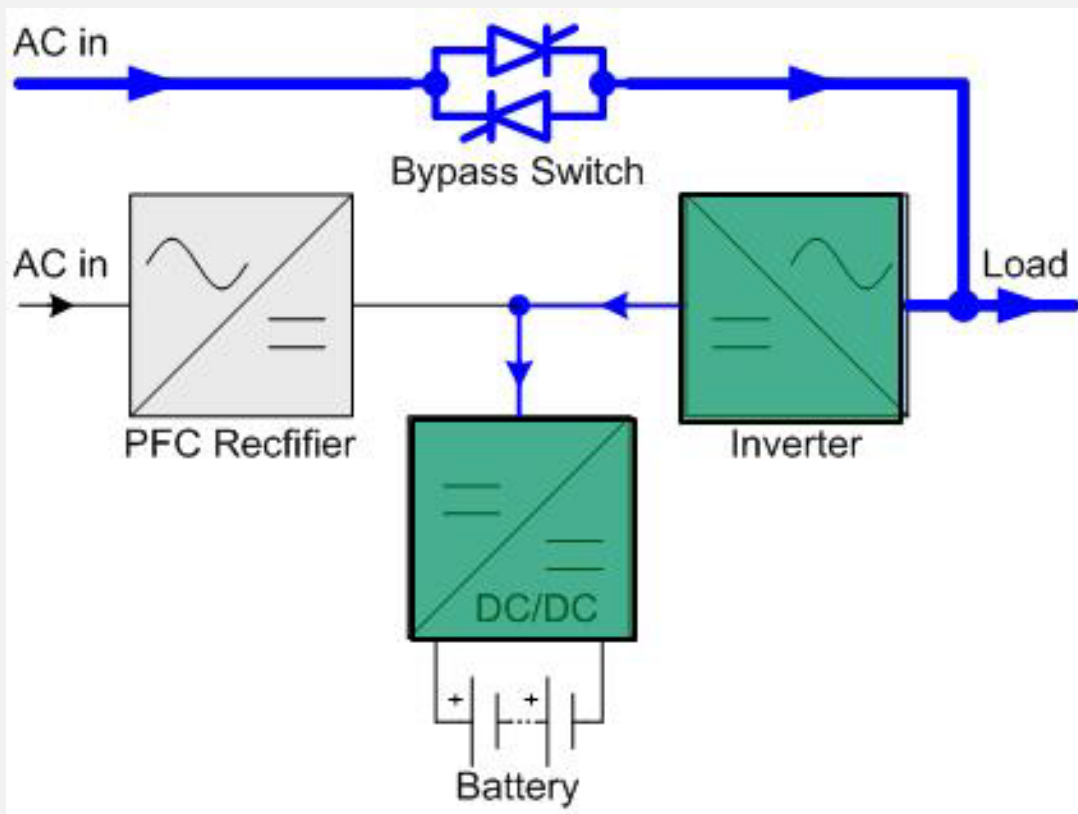
- ✓ Billigere end UPS
- ✓ Regulerer området +20 – 30%
- ✓ Responstid <3ms
- ✓ Effektivitet >98%
- ✓ Statisk regulering $\pm 1\%$

UPS – DRIFTSFORMER STATISKE UPS

- Eco-mode / Bypass
- On-line
- Hybrid løsninger

Nye hybrid løsninger : Det bedste af dobbelt conversion og ECOmode

99% effektivitet



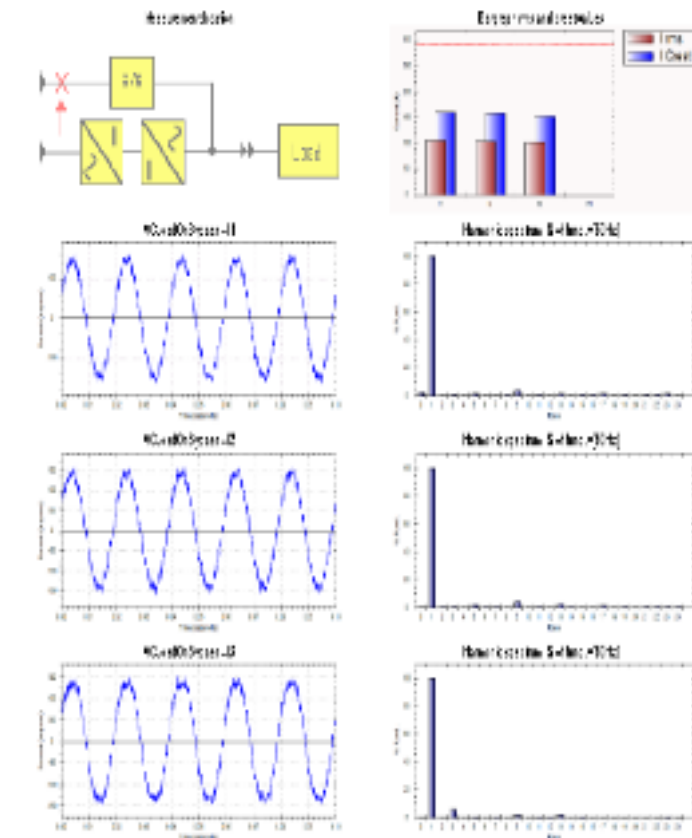
- Højeste virkningsgrad: op til 99%
- Inverter er altid on, hvilket sikrer :
 - Harmonisk og powerfaktor
 - Kompensation (aktivt filter)
 - Batterilader sørger for batteriet altid er korrekt opladet efter
 - Fabrikantens anbefalinger
 - Ingen omkoblingstid :
 - Class 1 output voltage

DIN EGEN BELASTNING ØDELÆGGER STRØMKURVEN - THDI

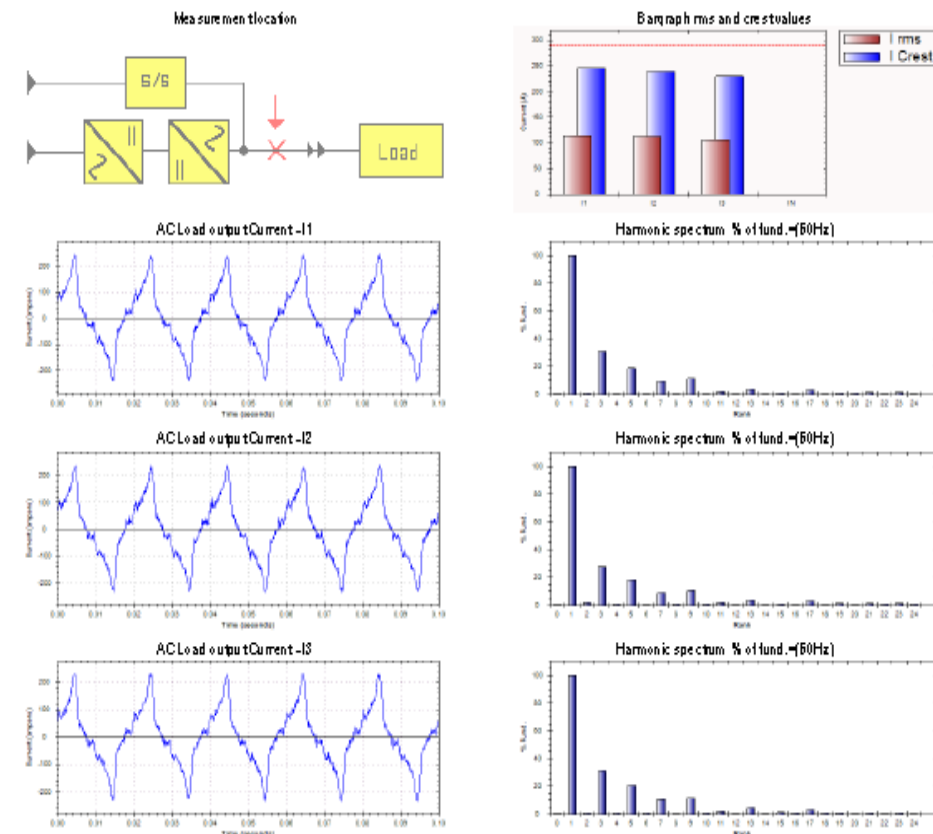
Spectrum analyse på indgangsstrøm <5%

Spectrum analyse på belastningsstrøm ca. 35%

Waveforms and harmonic spectrum

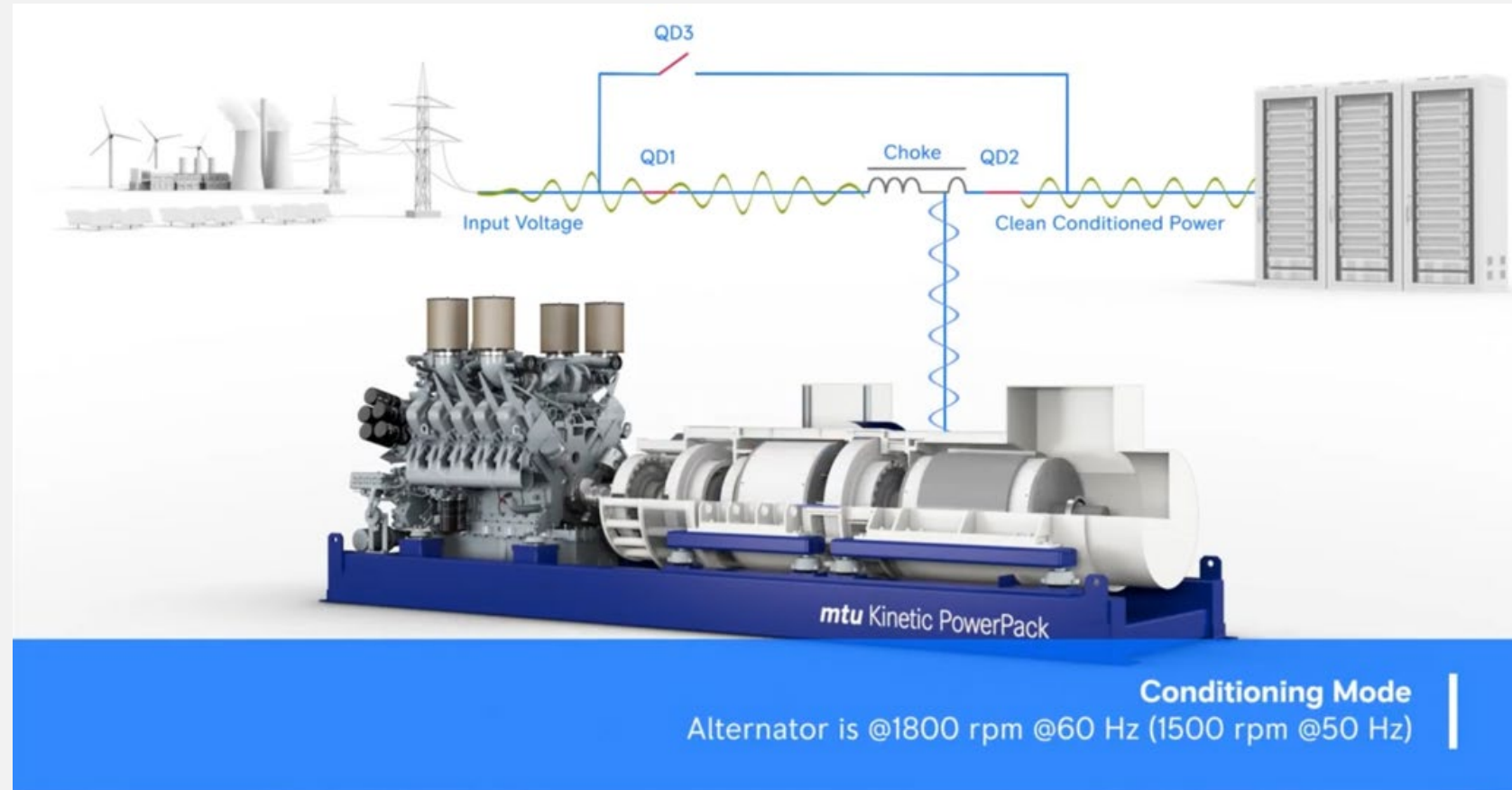


Waveforms and harmonic spectrum



DRUPS-ANLÆG TIL KONTINUERLIG DRIFT

- Diesel roterende UPS med kinetisk flywheel
- Altid on-line, hvilket sikrer:
- Harmonisk og powerfaktor kompensation fra belastningen (aktivt filter)
- Spændings regulering

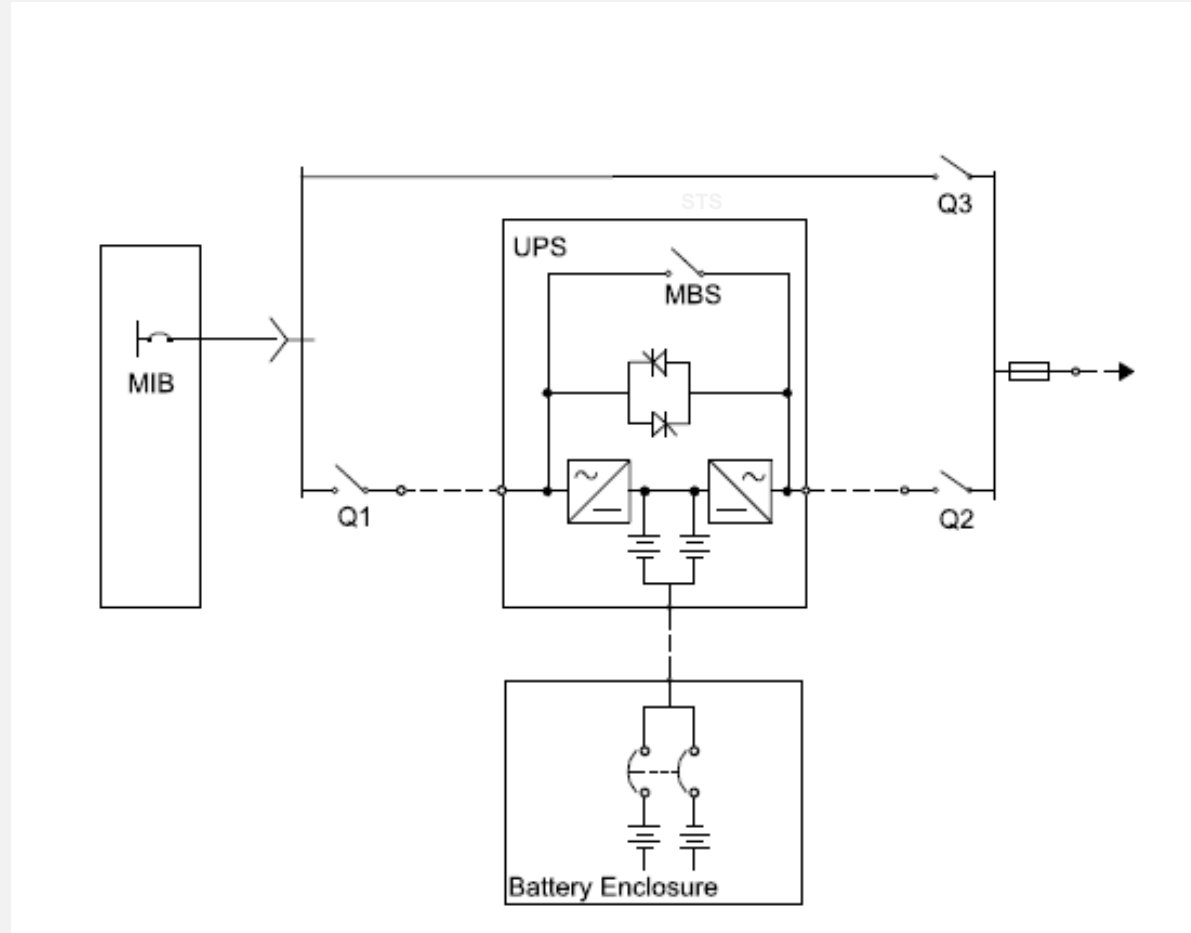


PAS PÅ MED SELEKTIVITET

Af drifts hensyn bør du sikre selektivitet i din installation som minimum i normal drift. Fejl samtidig med netsvigt er ikke særlig sandsynlig, men konsekvenserne kan være store

Dette kan være vanskelig at opnå selektivitet med mindre anlæg <30kVA

Når du monterer ny eller udskifter din eks UPS, så vær opmærksom på at dine sikringsstørrelser ofte ændrer sig og dermed din selektivitet



DIMENSIONERING AF UPS

Hvilke oplysninger skal du søge ?

- Belastningens sammensætning – Volt - Amp –kW-kVA- P.F
 - f.eks $\sqrt{3} \times 400V \times 113A = 80000VA \times 0,8 = 62500W$
 - UPS skal kunne levere 80000VA og 62500W
- Backuptid ? Batteriet dimensioneres kun efter kW
- Beregning eller gerne måling af harmoniske strømme samt indkoblings strømme (belastnings profil med målinger)
- Mulighed for opgradering af effekt, skalerbar / redundans ?
- UPS i batteridrift – selektivitet
- UPS i statisk bypass –selektivitet (måske større UPS)
- Brug tid på at selektere den kritiske belastning (hvad er vigtigst for dig)

DIMENSIONERING AF GENERATOR

- Belastningens sammensætning –Volt - Amp –kW-kVA- P.F
 - f.eks $\sqrt{3} \times 400V \times 113A = 80000VA \times pf\ 1 = 80000\ W$
 - generator skal kunne levere 80000VA og 80000W
 - ofte er generatorer udlagt for $\cos\ pfi\ 0,8$ hvilket medfører en 100kVA generator i dette tilfælde
- Backuptid ? Antal af liter dieselolie (husk offroad eller syntetisk diesel)
Dagtank eller ekstra tank med pumpe.
- Mulighed for redundans for opetid eller service ?
- Beregning eller gerne måling af harmoniske strømme samt indkoblings strømme (belastnings profil med målinger)
- Sekventiel start af dine motorer (reducerer generator størrelsen)
- Selektivitets beregninger (måske større generator)
- Brug tid på at selektare den kritiske belastning (hvad er vigtigst)

SYSTEMYDELSER

-  Full activation Hour (FAT)
-  Requirement for minimum delivery period
-  Minimum aggregated bid size
-  Average price (2019-2020)

Ancillary Services is a common term for the different type of reserves that Energinet procures to enable secure and stable operation of the electricity grid

DK1



FCR



15-30 sek.



15 min.



1 MW



50-70.000
kr./MW/mdr.
(capacity)



aFFR



15 min.
(5 min.
≈2024)



60 min.



1 MW



200-250.000
kr./MW/mdr.
(capacity)



Min. day-
ahead price +
100 kr./MWh
(energy)



mFFR



15 min.



60 min.
(15 min.
≈2024)



5 MW
(1 MW
≈ 2024)



Ca. 3-5.000
kr./MW/mdr.
(capacity)



Op: 600
Ned: 50
kr./MWh
(energy)

DK2



1 sek.



10 sek.



0,3 MW



På de næste
slides!



FFR



50% 5 sek.
100% 30 sek.



15 min.



0,3 MW



100-150.000
kr./MW/mdr.
(capacity)



FCR-D



150 sek.



60 min.



0,3 MW



100-150.000
kr./MW/mdr.
(capacity)



FCR-N



5 min.



60 min.



1 MW



NA



NA



aFFR



15 min.



60 min.
(15 min.
≈ 2024)



5 MW
(1 MW
≈ 2024)



30-50.000
kr./MW/mdr.
(capacity)



Op: 1000
Ned: 200
kr./MWh
(energy)



mFFR

Henrik Grønning
Tlf +4529882699
hg@elsikkerhed.dk

Husk at connecte på LinkedIn

TAK FOR I DAG!



DANSK STANDARD