

VEILEDER FOR UTFORDRENDE ELEKTRISKE APPARATER



Energi Norge AS – EnergiAkademiet

Besøksadresse:
Middelthuns gate 27

Postadresse:
Postboks 7184 Majorstuen,
0307 OSLO

Telefon: 23 08 89 00
Telefaks: 23 08 89 01

Epost: post@energinorge.no
Internett: www.energinorge.no

Publ.nr: 418-2017
ISBN-nr: 978-82-436-1037-8

© Energi Norge AS

Etter lov om opphavsrett til åndsverk
av 12. mai 1961 er det forbudt å
mangfoldiggjøre innholdet i denne
publikasjonen, helt eller delvis, uten
tillatelse av Energi Norge AS.

Forbudet gjelder enhver form for
mangfoldiggjøring ved trykking, kopiering,
stensilering, båndspill, elektronisk o.l.

Forord

Endringer i bruken av lavspenningsnettet medfører i økende grad utfordringer med å overholde offentlige krav til spenningskvalitet. Nettkunder tilknytter strømnettet nye typer elektrisk utstyr som i kraft av sine elektriske egenskaper kan forringe spenningskvaliteten i strømnettet avhengig av dette strømnettets tilknytningskapasitet for slikt utstyr. Slikt utstyr som kan forringe spenningskvaliteten i strømnettet betegnes som utfordrende elektriske apparater.

De fleste nettkundene i Norge er tilknyttet lavspenningsnettet som husholdninger, inkl. fritidsboliger. For å unngå at denne kundegruppen skal få unødvendige utfordringer ved anskaffelse av nytt elektrisk utstyr, er det i hovedsak tre aktører som, i kraft av at de har samme kunde, bør ha kunnskap om hvilke valgalternativer som er best for kunden. Nærmere selgere av utfordrende elektriske apparater, elektroinstallatører og nettselskap med lavspenningsnett med tilknyttede kundeinstallasjoner. Dette er en veileder som henvender seg spesielt mot elektroinstallatører og nettselskap.

Energi Norge AS har i samarbeid med en rekke partnere gjennomført et fire-årig forskningsprosjekt; "Spenningskvalitet i smarte nett" med kortnavnet SPESNETT. Denne veilederen er utarbeidet i dette prosjektet med det formål å bidra til økt bevissthet om utfordringen og rådgivning for valg av utstyr. Partnerne i prosjektet har bidratt med verdifulle innspill i utarbeidelsen av veilederen.

Følgende partnere har vært med i prosjektet SPESNETT:

Norges forskningsråd, Norges vassdrags- og energidirektorat, Agder Energi Nett AS, BKK Nett AS Eidsiva Nett AS, Hafslund Nett AS, Helgeland Kraft Nett AS, Istad Nett AS, Lyse Elnett AS, NTE Nett AS, Skagerak Nett AS, Statnett SF, TrønderEnergi Nett AS, REN AS, SINTEF Energi AS (utførende forskningsinstitutt).

På vegne av Energi Norge AS med partnere



Rådgiver Energi Norge AS
Konsortieleder for SPESNETT

Innhold

Innhold	1
Utfordringer i lavspenningsnettet	2
Utvikling i design og bruk av elektriske apparater	4
Hvilke utfordringer medfører utfordrende elektriske apparater?	5
NVEs vurdering av normalapparater	10
Definisjon av et utfordrende elektrisk apparat	11
Eksempler på utfordrende elektriske apparater	12
IT vs TN-nett	13
Nettstyrke og nettforsterkning	14
Kontrollere problemfri bruk av UEA	16
Kontrollere problemfri bruk av større enfaselaster	17
Kontrollere problemfri bruk av motorer	19
Kontrollere lav flimмерpåvirkning	23
Reaktiv håndtering – problemløsning	24
Kilder	27

Utfordringer i lavspenningsnettet

For at elektriske apparater skal fungere som tiltenkt er det nødvendig at spenningen hos kunden er anvendelig til formålet med tanke på størrelse, frekvens og kurveform. Dette er definert som spenningens kvalitet, og reguleres i Norge av Forskrift om leveringskvalitet (FoL). FoL stiller blant annet krav til:

- Spenningens effektivverdi målt som et 1-minutts gjennomsnitt ($230 / 400^1 \text{ V} \pm 10 \%$)
- Hvor stor spenningsusymmetri som tillates (mindre enn 2 % målt som 10 minutts gjennomsnitt)
- Antall tillatte spenningsprang per flytende 24-timersperiode (24)
- Hvor mye flimmer som tillates (Korttidsflimerverdi lavere enn 1,2²)
- Hvor stor harmonisk forvrengning som tillates (THD lavere enn 8 % målt som 10 minutts gjennomsnitt³)



Om kravene i FoL overholdes kommer an på både egenskapene ved apparatene og styrken på nettet. Hvor store spenningsforstyrrelser apparatene forårsaker avhenger av impedansen i nettet. Nett med

¹ For henholdsvis IT/TT og TN-nett.

² Samt langtidsflimerverdi lavere enn 1,0.

³ Men lavere enn 5 % som et ukegjennomsnitt. Også krav til individuelle harmoniske spenninger. THD = Total Harmonic Distortion.

lav impedans omtales ofte som sterke nett, har høy kortslutningsytelse / kortslutningsstrøm, og fører til små spenningskvalitetspåvirkninger fra apparater. Nett med høy impedans omtales motsatt som svake nett og har tilhørende lav kortslutningsytelse / kortslutningsstrøm. I disse nettene fører apparatene til mye støy, og det kan være at grenseverdiene i FoL blir vanskelige å overholde.

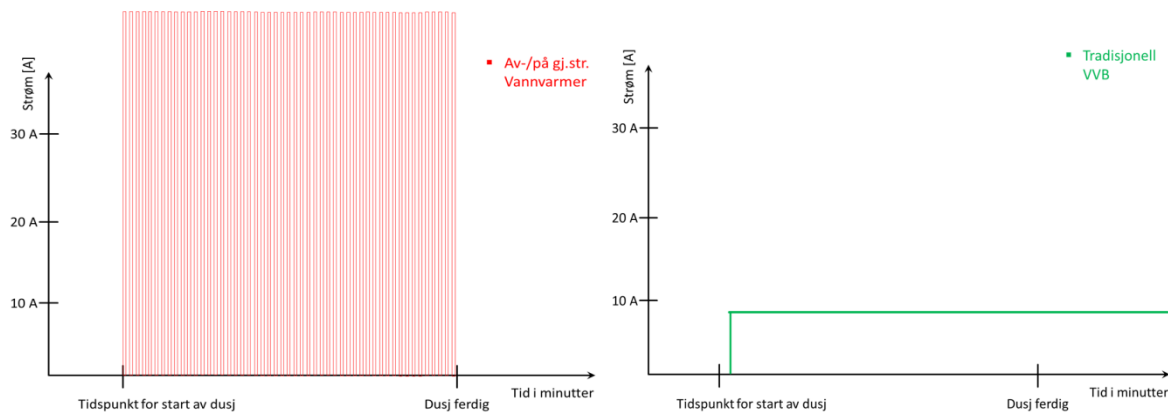
Alle apparater som selges i EU skal være testet mot en standardisert nettstyrke som skal representere et svakt nett, og det blir kontrollert at apparatene ikke skaper for mye forstyrrelser i spenningen. Flere steder i Norge er nettet svakere enn denne standardiserte nettstyrken, kalt referanseimpedansen. Dette kan gjøre at forstyrrelsene blir større enn tillatt, og de kundene som har dobbelt så høy impedans i forsyningen som referanseimpedansen vil kunne forvente opptil dobbelt så store forstyrrelser som er tillatt i FoL.

Å forsterke lavspenningsnettet slik at alt nett har høyere nettstyrke enn den definerte referanseimpedansen er svært kostbart, og kanskje heller ikke samfunnsøkonomisk lønnsomt. I de tilfellene der det er apparater som skaper problemer vil det i mange tilfeller være flere tiltak som kan gjøres på apparatet eller i kundens installasjon som vil løse problemene. Dette kan være en mer samfunnsøkonomisk måte å adressere utfordringene på.

Utvikling i design og bruk av elektriske apparater

Klimaendringer og økende energikostnader skaper forventning om at elektriske apparater blir mer energieffektive. I tillegg skal apparatene være kompakte og effektive å bruke. Dette fører blant annet til flere apparater som enten trekker store strømmer over korte tidsrom eller ulineære strømmer. Dette har uønsket påvirkning på spenningskvaliteten i lavspenningsnettet blant annet i form av flimmer, spenningsprang og overharmoniske spenninger.

Et eksempel på et slikt nytt apparat er en gjennomstrømningsvannvarmer, hvor alt vann blir varmet opp momentant når det skal brukes ved å koble en motstand⁴ inn og ut. Vanntemperaturen reguleres ved å endre duty cyclen til vannvarmeren. Figuren under viser forskjellen i strømmen en gjennomstrømningsvannvarmer trekker sammenlignet med en tradisjonell varmtvannsbereder.



Apparater som gjennomstrømningsvannvarmere skaper utfordringer for spenningskvaliteten i nettet. Hvor utfordrende apparater blir for spenningskvaliteten avhenger av tre forhold hos apparatet, samt hvor sterk nettilknytningen er. Disse tre er:

- Hvor stor forvrengning av spennings kurveform apparatet forårsaker
- Hvor store endringer i spennings effektivverdi apparatet forårsaker
- Hvor hurtige endringer i spennings effektivverdi apparatet forårsaker

Forvrengning i spennings kurveform, forårsaket av f.eks. likerettere, er uheldig fordi flere og flere apparater har sensitiv kontrollektronikk som kan feilfungerer om spennings kurveform avviker for mye fra ren sinus. Store og hurtige endringer i spennings effektivverdi, forårsaket f.eks. av motorstarter, er uheldige fordi det kan føre til blinking i lys, at apparater midlertidig feilfungerer eller tripper, og i verste tilfelle blir ødelagt. Mange hurtige spenningsendringer, forårsaket f.eks. av en gjennomstrømningsvannvarmer, er uheldige fordi spenningsendringene blir synlig som flimmer i lyset fra belysningsutstyr.

⁴ Nyere design bruker kraftelektronikk for å variere strømstørrelsen så vannet får korrekt temperatur, heller enn å variere duty cycle

Hvilke utfordringer medfører utfordrende elektriske apparater?

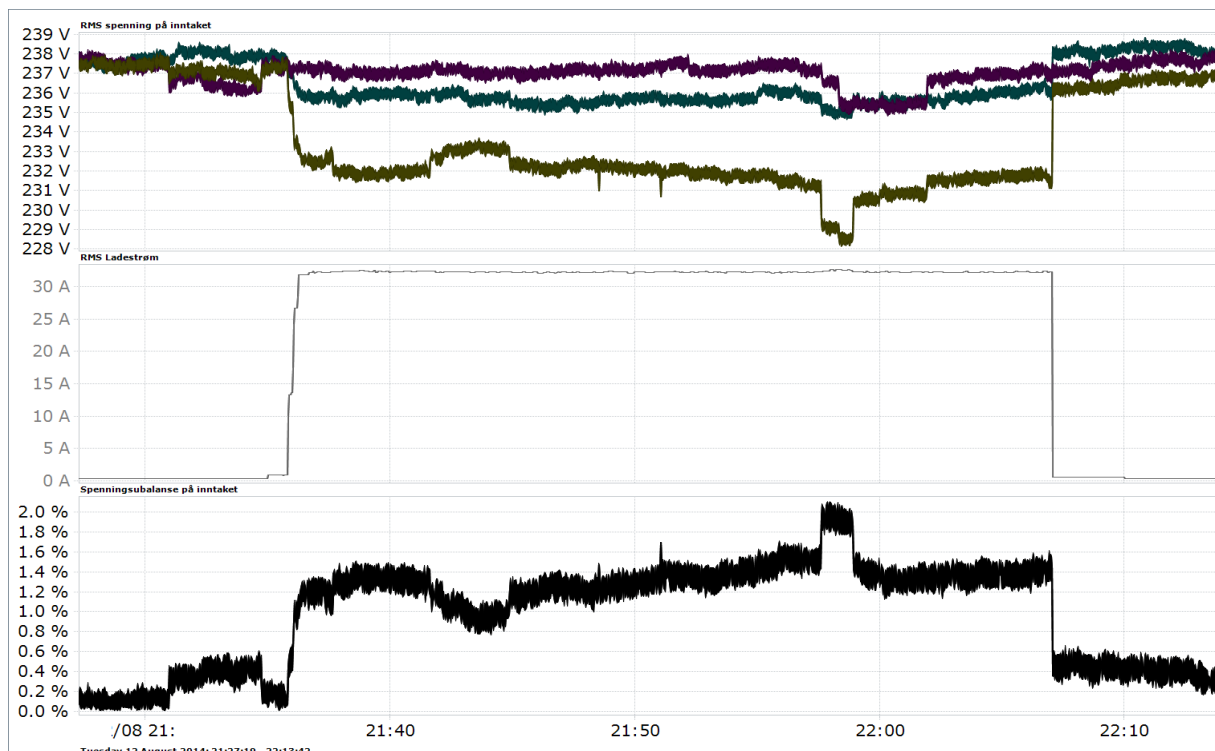
Spenningsusymmetri (ubalanse)

Definisjon: Spenningsusymmetri er et mål på hvor ulike fasespenningene i nettet er, og er oftest forårsaket av ujevn belastning av nettet. Spenningsusymmetri oppgis i prosent basert på beregning av sekvensspenninger ($\frac{U_2}{U_1}$).

Konsekvenser: Spenningsusymmetri kan forårsake varmgang i trefaseapparater (og i ytterste konsekvens havari), og fører også til økte tap i distribusjonsnettet.

Mulige årsaker: Spenningsusymmetri er i lavspenningsnett typisk forårsaket av:

- Usymmetrisk belastning, f.eks. ved bruk av store enfase apparater som elbilladere og noen typer store varmepumper
- Innmating i nettet fra store enfase solcelleanlegg
- Installatør som har koblet de fleste av lastene til en eller to av fasene.
- Manglende revolvering av faser
- Fasebrudd og andre typer feil i nettet



Trefase RMS-spenning, ladestrøm og spenningsusymmetri ved 32 A lading av Tesla i et nett med kortslutningsstrøm rundt 1500 A.

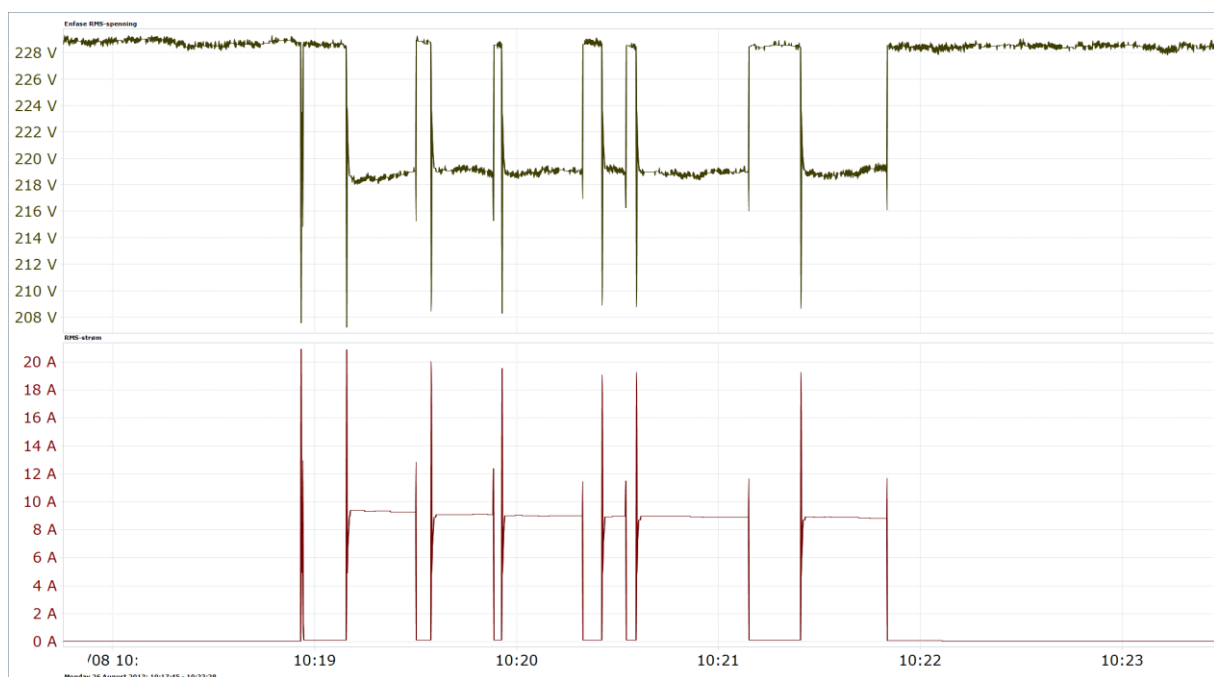
Spenningsprang:

Definisjon: Et spenningsprang er en hurtig endring i spennings effektivverdi. Endringen må være raskere enn 0,5 % av 230 V per sekund, og større enn 3 % ved permanente spenningsendringer, og over 5 % ved kortvarige endringer. Om spranget gjør at spenningen blir under 207 V ($230\text{ V} - 10\%$) defineres spenningspranget heller som en spenningsdipp

Konsekvenser: Årsaken til at det er begrensninger på hvor mange spenningsprang som tillates er at hurtige endringer i forsyningsspenningen fører til blinking i lys som gir visuelt ubehag.

Mulige årsaker: Spenningsprang kan være forårsaket av flere ting, som f.eks.:

- Apparater med sterk effektvariasjon (f.eks. gjennomstrømningsvannvarmere)
- Start av direktestartede asynkronmotorer
- Lastpåslag (i svake nett kan vanlige laster forårsake spenningsprang ved innkobling)
- Hendelser i nettet, som kobling av linjer, bortkobling av deler av nettet, innkobling av kondensatorbatteri, midlertidige kortslutninger andre steder osv.



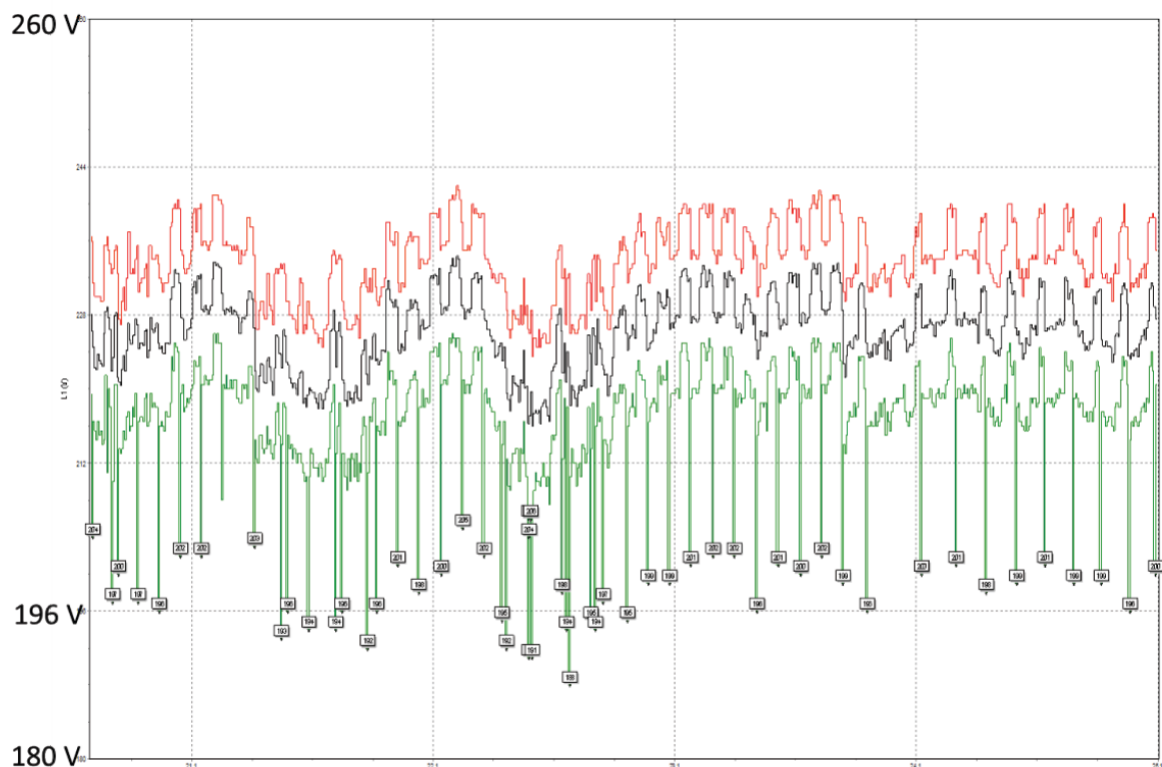
RMS-spenning med spenningsprang, og RMS-strøm, ved bruk av en 2,1 kW høytrykkspyler i et svakt nett.

Spenningsdipp:

Definisjon: En spenningsdipp er en forbigående variasjon av spenning under 207 V ($230\text{ V} - 10\%$).

Konsekvenser: Spenningsdipp forårsaker store kostnader for norske forbrukere hvert år. I tillegg til problemene med spenningsprang, kan spenningsdipp gjøre at utstyr feilfungerer, tripper og i verste fall blir ødelagt. Mindre og kortvarige spenningsdipp vil ofte ha mindre konsekvens enn større og mer langvarige dipper (som er sjeldnere).

Mulige årsaker: Spenningsdipp er i hovedsak forårsaket av hendelser i nettet, som kobling av linjer, bortkobling av deler av nettet, innkobling av kondensatorbatteri, midlertidige kortslutninger andre steder osv. I svake nett kan i midlertidig også effektkrevende apparater hos kunden også forårsake mindre spenningsdipp, som f.eks. større varmepumper med direktestartede asynkronmotorer.



Trefase RMS-spenning med spenningsdipp forårsaket av en større varmepumpe.

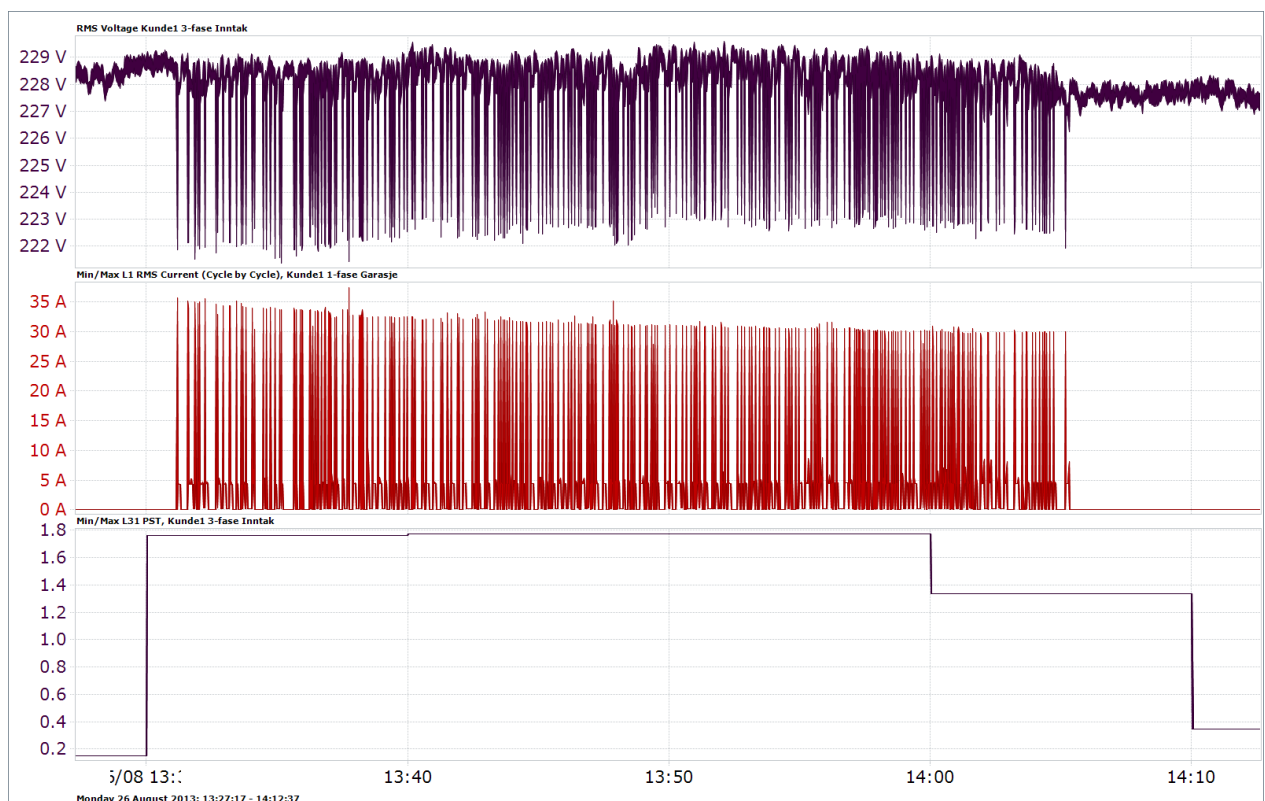
Flimmer:

Definisjon: Flimmer i lys er forårsaket av hurtige endringer i spenningens effektivverdi. Hvor irriterende lysvariasjonen oppleves avhenger av frekvensen til variasjonene, det menneskelige øyet er spesielt følsomt for variasjoner rundt 8 Hz. Mengden flimmer kan estimeres ut i fra størrelsen og frekvensen på spenningsvariasjoner, og på bakgrunn av disse beregnes en korttids- og langtidsflimmerverdi. Disse skal i Norge være under henholdsvis 1,2 og 1,0.

Konsekvenser: Flimmer kan medføre visuelt ubehag, konsentrasjonsvansker og irritasjon. Mange av klagenes nettselskap får har bakgrunn i flimring / blinking i lys.

Mulige årsaker: Flimmer kan være forårsaket av mange ting, blant annet de samme årsakene som spenningsprang. I tillegg kan også følgende forårsake flimmer:

- Apparater med hurtig endringer i effektbruk
- Overharmoniske eller interharmoniske spenninger
- Spenningsfluktuasjoner, f.eks. forårsaket av lysbueovner, frekvensomformere, sveiseutstyr osv.



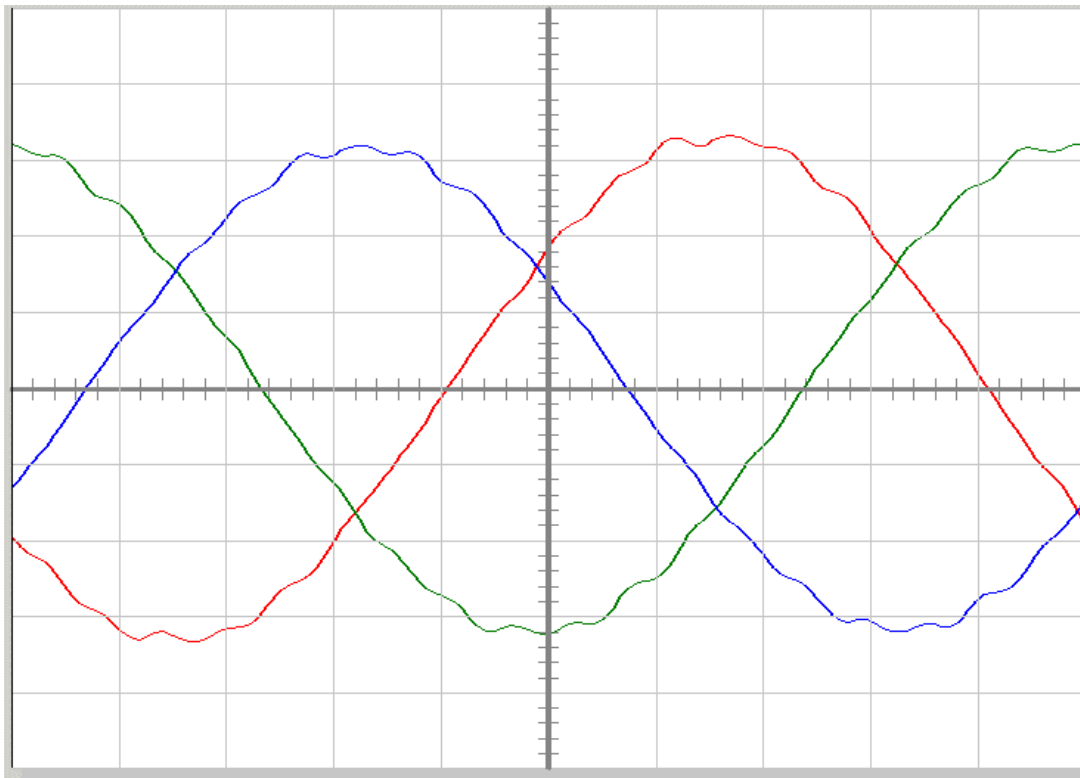
RMS-spenning og strøm, og korttidsflimmerverdi ved bruk av en 1,5 kW vedkløyver i en installasjon med Ik2 lik 1400 A.

Harmonisk støy og forvrengning av spennings kurveform:

Definisjon: Opprinnelig var den meste av lasten i kraftsystemet resistiv eller fra motorer, som førte til liten påvirkning på spennings kurveform. Nyere laster som benytter kraftelektronikk trekker ofte en ulineær strøm som gjør at spennings kurveform blir påvirket. Størrelsen av påvirkningen avhenger av hvor stor og langt fra ren sinus laststrømmen er, og impedansen i nettet. Forvrengning av spennings kurveform måles både i total harmonisk forvrengning (THD) men også for individuelle overharmoniske komponenter (det stilles krav fra 2. til 25. harmoniske).

Konsekvenser: Harmonisk støy kan forårsake en hel rekke problemer, spesielt for utstyr med sensitiv kontrollektronikk. Apparater kan være umulig å styre, ukontrollert skru seg av og på, feilfungerer osv. Belysningsutstyr kan oppleve kraftig variasjon i lysstyrke, og for i noen tilfeller kan også harmonisk strøm forårsake akustisk støy og vibrasjoner i utstyr og apparater.

Mulige årsaker: Det har historisk vært større smelteverk o.l. som har forårsaket problemer med harmonisk støy, og lokalt i noen grad bruk av utstyr med likeretter og manglende filtrering (sveiseapparater o.l.). I det siste har utbredelsen av kraftelektronikk i industrien og hos vanlige forbrukere gjort at det har blitt flere problemer med harmonisk støy.



Figur: Spennings trefase kurveform med påvirkning fra særlig 11., 17. og 19. overharmoniske.

NVEs vurdering av normalapparater

Selv om noen apparater kan anses som utfordrende for spenningskvaliteten, så har NVE sagt at det er noen apparater (normalapparater) forbrukere skal kunne bruke uavhengig av styrken på nettilknytning deres. Det inkluderer bl.a. apparater som trengs for å:

- Holde seg varm
- Lage mat
- Ha varmt og kaldt vann
- Ha gode sanitærforhold



Shutterstock

NVE forventer at kunder bidrar til å løse utfordringer med spenningskvalitet forårsaket av apparater som trekker store strømmer. Dette inkluderer blant annet å installere startstrøms-begrensning på direktestartende asynkronmotorer, om nødvendig. Videre er også kunden pliktig til å bruke trefase-apparater eller unngå skjevfordeling av last som forårsaker spenningsusymmetri over 2 % i nettet.

Definisjon av et utfordrende elektrisk apparat

Det er laget en definisjon av et utfordrende apparat. Hensikten med denne definisjonen er å fange opp apparater som kan skape problemer med spenningskvaliteten i svake nett, slik at tiltak som forebygger problemer kan vurderes før apparatet installeres. Definisjonen er firedelt, hvor hver av de fire delene forsøker å definere hvilke type apparater som skaper utfordringer for:

- Spenningsusymmetri
- Spenningssprang / spenningsdipp
- Flimmer
- THD og harmonisk støy

Et utfordrende elektrisk apparat er et apparat som tilfredsstiller en eller flere av disse kriteriene:

- **Enfase-apparat** med sikringsstørrelse **høyere enn 25A**, men i svake nett kan også apparater med sikringsstørrelse over 16 A bli utfordrende.
- Direktestartet **asynkronmotor** med ytelse høyere enn **2,3 kW enfase** eller **4 kW trefase**, og asynkronmotorer med startstrømbegrensning med ytelse høyere enn 5 kW enfase eller 8 kW trefase.
- **Apparater med start stopp syklus** raskere enn **10 ganger i minuttet og effekt over 2,3 kW enfase** eller **4 kW trefase**, men i svake nett kan start-stopp sykluser raskere enn 10 per time også bli utfordrende.
- **Apparater med likerettere og vekselrettere (som omformere i PV-anlegg⁵) uten tilstrekkelig filtrering** og ytelse over **2,3 kW enfase** eller **4 kW trefase**.

Definisjonen dekker ikke alle apparater som er utfordrende; elektrisk verktøy med motorer under 2,3 kW kan f.eks. skape store forstyrrelser. Disse er i midlertidig såpass utbredt og vanlig å bruke, at det ville være unaturlig å inkludere dem i en definisjon av utfordrende elektriske apparater.

⁵ De fleste PV-anlegg har god filtrering

Eksempler på utfordrende elektriske apparater

- **Større varmepumper uten startstrømsbegrensning:** Direktestartede asynkronmotorer (og i noen grad motorer med mykstartere) trekker en høy strøm ved oppstart av motoren som kan skape spenningsprang, og i noen tilfeller spenningsdipp. Enfasepumper skaper større forstyrrelser enn trefase. De fleste nyere luft til luft varmepumper benytter frekvensomformere, som fjerner problemet med høye startstrømmer.
- **Vannpumper og kloakkpumper:** Tilsvarende problem som for varmepumper.
- **Verktøy med direktestartede asynkronmotorer:** Høytrykkspylere, kompressorer, sager, vedkløyvere osv., skaper spenningsendringer ved oppstart av motoren (og potensielt spenningsprang og –dipp). Avhengig av hvordan motoren brukes (antall start stopp sykluser) kan dette også føre til høye flimmerverdier.
- **Gjennomstrømningsvannvarmere:** For variantene med inn og utkobling av motstand som oppvarmingsmetode vil de hurtige endringene i effekt skape flimmer.
- **Elbilladere:** På grunn av det norske IT-nettet er de fleste elbilladere enfase. Dette kan skape problemer med spenningsusymmetri. Noen ladesystemer vedlikeholdslader med rask inn- og utkobling av ladestrøm, som kan forårsake flimmer.
- **Solcellepaneler:** Av samme grunn som for elbilladere kan solcellepaneler skape utfordringer med spenningsusymmetri.



Shutterstock

IT versus TN-nett

I Norge er 70 % av lavspenningsnettet IT-nett, i motsetning til nesten hele resten av Europa hvor 400 V TN-nett er benyttet. IT-nettet gir noen spesielle utfordringer for blant annet apparatbruk i Norge.

For enfaselaster vil samme kabler og luftledninger (samme forsyningsimpedans) i IT og TN-nett gi nesten tilsvarende spenningsforhold. For trefaselaster vil derimot spenningspåvirkningene være mye lavere i TN-nett (1/3 av IT-nett) på grunn av den høyere linjespenningen. Dette gjør at det blir større forstyrrelser i IT-nett enn i TN-nett fra trefaseapparater, og det må bygges sterkere nett for å kunne overholde krav om god spenningskvalitet.

Trefaselaster skaper mindre støy enn enfaselaster (og forårsaker ikke spenningsusymmetri), og en del større apparater lages derfor som trefaseapparater. Det finnes i midlertidig svært få trefaseomformere for IT-nett, som gjør at en del apparater som lages som trefaseapparater i Europa gjøres om til enfaseapparater når de importeres i Norge. Dette er uheldig, fordi spenningskvalitetspåvirkningen blir høyere. I noen tilfeller med induksjonstopper kan det også være uheldig med tanke på store strømmen i installasjonen.

Kontrollelektronikk i apparater er også ofte designet med tanke på bruk i TN-nett, og dette kan gjøre at apparatet i noen tilfeller ikke fungerer som tiltenkt. Det har vært flere tilfeller av at apparater ikke har fungert, men om støpselet snus 180 grader, så fungerer apparatet. Flere elbilprodusenter har også hatt problemer med elbiler som ikke vil lade om det er jordfeil i nettet.



Shutterstock



Shutterstock

For de kundene som har dobbelt så stor impedans i forsyningen som referanseimpedansen (eller halvparten av kortslutningsstrømmen), vil dette medføre opp til en dobling av forstyrrelsene i forhold til tillatte nivåer. De kundene som har så svak forsyning vil typisk være kunder i grisgrendte strøk som bor langt fra nærmeste nettstasjon. Dette gjelder spesielt om det er luftnett i området. I tettbebygde områder med gamle nett (f.eks. gamle boligområder) vil også kunder som bor langt fra nettstasjonen også kunne ha svake nett. For å avdekke om kunden har et svakt nett kan det derfor være fornuftig å spørre kunden:

- Hvor langt han / hun bor unna nærmeste nettstasjon
- Bor kunden på landet eller i byen?
- Er det luftnett eller kabelnett?
- Opplever kunden av og til blinking i lyset?
- Varierer spenningen mye over året?
- Har kunden hatt problemer med for høy eller for lav spenning?
- Eller andre problemer med spenningen?

Hvis kunden gir svar som antyder at han / hun befinner seg i et område med svakt nett er det spesielt viktig å kontrollere om det er problemfritt å installere et utfordrende elektrisk apparat.

Kontrollere problemfri bruk av UEA

Om en kunde skal installere et apparat som faller inn under definisjonen utfordrende elektrisk apparat er det forholdsvis enkelt å kontrollere om apparatet vil føre til problemer, eller om det vil gå greit. Om dette skal gjøres må det kontrolleres om:

- Hva er nettstyrken til abonnenten? Det er mulig å gjøre et anslag av nettstyrke basert på spørsmålene i forrige avsnitt.
- Basert på hvilken del av definisjonen over som apparatet hører inn under kan det kontrolleres:
 - For enfaselaster: Fører apparatet til for stor spenningsusymmetri?
 - For motorer: Fører apparatet til for store spenningssprang?
 - For apparater som faller inn under tredje ledd, f.eks. gjennomstrømningsvannvarmere: Fører apparatet til høye flimmerverdier?
 - For apparater med likerettere og dårlig filtrering: Dette er vanskelig å kontrollere, men om nettet er svakt kan f.eks. sveiseapparater bli utfordrende.
- Det finnes også målinger på en lang rekke individuelle apparater samlet i en eksempelsamling (se kilder), som kan si mer nøyaktig om bruk av det aktuelle apparatet fører til utfordringer eller ikke.



Shutterstock

Kontrollere problemfri bruk av større enfaselaster

Om et enfase-apparat fører til for høy spenningsusymmetri er forholdsvis enkelt å kontrollere. Med noen forenklinger⁷, så avhenger spenningsusymmetri av effekt og kortslutningsstrøm. Det kan derfor lages en tabell, som viser for en gitt merkeeffekt, og en gitt kortslutningsstrøm, hvor stor påvirkningen på usymmetri vil bli. En slik tabell er gjengitt under:

Påvirkning på spenningsusymmetri i IT-nett [%]														
Ik2 [A]	3000	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	1.1	1.5	1.9
	2800	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	1.2	1.6	2.1
	2600	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.3	1.8	2.2
	2400	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	1.4	1.9	2.4
	2200	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.6	2.1	2.7
	2000	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.7	2.3	3.0
	1800	0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.1	1.3	1.9	2.6	3.3
	1600	0.1	0.3	0.4	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3	1.4	2.2	3.0	3.8
	1400	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	1.0	1.1	1.3	1.5	1.6	2.5	3.4	4.4
	1200	0.2	0.4	0.6	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	3.0	4.1	5.3
	1000	0.2	0.4	0.7	0.9	1.1	1.4	1.6	1.8	2.1	2.3	3.6	5.1	6.6
	800	0.3	0.6	0.8	1.1	1.4	1.7	2.0	2.3	2.7	3.0	4.7	6.6	8.8
	600	0.4	0.7	1.1	1.5	1.9	2.3	2.8	3.2	3.6	4.1	6.6	9.6	13.5
	400	0.6	1.1	1.7	2.3	3.0	3.6	4.3	5.1	5.8	6.6	11.4	19.0	34.6
	200	1.1	2.3	3.6	5.1	6.6	8.4	10.3	12.6	15.4	19.0	37.4	42.3	46.2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	
Enfaselast/enfaseproduksjon [kW]														

En slik tabell kan brukes f.eks. for å kontrollere om elbillading, store enfase varmpumper, PV-paneler osv. vil forårsake for høye nivåer av usymmetri. Her er de tilfellene som fører til en økning i usymmetri med over 1 % markert med fet skrift, ettersom disse er uheldige med tanke på summert usymmetri fra flere kunder. Usymmetri øker lineært med effekt, som betyr at 3 kunder med 3 kW apparater fører til like stor usymmetri som ett 9 kW apparat hos en av kundene⁸. Nettselskap kan stille krav til at en kunde ikke får forårsake større økning i usymmetri enn 1 %, men det absolutte forskriftskravet er 2 %. Hvis en last eller produksjonsenhet forårsaker høyere økning enn det som er ønskelig, bør det benyttes et trefaseapparat i stedet⁹.

En spesiell kommentar for plusskunder med PV-paneler: Om det brukes to enfase-omformere for å redusere usymmetri, så kan mengden usymmetri som disse genererer også kontrolleres ved å bruke

⁷ Gyldige for alle praktiske formål med kjente apparater. Modellen forutsetter apparater som trekker konstant effekt, som betyr at apparater som har en annen karakteristikk (konstant strøm / konstant impedans) vil skape noe mindre spenningsusymmetri. Dette har ikke en betydelig påvirkning.

⁸ Men ikke helt, ettersom usymmetrien dempes noe over hver av kundenes stikkledning.

⁹ Det er ikke tilgjengelig 230 V trefaseomformere. For plusskunder må to eller tre enfase-omformere benyttes, eventuelt en 230 / 400 V trafo.

tabellen over. Det er da størrelsen på hver omformer som brukes, ikke summen av de to. I prinsippet er dette en tilnærming som ikke er gyldig for høye nivåer av usymmetri, men for nivåer av usymmetri under 2 % treffer beregningene med en usikkerhet lavere enn 0,1 %.

Påvirkning på spenningsusymmetri i TN-nett [%]														
Ik2 [A]	3000	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,9	1,1
	2800	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9	1,2
	2600	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	1,0	1,3
	2400	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,8	1,1	1,4
	2200	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,9	1,2	1,5
	2000	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	1,0	1,3	1,7
	1800	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	1,1	1,5	1,9
	1600	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	1,2	1,7	2,1
	1400	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,4	1,9	2,5
	1200	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1	1,7	2,3	2,9
	1000	0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	2,0	2,8	3,6
	800	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,3	1,5	1,7	2,6	3,6	4,8
	600	0,2	0,4	0,6	0,9	1,1	1,3	1,6	1,8	2,0	2,3	3,6	5,2	6,9
	400	0,3	0,6	1,0	1,3	1,7	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	6,0	9,2	14,5
	200	0,6	1,3	2,0	2,8	3,6	4,5	5,5	6,6	7,8	9,2	18,5	14,8 ¹⁰	11,7
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	
Enfaselast / enfaseproduksjon [kW]														



Shutterstock

¹⁰ De to siste verdiene nederst og til høyre viser at modellen bryter sammen for ekstreme verdier av spenningsusymmetri.

Kontrollere problemfri bruk av motorer

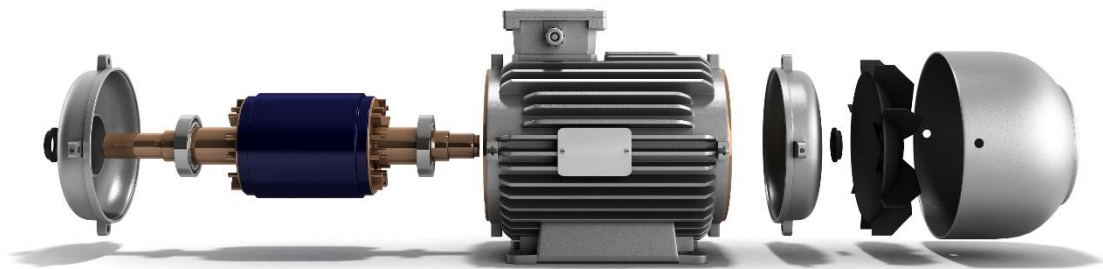
Om en direktestartende asynkronmotor fører til for store spenningsprang (og spenningsdipp) kan kontrolleres ved en tabell som er vist i figuren under:

Maksimum anbefalt enfase motorstørrelse i et IT-nett [kW] for å unngå spenningsprang

Ik2 [A]	1600	2.5	2.9	3.8	4.7	5.3	5.8	7.2
	1500	2.3	2.7	3.6	4.4	5.0	5.4	6.7
	1400	2.2	2.5	3.4	4.1	4.6	5.1	6.3
	1300	2.0	2.3	3.1	3.8	4.3	4.7	5.8
	1200	1.8	2.1	2.9	3.5	4.0	4.3	5.4
	1100	1.7	2.0	2.6	3.2	3.6	4.0	4.9
	1000	1.5	1.8	2.4	2.9	3.3	3.6	4.5
	900	1.4	1.6	2.2	2.6	3.0	3.3	4.0
	800	1.2	1.4	1.9	2.3	2.7	2.9	3.6
	700	1.1	1.3	1.7	2.0	2.3	2.5	3.1
	600	0.9	1.1	1.4	1.7	2.0	2.2	2.7
	500	0.8	0.9	1.2	1.5	1.7	1.8	2.2
	400	0.6	0.7	1.0	1.2	1.3	1.4	1.8
	300	0.5	0.5	0.7	0.9	1.0	1.1	1.3
	200	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.9
		0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10,0

Forhold mellom resistans og reaktans (R/X)

Tabellen forutsetter at spenningsprang på over 5 % ikke er ønskelig. Om motoren skal startes mer sjelden kan det hende at større sprang kan være akseptabelt.



Et eksempel på hvordan tabellen kan brukes, er om en kunde ønsker å installere en enfase 5 kW varmpumpe uten startstrømbegrensning (mykstarter eller frekvensomformer). Ut i fra definisjonen av et utfordrende elektrisk apparat skjønner man at dette blir å regne som et utfordrende apparat, fordi det er en enfase direktestartende asynkronmotor over 2,3 kW. Det kontrolleres hos nettselskapet hvor sterkt nett kunden har, og nettselskapet gir beskjed om at kunden har en tilknytning med I_{k2} lik 1000 A, og en R/X-rate på 4. Om det slås opp i tabellen for R/X = 4 og I_{k2} = 1000 A, så er maksimum anbefalt motorstørrelse for denne kunden 3,3 kW. Det anbefales dermed ikke å installere varmpumpen med en enfase direktestartende asynkronmotor.

Tabellen er bygd opp med noen forutsetninger, som bør kontrolleres i hvert case. Om disse er ukjent gir likevel tabellen et anslag på anbefalt motorstørrelse. Forutsetningene er:

- Startstrøm – $I/I_n = 7$
- $\cos\phi_{i\text{ oppstart}} = 0,17$

Startstrømmen som er brukt i tabellen er 7 ganger nominell strøm ($I/I_n = 7$). I de tilfellene hvor denne er lavere, kan det installeres en større motor. Er den høyere bør det installeres en mindre motor. Om motoren som ble nevnt i forrige eksempel viste seg å ha en startstrøm på 5 ganger nominell strøm, heller enn 7 ganger, kan anbefalt motorstørrelse skaleres med en faktor 7/5. Dette gir at maksimum anbefalt motorstørrelse blir $3,3 \text{ kW} * \frac{7}{5} = 4,6 \text{ kW}$.

Dette gjelder for alle startstrømmer, ettersom anbefalt motorstørrelse er lineær med startstrøm (en dobbelt så stor startstrøm tilsier at en halvparten så stor motor kan installeres).

Tabellen er laget med en forutsetning om at $\cos\phi_{i\text{ oppstart}}$ er 0,17. Dette er et typisk gjennomsnitt for motorer. $\cos\phi_{i\text{ oppstart}}$ påvirker hvor stor motor som det anbefales å installere; en lavere $\cos\phi_{i\text{ oppstart}}$ gjør at anbefalt motorstørrelse blir større, mens en høyere $\cos\phi_{i\text{ oppstart}}$ gjør at anbefalt motorstørrelse blir mindre. Påvirkning fra $\cos\phi_{i\text{ oppstart}}$ er ikke like lett å skalere som startstrøm, fordi det ikke er en lineær sammenheng mellom $\cos\phi_{i\text{ oppstart}}$ og anbefalt motorstørrelse. For en lavere eller høyere $\cos\phi_{i\text{ oppstart}}$ kan følgende korreksjonsfaktorer brukes (typiske størrelser angitt):

$\cos\phi_{i\text{ oppstart}} = 0,1$		$\cos\phi_{i\text{ oppstart}} = 0,25$		$\cos\phi_{i\text{ oppstart}} = 0,707$	
R/X	Økning i $P_{r,motor}$ [%]	R/X	Reduksjon i $P_{r,motor}$ [%]	R/X	Reduksjon i $P_{r,motor}$ [%]
0,5	2	0,5	2	0,5	-1
1	5	1	5	1	17
2	10	2	9	2	35
3	13	3	12	3	44
4	15	4	13	4	48
5	16	5	14	5	51
10	20	10	16	10	58

I tilfellet med varmpumpen på 5 kW som vi tidligere har nevnt, viste det seg at pumpen hadde en $\cos\phi_{i\text{ oppstart}}$ på 0,25. Siden kunden hadde en R/X rate på 4 betyr det at den anbefalte motorstørrelsen blir lavere: $4,6 \text{ kW} * 87 \% = 4 \text{ kW}$.

I de tilfellene hvor det ikke anbefales å installere en så stor enfase direktestartende motor som kunden ønsker, er det mulig å gjøre flere tiltak for å begrense startstrømmen. Dette inkluderer:

- Bytte til en trefasemodell
- Bytte til en modell med lavere startstrøm
- Installere mykstarter¹¹
- Installere frekvensomformer

I et IT-nett vil å bytte fra et enfase til et trefaseapparat føre til en reduksjon i spenningsprang på 50 %, og en dobbelt så stor motor kan derfor installeres om det benyttes et trefaseapparat. For å finne hvor stor motor som anbefales når det benyttes en modell med lavere startstrøm eller mykstarter, så brukes samme skalering som ble nevnt i tidligere. Er startstrømmen på en modell f.eks. 4 ganger nominell strøm, I_{k2} lik 1000 A, og en R/X-rate på 4, så blir anbefalt motorstørrelse $3,3 \text{ kW} * \frac{7}{4} = 5,8 \text{ kW}$. En mykstarter fører typisk til en startstrøm i størrelsesorden 2,5 ganger nominell strøm, og om en mykstarter benyttes kan derfor en motor som er $7/2,5$ ganger så stor anbefales. I vårt eksempel blir dette: $3,3 \text{ kW} * \frac{7}{2,5} = 9,2 \text{ kW}$. Om en frekvensomformer installeres eliminerer denne ofte spenningsprang fullstendig. I vårt tilfelle hvor kunden ønsket å installere en 5 kW motor vil det derfor være greit om kunden gjør det om han benytter en annen modell enn den han oppgav i det første eksempelet, om han installerer mykstarter, eller om han installerer en frekvensomformer.



Shutterstock

¹¹ Det må kontrolleres at mykstarteren ikke gjør at motoren får for lavt startmoment (f.eks. ved pumpedrift)

I TN-nett vil samme impedans i kabler gi $I_{k2} \sqrt{3}$ høyere enn i IT-nett, fordi linjespenningen er 400 V heller enn 230 V. Dette gir følgende tabell for TN-nett:

Maksimum anbefalt enfase motorstørrelse i et TN-nett [kW] for å unngå spenningsprang

I_{k2} [A]	1600	1.4	1.7	2.2	2.7	3.1	3.3	4.2
	1500	1.3	1.6	2.1	2.5	2.9	3.1	3.9
	1400	1.3	1.4	2.0	2.4	2.7	2.9	3.6
	1300	1.2	1.3	1.8	2.2	2.5	2.7	3.3
	1200	1.0	1.2	1.7	2.0	2.3	2.5	3.1
	1100	1.0	1.2	1.5	1.8	2.1	2.3	2.8
	1000	0.9	1.0	1.4	1.7	1.9	2.1	2.6
	900	0.8	0.9	1.3	1.5	1.7	1.9	2.3
	800	0.7	0.8	1.1	1.3	1.6	1.7	2.1
	700	0.6	0.8	1.0	1.2	1.3	1.4	1.8
	600	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.3	1.6
	500	0.5	0.5	0.7	0.9	1.0	1.0	1.3
	400	0.3	0.4	0.6	0.7	0.8	0.8	1.0
	300	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	0.8
	200	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5
		0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10,0

Forhold mellom resistans og reaktans (R/X)

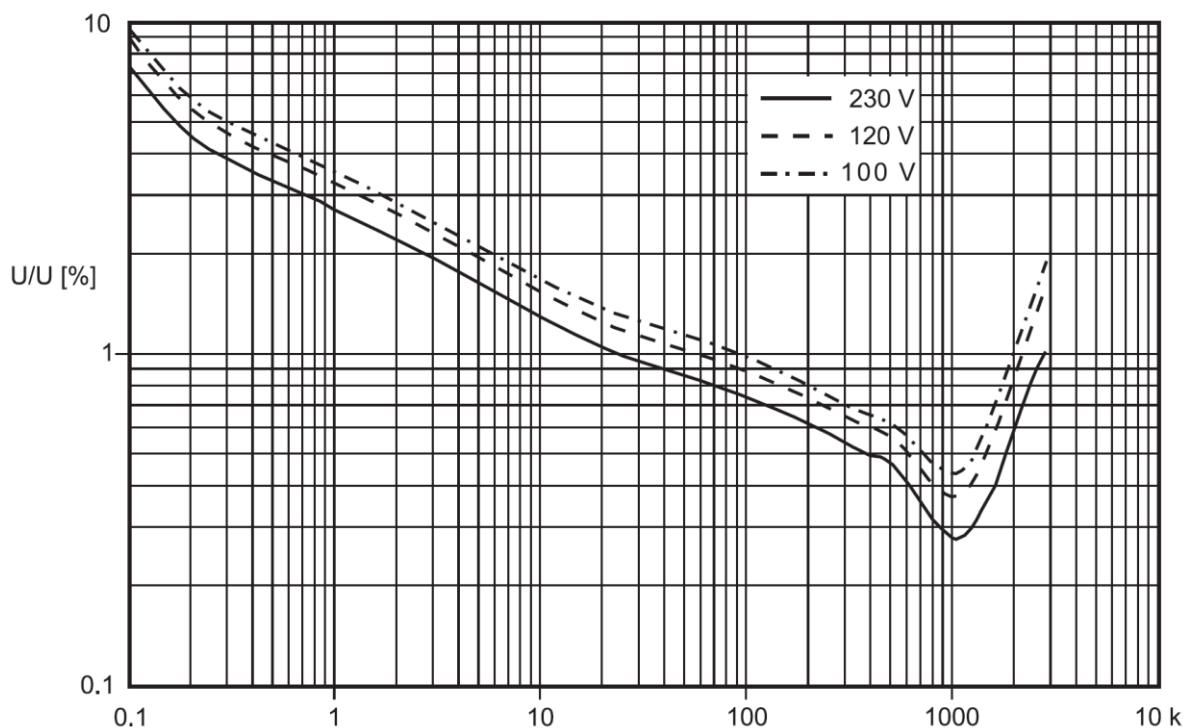
Maksimum anbefalt motorstørrelse for en kunde i et IT-nett med I_{k2} lik 800 A og R/X rate lik 3 vil være 2,3 kW, mens for en kunde i et TN-nett med I_{k2} lik 800 A og R/X rate lik 3 vil maksimum anbefalt enfase 230 V motorstørrelse være $\frac{2,3 \text{ kW}}{\sqrt{3}} = 1,3 \text{ kW}$.

I TN-nett medfører å bytte fra enfase til trefasemotorer en større reduksjon i spenningsfall enn for et IT-nett. På grunn av den høyere linjespenningen i TN-nett reduseres spenningsfallet til 1/6. Det kan dermed installeres en 6 ganger så stor motor om det benyttes trefase heller enn enfase-motorer i TN-nett. I tilfellet over betyr det at en motor på $1,3 \text{ kW} * 6 = 7,8 \text{ kW}$ vil kunne installeres.

En viktig bemerkning til slutt: Forstyrrelsen naboer av kunden med motoren opplever avhenger av hvor stor del av impedansen naboene og kunden med motoren har felles.

Kontrollere lav flimмерpåvirkning

Om et apparat fører til markant økning av flimmer kan kontrolleres om størrelsen og hyppigheten på spenningsendringen er kjent ved å bruke en flimmerkurve, som vist i figuren under.



Korttidsflimerverdi (Pst) = 1 for spenningsendringer i prosent mot antall spennings-endringer per minutt.

Figuren viser det nivået av flimmer som et gjennomsnittsmenneske vil oppleve som irriterende. Den kombinasjonen av størrelse og hurtighet på spenningsvariasjonene som ligger over grafen er uønsket.

Størrelsen av spenningsendringen kan regnes ut om kortslutningsstyrken til nettet er kjent, og merkeeffekten til apparatet er kjent etter formelen¹²: ΔU [%] = $\frac{P}{I_{k2} \cdot U}$

¹² Gyldig for en ohmsk last i et resistivt nett, stemmer ikke for motorstarter.

Reaktiv håndtering – problemløsning

I de tilfellene en kunde har installert et utfordrende elektrisk apparat som viser seg å skape spenningskvalitetsproblemer, så er det flere mulige alternativer for å løse problemene. Nettselskap er ikke nødvendigvis utbedringspliktig, men er pliktig til å utrede hvem som er utbedringspliktig.

I mange tilfeller vil det ikke være kunden selv, men en nabo av kunden med problemapparatet, som klager. I disse tilfellene må først kunden med det utfordrende apparatet lokaliseres.

Avhengig av apparatet er det ulike tiltak som kan iverksettes¹³:

For apparater som forårsaker høy spenningsusymmetri vil å bytte til trefaseapparater være den enkleste løsningen. I noen tilfeller kan det også løse problemet å omfordele lasten.



Shutterstock

For apparater som forårsaker spenningsprang og / eller spenningsdipp ved oppstart av asynkronmotorer kan det løse problemet å etterinstallere mykstarter eller frekvensomformer. I sterke luftnett kan det også være aktuelt med reaktiv kompensering. Om dette ikke løser problemet kan det være aktuelt å bytte ut modellen til en trefasemodell (om apparatet er enfaset) eller bytte til en annen modell som skaper mindre forstyrrelser. De to sistnevnte løsningene kan også være aktuelle om apparatet forårsaker spenningsprang og / eller forhøyde flimmerverdier.

¹³ De mest aktuelle tiltakene er nevnt her, men flere tiltak er mulig.

I tilfellene hvor apparater forårsaker harmonisk støy kan det være aktuelt å installere filter ved apparatet som brukes, men også hos kundene som er berørt. Filter og / eller UPS kan f.eks. installeres på kurser med sensitivt utstyr, men løsningen blir kostbar om mange kunder er berørt.

Om det utfordrende apparatet utelukkende skaper problemer for noen typer belysningsutstyr kan det også være en løsning å bytte dette utstyret (eventuelt kun dimmere og kontrollelektronikk). Dette gjelder også om kun enkelte typer apparater er berørt.

For de fleste typene problemer kan problemene løses ved å forsterke nettet. Med mindre nettet er svært svakt og modent for utskiftning er dette i midlertidig sjeldent en aktuell løsning, ettersom kostnaden er uproporsjonalt mye større enn å gjennomføre tiltak hos kundene.

Men kunden må akseptere forslag til tiltak. Og husk at nettselskap, selger av apparat og eventuelt kundens installatør har alle felles kunde. Det er viktig å rådgi kunden slik at han unngår å komme i en situasjon der han blir utbedringspliktig med sitt nye utstyr. Hvis kunden antas å kunne forårsake problemer for seg selv, nettselskapet eller andre kunder med det apparatet kunden trenger for å kunne dekke sine behov, og dette er et type apparat som han skal kunne forvente å kunne bruke til privat formål (ref. over om varme, vann, matlaging og sanitær), så må nettselskapet involveres for å kunne finne løsning raskest mulig.

Forventet utvikling: Effekttariffer

Selv om energiforbruket i Norge har økt lite de siste årene, har økningen i effektforbruk vært høyere. Dette gjør at det stilles større krav til hva strømmettet må håndtere, og fører til et økt investeringsbehov. For å synliggjøre denne kostnaden for forbrukere vurderes det å kreve nettleie fra husholdningskunder basert på effektforbruk, heller enn energiforbruk som er vanlig i dag.

Det finnes flere typer effekttariffer, som f.eks. abonnert effekt (kunden betaler for et valgfritt effektnivå, overforbruk koster mer), dynamiske tariffer (pris på effekt avhenger av eventuelle flaskehalser i nettet), tidsdifferensierte tariffer (strøm er dyrere tider på døgnet hvor forbruket normalt sett er høyest), osv. De ulike tariffene har til felles er at høyere effektforbruk skaper en høyere kostnad for kunden. Dette kan ha påvirkning på anskaffelse av effektkrevende elektriske apparater. F.eks. kan gjennomstrømningsvannvarmere bli mindre populære om de fører til en sterk økning i nettleie. Bruken av apparatene kan også bli påvirket om kundene har et økonomisk incentiv til å minimalisere effektuttaket sitt; kundene får f.eks. incentiv til å anskaffe smart grids / smart hus teknologi, eller å selv tilpasse apparatbruk. Dette kan bidra til å minke effektuttaket i nettet, og føre til færre utfordringer med utfordrende elektriske apparater. Likevel er det viktig å være klar over at økonomi kun er en av mange faktorer som påvirker kunders strømforbruk.

Kilder

Publ.nr. 386-2015 Utfordrende elektriske apparater, Energi Norge, EnergiAkademiet.

Utgitt av



Forfatter

Henrik Kirkeby et al, SINTEF Energi AS, 2016.



ENERGIAKADEMIET | EnergiAkademiet er energibransjens arena for kompetanseutvikling og erfaringsutveksling. Vårt mål er å være en foretrukken kurs og konferanseleverandør, en sentral samarbeidspartner i utvikling og gjennomføring av FoU prosjekter, en synlig leverandør av relevante publikasjoner og et naturlig kontaktpunkt ved behov for opplæring for energibransjen.

BEDRIFTSTILPASSEDE KURS | Vi fokuserer på brukervennlige kurs og som et ledd i dette tilbyr vi også å holde skreddersydde kurs hos bedriftene.

NETTBUTIKK | I vår nettbutikk har vi en stor portefølje bestående av forskrifter, publikasjoner, normer, guider og håndbøker, tilgjengelig for løssalg og abonnementsordninger.

Les mer om våre tilbud på vår hjemmeside:

www.energinorge.no/energiakademiet