



Vejledning til beregning af elkvalitetsparametre i TF 3.2.2

0		27.11.2014	27.11.2014	27.11.2014	27.11.2014	DATE
		KDJ	XLOC	BJA	TSK	NAME
REV.	DESCRIPTION	PREPARED	CHECKED	REVIEWED	APPROVED	
		14/17997-16				

Revisionsoversigt

Afsnit nr.	Tekst	Revision	Dato
	Nyt dokument – anmeldt til Energitilsynet	0	27.11.2014

Indholdsfortegnelse

Revisionsoversigt	2
Indholdsfortegnelse	3
Læsevejledning	4
1. Eksempel – flicker ved kontinuert drift	5
2. Eksempel – harmoniske strømme	6
3. Eksempler på beregning af grænseværdier	7
3.1 Beregning af grænseværdier for flicker	7
3.2 Eksempel på beregning af Flickergrænseværdi	7
3.3 Beregning af grænseværdier for harmoniske forstyrrelser	7
3.4 Eksempel på beregning af grænseværdi for mellemspændingsnettet	9
3.5 Beregning af grænseværdier for interharmoniske forstyrrelser ...	9
3.6 Beregning af grænseværdier for forstyrrelser over 2 kHz	10
4. Tilnærmet model for netimpedansens frekvensafhængighed	11

Læsevejledning

Denne vejledning er udviklet som en hjælp til at beregne de elkvalitetsparametre, der kræves for at kunne dokumentere overholdelse af kravene i TF 3.2.2 til elkvalitet.

Dokumentet indeholder eksempler på beregning af de elkvalitetsparametre, der er relevante for solcelleanlæg.

Reference til anvendte standarder er angivet i TF 3.2.2.

Anvendte forkortelser er ligeledes angivet i TF 3.2.2.

1. Eksempel – flicker ved kontinuert drift

Et 1 MW solcelleanlæg tilsluttes det kollektive elforsyningsnet på 10 kV-niveau.

Elforsyningsvirksomheden har beregnet en kortslutningseffekt på 50 MVA og en kortslutningsvinkel på 84° i nettilslutningspunktet.

Solcelleanlæggets flickerkoefficient er beregnet til 2 for de givne værdier af kortslutningsvinkel ψ_k .

Flickerbidraget kan herefter beregnes som:

$$P_{lt} = c(\psi_k) \cdot \frac{S_n}{S_k} = 2 \cdot \frac{1}{50} = 0,04$$

Da P_{st} kan antages at være lig med P_{lt} i kontinuert drift, og den beregnede værdi er under grænseværdierne, kan kravet vedrørende flicker ved kontinuert drift derfor anses for opfyldt.

2. Eksempel – harmoniske strømme

To vekselrettere på 15 kW pr. stk. med en mærkestrøm på 22A og 5. og 7. harmoniske på hhv. 0,31 % og 0,36 % samt to vekselrettere på 12,5 kW pr. stk. med en mærkestrøm på 19A og 5. og 7. harmonisk på hhv. 0,29 % og 0,33 %.

Først beregnes $I_{h,i}$ for alle de harmoniske strømme for hver enkelt enhed:

$$I_{h,i} = \frac{I_{h,i} / I_{n,i} [\%]}{100} \cdot I_{n,i}$$

$$I_{5,15k} = \frac{0,31}{100} \cdot 22A = 0,0682A ; I_{7,15k} = 0,0792A$$

$$I_{5,12,5k} = 0,0551A ; I_{7,12,5k} = 0,0627A$$

Derefter beregnes de harmoniske strømme for det samlede elproducerende anlæg efter den generelle summationslov og eksponenten $\alpha=1,4$:

$$I_5 = \sqrt[1,4]{0,0682^{1,4} + 0,0682^{1,4} + 0,0551^{1,4} + 0,0551^{1,4}} = 0,166A$$

$$I_7 = \sqrt[1,4]{0,0792^{1,4} + 0,0792^{1,4} + 0,0627^{1,4} + 0,0627^{1,4}} = 0,192A$$

Sidst beregnes de harmoniske strømme som % af mærkestrømmen:

$$I_n = 22 + 22 + 19 + 19 = 82A$$

$$I_h / I_n = \frac{I_h}{I_n} \cdot 100\%$$

$$I_5 / I_n = \frac{0,166}{82} \cdot 100 = 0,20\% ; I_7 / I_n = \frac{0,192}{82} \cdot 100 = 0,23\%$$

3. Eksempler på beregning af grænseværdier

3.1 Beregning af grænseværdier for flicker

For solcelleanlæg i kategori C og D beregnes grænseværdien som følgende.

Grænseværdien $P_{lt,i}$ for emissionen fra *solcelleanlægget*, i , fastsættes som:

$$P_{lt,i} = G_{lt} \cdot \sqrt[3]{\frac{S_i}{S_{prod,tot}}}$$

hvor:

- G_{lt} er det samlede tilladelige *flickerbidrag* fra fluktuerende produktionsanlæg tilsluttet på samme spændingsniveau under samme transformerstation. G_{lt} fremgår af tabellen nedenfor.
- S_i er effekten for *solcelleanlæg* nr. i .
- $S_{prod,tot}$ er den maksimale samtidige fluktuerende produktion, inkl. S_i , der forventes tilsluttet det *kollektive elforsyningsnet* på samme spændingsniveau og under samme transformerstation.

Spændingsniveau	G_{lt}
$U_n \leq 35 \text{ kV}$	0,50
$35 \text{ kV} < U_n \leq 150 \text{ kV}$	0,35
$U_n > 150 \text{ kV}$	0,20

Tabel 1 G_{lt} for anlægskategori C og D.

3.2 Eksempel på beregning af Flickergrænseværdi

Et solcelleanlæg på 2 MW (S_i) skal tilsluttes en 10 kV radial. I forvejen er der 0,5 MW produktion på den samme 10 kV radial, som anlægget skal tilsluttes på. Ud fra disse oplysninger kan grænseværdien beregnes ud fra planlægningsværdien i tabel 1 som følgende:

$$P_{lt,i} = 0,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{2 \text{ MW}}{2 \text{ MW} + 0,5 \text{ MW}}} = 0,464$$

3.3 Beregning af grænseværdier for harmoniske forstyrrelser

Til beregning af emissionsgrænser for harmoniske overtoner for anlæg i kategori C og D anvendes udtrykket:

$$E_{(h)} = \sqrt[\alpha]{L_{MV,h}^\alpha - T_{HV-MV} \cdot L_{HV,h}^\alpha} \cdot \sqrt{\frac{S_i}{S_{last} + S_{prod}}}$$

hvor:

E_h : Emissionsgrænse for harmonisk forstyrrelser fra anlægget

α : Eksponenten iht. nærværende tekniske forskrift

$L_{MV,h}$:	Planlægningsværdien for mellemspændingsniveauet for orden h
$L_{HV,h}$:	Planlægningsværdien for højspændingsniveauet for orden h
T_{HV-MV} :	Transmissionsfaktor fra høj- til mellemspændingsniveauet for orden h
S_i :	Tilsyneladende effekt for tilsluttet anlæg nr. i
S_{last} :	Tilsyneladende effekt for den totale belastning tilsluttet under transformeren, inkl. forventet ny belastning
S_{prod} :	Tilsyneladende effekt for den totale overtonegenererende produktion tilsluttet under transformeren, inkl. forventet ny produktion.

Baggrund for at indføre T_{HV-MV} er, at de harmoniske spændinger ikke overføres direkte mellem høj- og mellemspændingsnettet. T_{HV-MV} værdi sættes normalt til 1, men kan i tilfælde, hvor nettet er kendt, justeres op eller ned.

Ved ulige harmonisk orden (som ikke er et multiplum af 3) antages det, at alle tonerne går direkte fra mellem- og til højspændingsnettet. Dette kan variere alt efter, hvilken type transformere samt kombination af transformertyper og netnets kortslutningsimpedans i *netttilslutningspunktet*, der arbejdes med.

Et *solcelleanlægs* ulige harmoniske forstyrrelser, der er multiplum af 3, vil blive reduceret, hvis det tilsluttes et næsten symmetrisk belastet net. Derfor sættes T_{HV-MV} for ulige harmoniske overtoner (multiplum af 3) til 0,25.

Spændings-niveau	Ulige harmonisk orden h (ikke multiplum af 3)					Ulige harmonisk orden h (multiplum af 3)			
	5.	7.	11.	13.	$17. \leq h \leq 49.$	3.	9.	15.	$21. \leq h \leq 45.$
$U_n \leq 35 \text{ kV}$	5,0	4,0	3,0	2,5	$1,9 \cdot \frac{17}{h} - 0,2$ *)	4,0	1,2	0,3	0,2
$U_n > 35 \text{ kV}$	2,0	2,0	1,5	1,5	$1,2 \cdot \frac{17}{h}$ *)	2,0	1,0	0,3	0,2

*) Dog ikke mindre end 0,1 %.

Tabel 2 Planlægningsgrænser for harmonisk forstyrrelser U_h/U_n (%) for ulige harmoniske ordner h .

Spændings-niveau	Lige harmonisk orden h				
	2.	4.	6.	8.	$10. \leq h \leq 50.$
$U_n \leq 35 \text{ kV}$	1,8	1,0	0,5	0,5	$0,25 \cdot \frac{10}{h} + 0,22$
$U_n > 35 \text{ kV}$	1,4	0,8	0,4	0,4	$0,19 \cdot \frac{10}{h} + 0,16$

Tabel 3 Planlægningsgrænser for harmonisk overtoner U_h/U_n (%) for lige harmoniske ordner h .

Spændings-niveau	THD _U
$U_n \leq 35 \text{ kV}$	6,5
$U_n > 35 \text{ kV}$	3,0

Tabel 4 Grænseværdier for samlet harmonisk spændingsforvrængning THD_U (% af U_n) for lige harmoniske overtoner h .

For solcelleanlæg, der tilsluttes elektrisk set langt fra andre forbrugere, kan emissionsgrænserne efter accept fra *elforsyningsvirksomheden* dog modificeres til værdier højere end de normale emissionsgrænser.

3.4 Eksempel på beregning af grænseværdi for mellemspændingsnettet

Eksemplet viser beregning af 5. harmoniske ved tilslutning af et solcelleanlæg på 2 MW (S_i) på en 10 kV radial i distributionsnettet. Derudover er der yderligere en produktion (S_{prod}) på 0,5 MW og en belastning (S_{last}) på 0,5 MW. Ud fra disse informationer kan grænseværdien beregnes ud fra planlægningsværdierne angivet i tabel 2. Der tages udgangspunkt i den 5. harmoniske:

$$E_5 = \sqrt[1,4]{5^{1,4} - 1} \cdot 2^{1,4} \cdot \sqrt{\frac{2 \text{ MW}}{0,5 \text{ MW} + 2 \text{ MW} + 0,5 \text{ MW}}} = 2,96867$$

3.5 Beregning af grænseværdier for interharmoniske forstyrrelser

Planlægningsværdier for interharmoniske forstyrrelser fra anlæg i kategori C og D er angivet i nedenstående tabel.

Frekvens (Hz)	Maksimal interharmonisk spænding (%)
$f < 100 \text{ Hz}$	0,2 %
$100 \text{ Hz} < f < 2.000 \text{ Hz}$	0,5 %

Tabel 5 Planlægningsgrænser for interharmoniske forstyrrelser – kategori C og D.

3.6 Beregning af grænseværdier for forstyrrelser over 2 kHz

For forstyrrelser over 2 kHz kan, som planlægningsgrænse, anvendes 1 % for hver frekvensgruppe.

4. Tilnærmet model for netimpedansens frekvensafhængighed

For *solcelleanlæg* af kategori C og D er der krav til harmoniske forstyrrelser angivet i den tekniske forskrift som spændingsværdier.

Efterfølgende beregnes de harmoniske spændinger ved hjælp af følgende formel:

$$U_h = |Z_{net,h}| \cdot I_h,$$

hvor:

$Z_{net,h}$: netimpedansen ved den aktuelle harmoniske frekvens h .

NOTE: Denne beregning skal laves for alle relevante harmoniske overtoner og interharmoniske forstyrrelser over 2 kHz.

Med mindre andet oplyses af netvirksomheden, er netimpedansen:

$$|Z_{net,h}| = \sqrt{R_{50}^2 + (2\pi f \cdot L_{50})^2}, \text{ for } f = [50:1950] \text{ Hz}$$

$$|Z_{net,h}| = \sqrt{R_{50}^2 + (2\pi \cdot 2000 \cdot L_{50})^2}, \text{ for } f = [2000:9000] \text{ Hz}$$