

Dok. ansvarlig: NCN  
Sekretær: SLS  
Sagsnr: 10/164  
Doknr: 6

08-12-2010

# **Dansk Energi**

**2010**

## **Vejledning om spændingssænkning**

# Indhold

<b>1 INDLEDNING</b> .....	<b>3</b>
<b>2 KONKLUSION</b> .....	<b>4</b>
<b>3 TEORIEN BAG SPÆNDINGSSÆNKNING</b> .....	<b>6</b>
3.1    FORSYNINGSSPÆNDING .....	7
3.2    SAMMENHÆNG MELLEM EFFEKT OG ELFORBRUG .....	7
3.3    NETTILSLUTNING .....	7
3.4    TILSLUTNING AF SPÆNDINGSSÆKNINGSUDSTYR .....	8
<b>4 VIRKNING AF SPÆNDINGSSÆNKNING I PRAKSIS</b> .....	<b>10</b>
4.1    VIRKNING AF SPÆNDINGSSÆNKNING.....	10
4.1.1 <i>Virkning af spændingssænkning på lyskilder</i> .....	11
4.1.2 <i>Virkning af spændingssænkning på motorer</i> .....	17
4.1.3 <i>Virkning af spændingssænkning på IT-udstyr</i> .....	20
4.1.4 <i>Sammenfatning af spændingssæknings virkning på udvalgte apparattyper</i> .....	22
4.2    ØVRIGE UDMELDTE VIRKNINGER.....	24
4.2.1 <i>Forbedring af asymmetrisk belastning</i> .....	24
4.2.2 <i>Beskyttelse mod transienter</i> .....	25
4.2.3 <i>Reduktion af harmonisk støj</i> .....	26
4.2.4 <i>Reduktion af reaktiv effekttræk</i> .....	27
<b>5 FORHOLD KØBERE SKAL VÆRE OPMÆRKSOMME PÅ</b> .....	<b>29</b>
5.1    REDUCERET YDELSE VED REDUCERET SPÆNDING.....	29
5.2    DOKUMENTATION AF ENERGIBESPARELSER FRA SPÆNDINGSSÆNKNING .....	29
5.3    SPÆNDINGSSÆKNINGSUDSTYRETS EGETFORBRUG (TAB) .....	30
5.4    REDUCERET KORTSLUTNINGSEFFEKT .....	30
5.5    REDUCERET MULIGHED FOR AT HENTE GEVINSTER VED PARALLELLE ENERGIBESPARELSESTILTAG .....	32
5.6    LEVETID .....	32
<b>6 ANDRE RELEVANTE FORHOLD</b> .....	<b>33</b>
<b>7 HENVISNING TIL RELEVANT LITTERATUR</b> .....	<b>34</b>
<b>8 OPDRAG</b> .....	<b>35</b>

# 1 Indledning

Denne vejledning har til formål at skabe afklaring om anvendelse af spændingssænkning til opnåelse af energibesparelser. Afklaringen har været nødvendig, både af hensyn til sælgere, energisparerådgivere og købere af spændingssænkingsudstyr, da der pt. er stor usikkerhed om spændingssænkning som energisparemetode.

I vejledningen er det beskrevet, hvad man som energisparerådgiver og ikke mindst som køber, skal være opmærksom på, når man overvejer at investere i spændingssænkingsudstyr med henblik på at opnå et reduceret energiforbrug.

Vejledningen forklarer indledningsvist teorien bag spændingssænkning samt det rent praktiske med, hvor spændingssænkingsudstyret tilsluttes til den eksisterende elforsyning, og hvorfor der i nogle virksomheder er større mulighed for at sænke spændingen end i andre.

Herefter er muligheden for at opnå energibesparelser beskrevet for udvalgte forbrugsapparater som lyskilder, motorer og IT-udstyr.

Efterfølgende gives en kvalificeret vurdering af øvrige udmeldte virkninger ved spændingssænkingsudstyr såsom: forbedring af asymmetrisk belastning, beskyttelse mod transienter, reduktion af harmonisk støj og reduktion af reaktiv effekttræk.

Til sidst i nærværende vejledning beskrives praktiske forhold, som køber skal være opmærksom på ved køb af spændingssænkingsudstyr, og sidst i vejledningen findes en litteraturliste med henvisning til rapporter o.l., der kvalificeret beskriver emner, der relaterer sig til spændingssænkingsudstyr.

## 2 Konklusion

I denne vejledning er der givet et overblik over den generelle virkning af spændingssænkingsudstyr i forhold til realisering af energibesparelser, samt øvrige fordelagtige virkninger.

Generelt kan spændingssænkning for nogle typer forbrugsapparater reducere energiforbruget og dermed realisere energibesparelser, mens det for andre apparater ikke er tilfældet.

De mest udbredte apparater hvor spændingssænkning fører til energibesparelser er: - Glødepærer, Halogenpærer, traditionelt forkoblede lysstofrør og Asynkronmotorer der driver kvadratisk stigende belastninger (ventilatorer, visse typer vandpumper o.l.).

De mest udbredte apparater hvor spændingssænkning ikke fører til nævneværdige energibesparelser er: HF-forkoblede lysstofrør (herunder sparepærer), LED-pærer, IT-udstyr og Asynkron med frekvensomformere.

Grunden til at der kan realiseres energibesparelser for udvalgte apparater er, at disse er påvirkelige overfor en spændingssænkning. Spændingssænkningen fører til, at apparaterne bruger mindre el og dermed mindre energi, men apparaterne leverer dermed også en lavere ydelse. Dvs. lyskilderne lyser svagere og asynkronmotoren drejer rundt med færre omdrejninger pr. min. og/eller med mindre moment.

Ved at skrue ned for spændingen skrues man for disse apparater så at sige "ned for hastigheden" af apparaterne og dermed ned for energiforbruget. Kan man leve med eksempelvis en let reduceret belysning eller ventilation, så er spændingssænkning et værktøj, der medfører energibesparelser, f.eks. for en virksomhed, boligblok e.l. der primært anvender de apparater, der er påvirkelige overfor en reduktion af spændingen.

Installation af spændingssænkingsudstyr er en forholdsvis nem engangsinstallation, som kun medfører en relativt kortvarig strømafbrydelse.

På de øvrige udmeldte virkninger ved spændingssænkingsudstyr såsom: forbedring af asymmetrisk belastning, beskyttelse mod transienter, reduktion af harmonisk støj, reduktion af reaktiv effekttræk, er den generelle konklusion, at spændingssænkingsudstyr i mange tilfælde reelt medfører de nævnte virkninger. Spændingssænkingsudstyr er dog for flere af de nævnte virkninger ikke det mest optimale (bedst-til-prisen) redskab at vælge. F.eks. findes en del redskaber, der både billigere og effektivt beskytter mod transienter og reducerer harmonisk støj end spændingssænkingsudstyr, eksempelvis overspændingsafledere og filtre.

Udmeldingerne om forbedring af asymmetrisk belastning og reduktion af reaktiv effekttræk kan der ikke konkluderes noget entydigt om, da det både afhænger af, hvilken teknologi spændingssænkingsudstyret består af, og hvilke apparater der anvendes i den pågældende virksomhed.

Afslutningsvist skal det nævnes at der lovgivningsmæssigt er regler der skal overholdes ved installation af spændingssænkingsudstyr, heriblandt i stærkstrømsbekendtgørelsen og i arbejdsmiljølovens DS-700.

Overordnet kan det konkluderes, at spændingssænkingsudstyr er et værktøj, der - afhængig af virksomhedstype og sammensætning af virksomhedens installationer og apparater - kan bruges til at reducere energiforbruget og opnå energibesparelser, dog mod en reduceret ydelse fra den type af apparater, som giver energibesparelserne.

### 3 Teorien bag spændingssænkning

Anvendelse af spændingssænkning eller spændingsregulering til opnåelse af energibesparelser er et virkemiddel, der har været brugt gennem mange år. I Danmark er der dog en begrænset udbredelse af dette middel. Der er flere årsager hertil. Årsagerne er beskrevet i afsnit 5 i denne vejledning.

Indledningsvist vil teorien bag spændingssænkning blive beskrevet.

For vekselstrømssystemer (AC), der er langt den mest almindelige måde at levere elforsyning på, gælder følgende grundlæggende sammenhæng mellem effekt, strøm, spænding og fasevinkel som beskrevet herunder:

$$P_e = U_f \cdot I_f \cdot \cos(\varphi) \quad (\text{for en-fasede AC-systemer}) \quad (1)$$

$$P_e = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \cos(\varphi) \quad (\text{for tre-fasede AC-systemer}) \quad (2)$$

hvor:

- $P_e$  er effekten, apparater trækker under brug
- $U_f$  er fasespændingen som apparater forsynes med.
- $I_f$  er fasestrømmen, apparater trækker under brug.
- $\cos(\varphi)$  er fasevinklen mellem strøm og spænding

Spændingssænkingsudstyr sælges bl.a. på udsagnet: "Når spændingen reduceres (sænkes), så reduceres den effekt et apparat<sup>1</sup> optager".

Hvis formel (1) og (2) skal understøtte dette udsagn, så betyder det, at hvis spændingen reduceres med eksempelvis 10%, så skal strømmen stige med mindre end 10% under antagelse af, at  $\cos(\varphi)$  ikke ændres. Ellers vil der ikke kunne opnås en reduktion i den optagne effekt,  $P_e$ .

Energibesparelser ved spændingssænkning kort fortalt:

Hvorvidt der kan opnås energibesparelser ved at sænke spændingen afhænger af det tilsluttede apparat;

- For nogle apparater vil reduktionen i spændingen ikke føre til et reduceret effektoptag og dermed energibesparelser.
- For andre apparater vil reduktionen i spændingen føre til et reduceret effektoptag og dermed energibesparelser.

I afsnit 4 beskrives, hvilke apparater der kan opnås energibesparelser for ved brug af spændingssænkning.

---

<sup>1</sup> Et apparat defineres her som alle elektriske forbrugsgenstande (belysning, motorer, IT-udstyr m.m.)

### 3.1 Forsyningsspænding

Inden der ses på spændingssænkningens virkning på udvalgte apparater, er det relevant med en generel beskrivelse af regler for forsyningsspændingen.

I Danmark og det meste af Europa gælder følgende faste regler for den spænding elkunder må forsynes med. jf. Europa normen – EN 50160:

$$90\% \cdot U_{f,nom} < U_f < 110\% \cdot U_{f,nom} \quad (3)$$

Spændingen,  $U_f$ , skal altså ligge indenfor et spændingsinterval på  $\pm 10\%$  fra den nominelle spænding,  $U_{f,nom}$ . Dvs. når  $U_{f,nom} = 230V$ , så gælder der at:

$$90\% \cdot 230V < U_f < 110\% \cdot 230V \quad \Rightarrow \quad 207V < U_f < 253V$$

### 3.2 Sammenhæng mellem effekt og elforbrug

For at undgå sproglige misforståelser vedr. effekt og elforbrug, beskrives sammenhængen her:

Effekt betegnes,  $P_e$ , måles i [kW] og er udtrykt ved formel (1) og (2).

Effekten er en øjebliksværdi udtrykt ved sammenhængen af strøm og spænding og evt fasevinklen mellem strøm og spænding  $\cos(\varphi)$ .

Energiforbrug (i denne sammenhæng elforbrug) måles i [kWh] og er lig med den afsatte effekt målt over et bestemt tidsrum. Sammenhængen mellem elforbrug og effekt kan således forklares ved følgende eksempel:

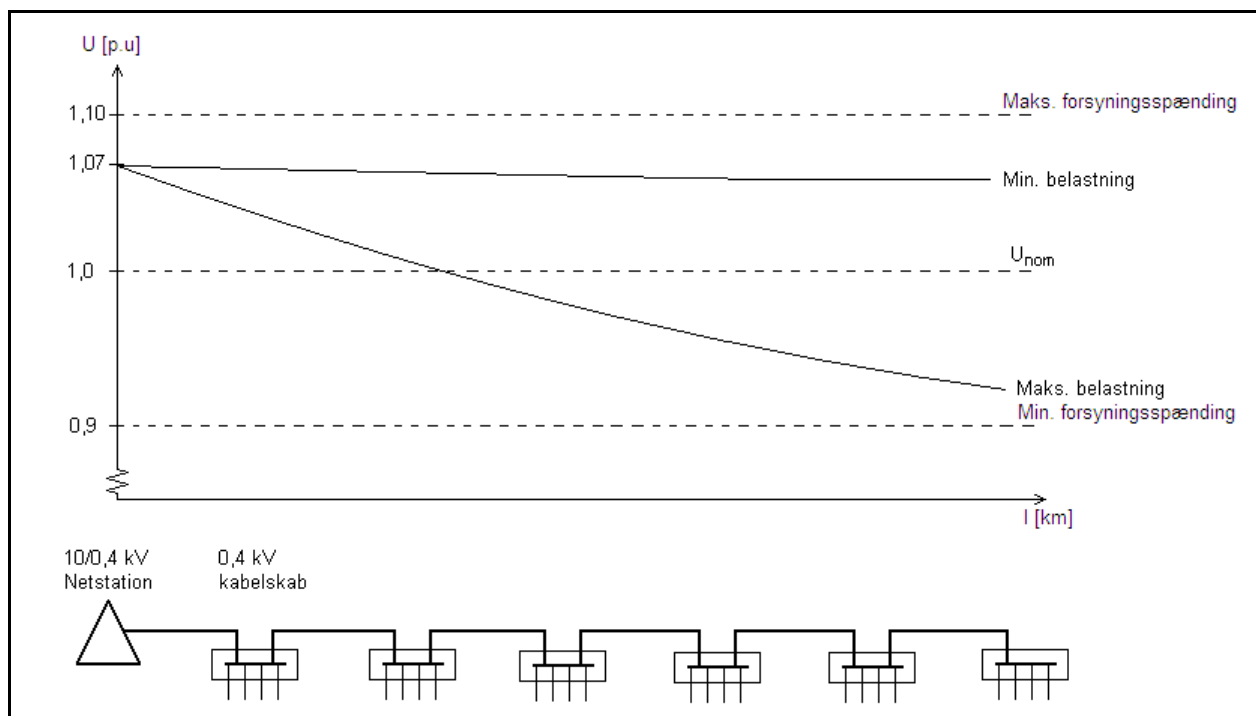
Trækker et apparat i gns. 2,4 kW i løbet af et tidsrum på to timer, så har elforbruget i de to timer været:

$$2,4kW \cdot 2hours = 4,8kWh$$

### 3.3 Nettilslutning

Det er ligeledes relevant at gå i detaljer om nettilslutning af virksomheder, da det typisk er virksomheder, der er aftagere af spændingssænkingsudstyr.

Det punkt en virksomhed er tilsluttet i elnettet har betydning for den spænding virksomheden forsynes med fra elnettet. Jo tættere virksomheden befinder sig på sekundærsiden af en ovenliggende nettransformer (10/0,4 kV transformation), desto højere spænding vil virksomheden generelt set blive forsynet med. Det er illustreret i nedenstående Figur 1.



Figur 1

Af Figur 1 ses, at de kabelskabe der befinder sig tæt på 10/0,4 kV netstationen får en højere forsyningsspænding end de kabelskabe, der ligger langt fra netstationen. Det skyldes, at forsyningsspændingen falder mod enden af 0,4 kV radialer. Bemærk, at der er stor forskel på forsyningsspændingen, når der er høj hhv lav belastning, hvilket bl.a. afhænger af elforbruget under hvert kabelskab.

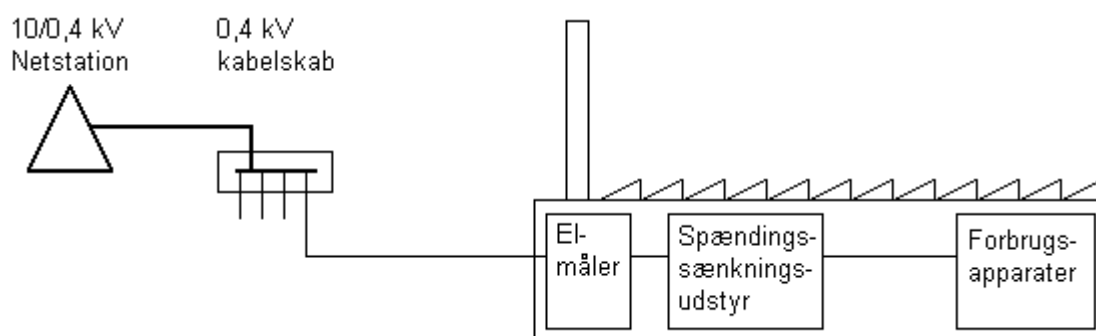
De kabelskabe der er tilsluttet tæt ved netstationen vil generelt blive forsynet med en højere spænding end den nominelle, mens de kabelskabe der ligger langt fra netstationen vil blive forsynet med en lavere spænding end den nominelle. Det betyder, at den spænding en virksomhed generelt forsynes med enten kan være lidt højere eller lidt lavere end den nominelle forsyningsspænding.

Virkningen af - og potentialet for - spændingssænkning vil således være afhængig af, hvor i elnettet en virksomhed tilfældigvis er tilsluttet.

### 3.4 Tilslutning af spændingssænkingsudstyr

Spændingssænkingsudstyr tilsluttes efter virksomhedens elmåler. For at give det fornødne overblik er dette illustreret i nedenstående Figur 2. Ved tilslutning som vist i Figur 2 sænker virksomheden på eget ansvar spændingen til sine forbrugsapparater (maskiner, belysning, IT-udstyr m.m.).





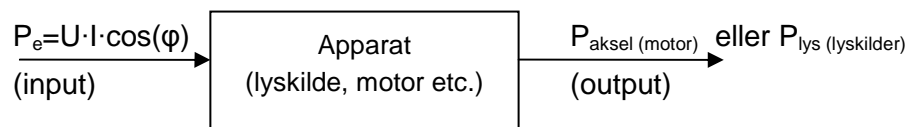
**Figur 2**

## 4 Virkning af spændingssænkning i praksis

Når virkningen af spændingssænkning skal vurderes, er det vigtigt at inddrage følgende:

Påvirkes input til et apparat vha. spændingssækningsudstyr således, at der opnås energibesparelser, så påvirkes output også

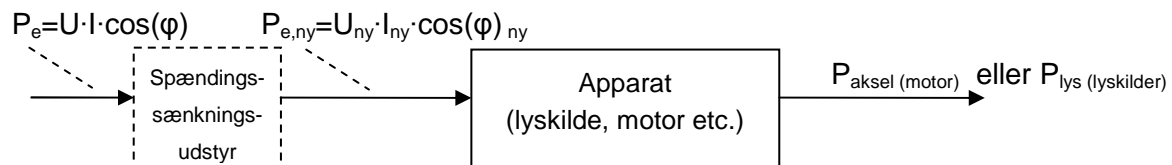
I forhold til elektriske apparater kan det illustreres på følgende måde:



Figur 3

Dvs. sænkes spændingen til apparatet vha. spændingssækningsudstyr, hvormed der opnås energibesparelser, betyder det, at input  $P_e$  er reduceret, og dermed vil output  $P_{\text{aksel}}$  også være reduceret, (da spændingssækningsudstyret ikke selv tilfører energi til apparatet).

Energibesparelser opnået ved spændingssænkning kommer af en reduktion i input  $P_e$  og fører til en reduktion i output, f.eks. den mekaniske akseffekt,  $P_{\text{aksel}}$ , leveret af en motor.



Figur 4

### 4.1 Virkning af spændingssænkning

Virkningen af spændingssænkning varierer alt efter, hvilke apparater forsyningsspændingen sænkes for. I dette afsnit gennemgås spændingssæknings virkning på udvalgte apparater. Apparater som generelt udgør en betydelig del af elforbruget i virksomheder er:

- Lyskilder
- Motorer
- IT-udstyr

Heraf er der naturligvis en række forskellige funktioner som motorerne leverer mekanisk energi til. Det kan være transportbånd, ventilation, kølekompressorer, pumper, elevatorer, valsemaskiner m.m.

### 4.1.1 Virkning af spændingssænkning på lyskilder

Spændingssænkningens virkning på lyskilder er stærkt afhængig af, hvilken type lyskilde der fokuseres på. I dette afsnit gennemgås spændingssænkningens virkning på lyskilderne:

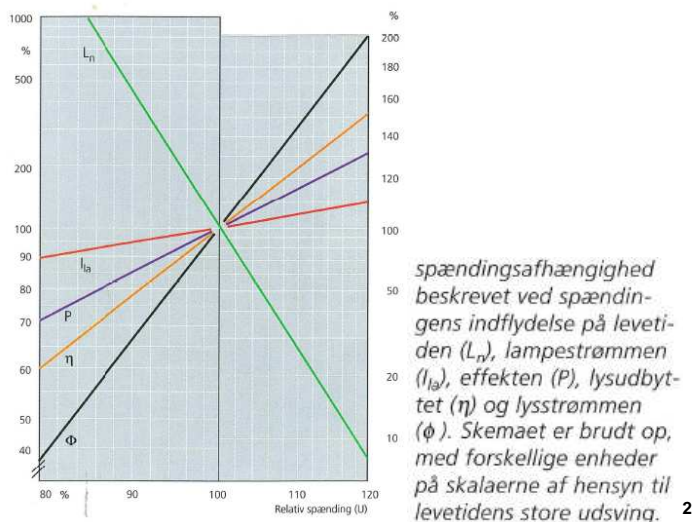
- Glødepærer og Halogenpærer
- Lysstofrør med impedans forkobling
- Lysstofrør med HF-forkobling (herunder sparepærer)
- HID-belysning
- LED-pærer

#### 4.1.1.1 Spændingssænkningens virkning på glødepærer og halogenpærer

Spændingssænkning indenfor det tilladte spændingsinterval har følgende virkning på glødepærer og halogenpærer med jernkernetransformer (spændingssænkning virker ikke for halogenpærer med elektronisk strømforsyning):

- Input: Effektrækket [W] reduceres, hvorfor Elforbruget [kWh] reduceres
- Output: Lysstrømmen [lumen] reduceres

Dette er vist i Figur 5 herunder



Figur 5

Heraf ses, at den generelle sammenhæng er således, at hvis spændingen reduceres med 10%, så falder effektrækket,  $P$ , generelt med 15%, mens lysstrømmen,  $\phi$ , reduceres med 35%. Man bør ikke hænge sig for meget i de konkrete %-tal, da de vil afvige ml. forskellige typer af glødepærer og forskellige typer af halogenpærer.

Da effektrækket er konstant, vil der således være en energibesparelse på 15%, samt en reduktion i lysstrømmen på 35% ved en reduktion af spændingen på 10%.

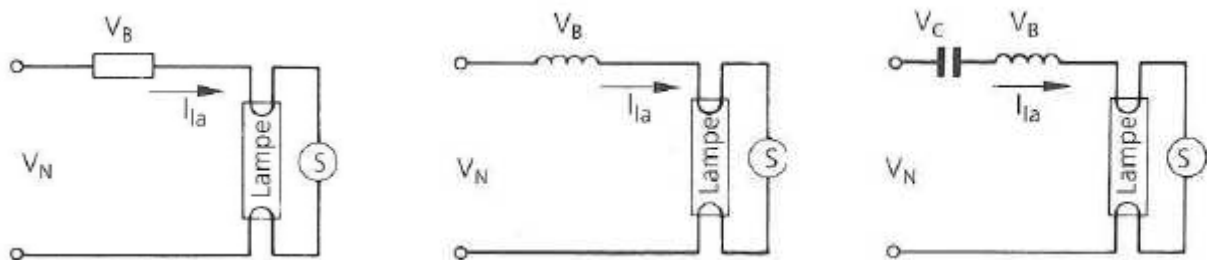
<sup>2</sup> Dansk Lysteknisk selskab "Elektriske lyskilder", ISBN: 87-982236-7-4

Som kunde skal man således være klar over, at energibesparelserne opnået ved spændings-sænkning kommer med en omkostning, nemlig mindre lys fra kundens glødepærer og halogen-pærer med jernkernetransformer. Kunden skal også vide, at glødepærer ikke må sælges i EU længere. Endvidere skal både DS 700, som stiller krav til belysning, og bygningsreglementet som helhed, altid overholdes.

#### 4.1.1.2 Spændingssænkningens virkning på lysstofrør med impedans forkobling

Spændingssænkning indenfor det tilladte spændingsinterval har følgende virkning på lysstofrør med impedans forkobling:

- Input: Effektrækket [W] reduceres, hvorfor Elforbruget [kWh] reduceres
- Output: Lysstrømmen [lumen] reduceres



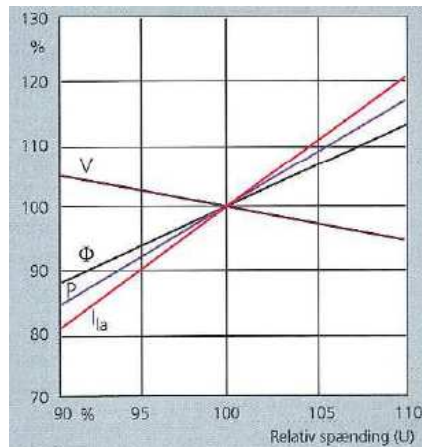
Figur 6

Herover ses eksempler på lysstofrør med impedans forkobling. Her ses lysstofrør med hhv. en ohmsk-, induktiv- og kombineret forkobling.

Af Figur 7 ses, hvordan lysstofrør med impedans forkobling påvirkes af spændingssænkning.

Det ses, at når spændingen reduceres med 10%, så falder effektrækket,  $P$ , generelt med 15%, mens lysstrømmen,  $\phi$ , reduceres med 12%. Man bør ikke hænge sig for meget i de konkrete %-tal, da de vil afvige ml. forskellige typer af lysstofrør.

Energibesparelsen opnås også for lysstofrør med impedans forkobling, men med mindre lysstrøm/lys udbytte som resultat. Det bemærkes, at indenfor det tilladte spændingsinterval, kan effektrækket,  $P$ , reduceres med mere end lysstrømmen,  $\phi$ . Reduceres spændingen yderligere (eksempelvis med 50%) vil lysstrømmen dog falde hurtigere end effektrækket, da der er grænser for, hvor lav spænding lysstofrørene kan fungere ved.

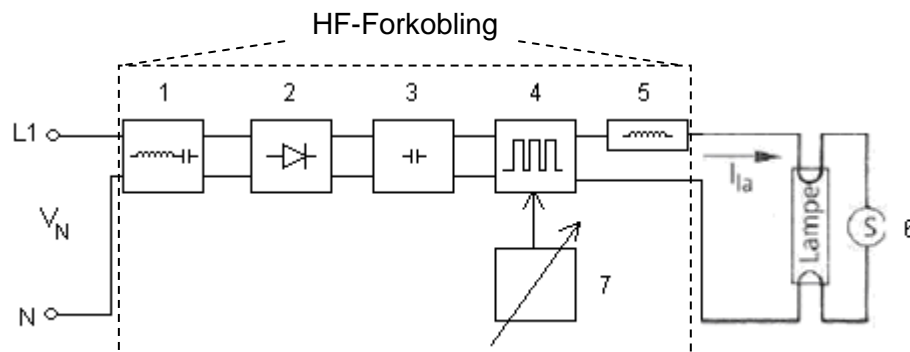


Figur 7 <sup>3</sup>

#### 4.1.1.3 Spændingssænkningens virkning på lysstofrør med HF-forkobling

Sænkes spændingen til lysstofrør med HF-forkobling indenfor det tilladte spændingsinterval, er resultatet:

- Input: Effekttrækket [W] forbliver konstant, hvorfor Elforbruget [kWh] konstant
- Output: Lysstrømmen [lumen] konstant



Figur 8

I Figur 8 herover ses en principskitse af et lysstofrør med HF-forkobling. Lysstofrør med HF-forkobling består af følgende dele:

1. Lavpasfilter
2. Ensretter (AC netspænding til DC)
3. Bufferkondensator (til udglatning af DC spændingen fra ensretteren)
4. En HF vekselretter (DC til AC ved højere frekvens end netspændingen)
5. Balastspole
6. Elektronisk starterudstyr
7. Reguleringsudstyr

Det elektroniske reguleringsudstyr i HF-forkoblingen vil ved spændinger indenfor det tilladte spændingsinterval sikre, at lysstofrøret, uanset spænding, får den samme effekt og dermed

<sup>3</sup> Dansk Lysteknisk selskab "Elektriske lyskilder", ISBN: 87-982236-7-4

samme elforbrug. En spændingssænkning ved HF-forkoblede lysstofrør udreguleres blot af HF-forkoblingen og der kan således ikke hentes energibesparelser ved spændingssænkning på HF-forkoblede lysstofrør.

#### **4.1.1.4 Spændingssæknings virkning på HID-belysning**

Sænkes spændingen til HID-lyskilder med impedans forkobling indenfor det tilladte spændingsinterval, er resultatet:

- Input: Effekttrækket [W] reduceres, hvorfor Elforbruget [kWh] reduceres
- Output: Lysstrømmen [lumen] reduceres

Sænkes spændingen til HID lyskilder med HF-forkobling indenfor det tilladte spændingsinterval, er resultatet:

- Input: Effekttrækket [W] forbliver konstant, hvorfor Elforbruget [kWh] konstant
- Output: Lysstrømmen [lumen] konstant

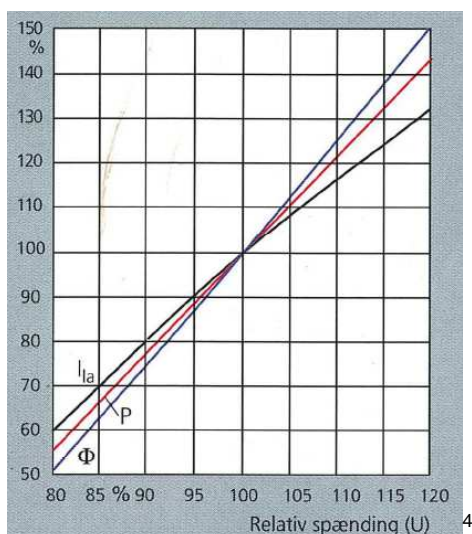
HID-belysning (high-intensity-discharge) anvendes mange steder i forbindelse med vejbelysning og parkeringsanlæg. De mest almindelige HID-lyskilder er kviksølvlamper (som dog også udfases), metalhalogenlamper, lavtryks-natrium lamper og højtryksnatrium lamper.

For HID-lyskilder er der generelt samme sammenhæng ml. energibesparelser, reduktion i lysstrøm og spændingssænkning som for lysstofrør, se Figur 9 til Figur 12 herunder.

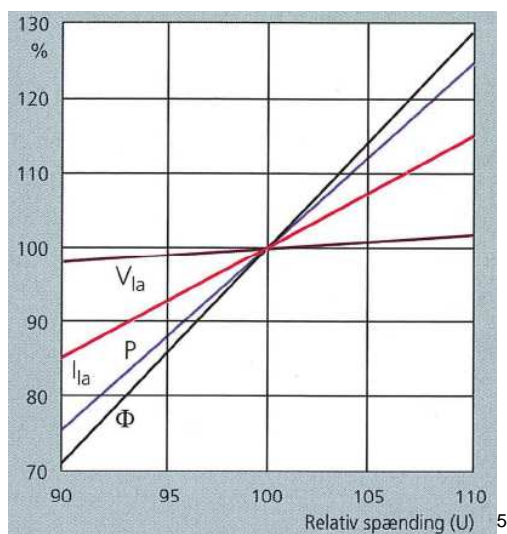
Man bør dog ikke hænge sig for meget i de konkrete %-tal i figurerne, da de vil afvige ml. forskellige typer af HID-lyskilder.

Ved HID-belysning med impedans forkobling er der energibesparelser at hente ved spændingssænkning, mod en reduktion i lysstrømmen.

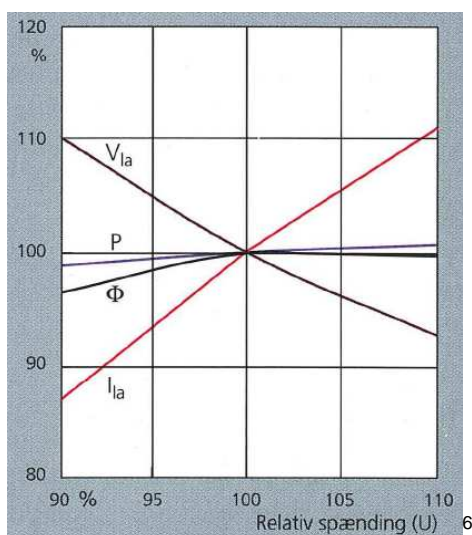
Ved HID-belysning med HF-forkobling er der ingen energibesparelser at hente ved spændingssænkning.



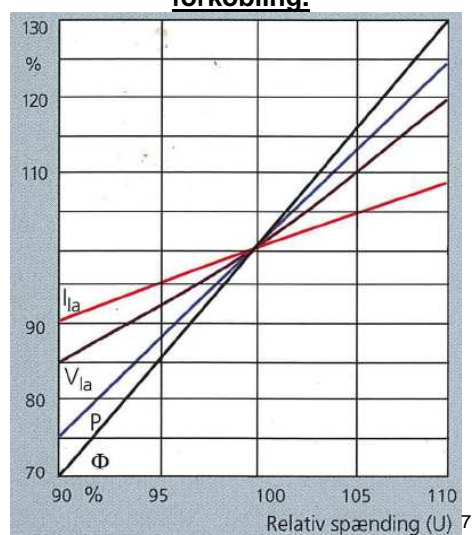
Figur 9: Generel sammenhæng mellem effektforbrug (P), lysstrøm ( $\Phi$ ) og lampestrøm ( $I_{la}$ ), ved variabel spænding for kviksøvlamper med konventionel forkobling.



Figur 10: Generel sammenhæng mellem effektforbrug (P), lysstrøm ( $\Phi$ ), lampestrøm ( $I_{la}$ ) og lampespænding ( $V_{la}$ ) ved variabel spænding for metahalogenlamper med konventionel forkobling.



Figur 11: Sammenhæng mellem effektforbrug (P), lysstrøm ( $\Phi$ ), lampestrøm ( $I_{la}$ ) og lampespænding ( $V_{la}$ ) ved variabel spænding for lavtryks-natrium lamper med konventionel forkobling.



Figur 12: Sammenhæng mellem effektforbrug (P), lysstrøm ( $\Phi$ ), lampestrøm ( $I_{la}$ ) og lampespænding ( $V_{la}$ ) ved variabel spænding for højtryks-natrium lamper med konventionel forkobling.

<sup>4</sup> Dansk Lysteknisk selskab "Elektriske lyskilder", ISBN: 87-982236-7-4

<sup>5</sup> Dansk Lysteknisk selskab "Elektriske lyskilder", ISBN: 87-982236-7-4

<sup>6</sup> Dansk Lysteknisk selskab "Elektriske lyskilder", ISBN: 87-982236-7-4

<sup>7</sup> Dansk Lysteknisk selskab "Elektriske lyskilder", ISBN: 87-982236-7-4

#### 4.1.1.5 Spændingssænkningens virkning på LED-pærer

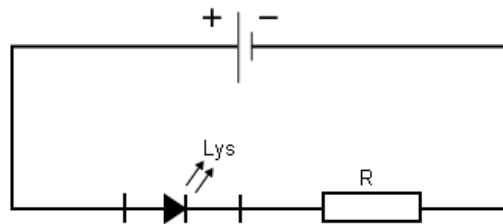
Sænkes spændingen til LED-pærer indenfor det tilladte spændingsinterval, er resultatet:

- Input: Effekttrækket [W] forbliver konstant, hvorfor Elforbruget [kWh] konstant
- Output: Lysstrømmen [lumen] konstant

LED-pærer skal forsynes med DC-spænding, hvilket betyder, at der foran LED-pærer skal sidde en AC-DC konverter, der konverterer AC spændingen fra stikkontakten om til DC-spænding inden den forsynes til LED-pæren.

DC-spændingen til en LED-pære skal imidlertid være betydeligt lavere end 230 V, hvilket betyder, at der ikke kan nøjes med en konventionel Diode-bro til ensretning, men at det er nødvendigt med en Switch-Mode-Power-Supply (SMPS), eksempelvis en Flyback AC/DC-converter, der, udover at konvertere AC-spændingen til DC-spænding, også reducerer den til under 12 V.

En SMPS, AC/DC-converter vil indenfor det tilladte spændingsinterval kompensere for en spændingssænkning på AC-siden og sørge for, at DC-spændingen til Dioden i LED'en er konstant. Det betyder, at spændingssænkning ikke vil have nogen effekt på LED-pærer.

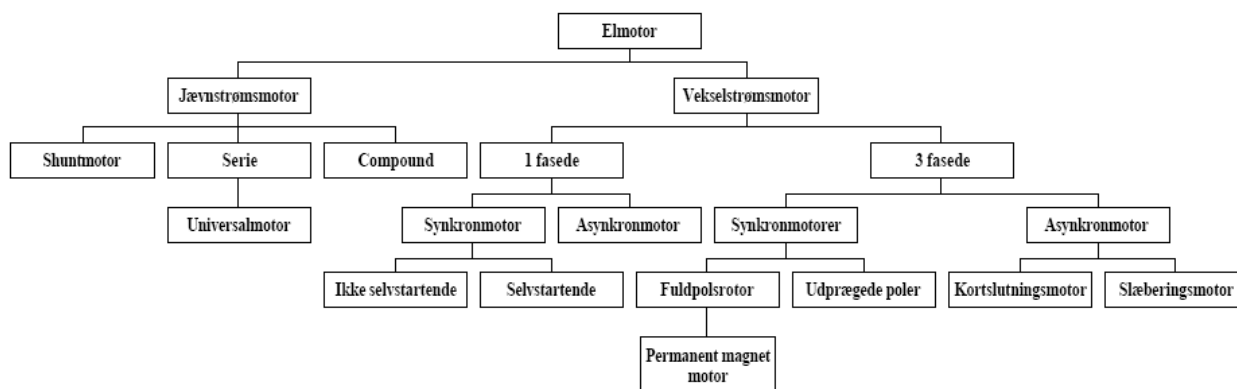


Figur 13



## 4.1.2 Virkning af spændingssækning på motorer

Virkingen af spændingssækning på motorer er afhængig af motortypen. I Figur 14 er vist en oversigt over forskellige typer motorer. Af disse er asynkronmotorer langt de mest anvendte og findes i ca. 95 % af alle motordrev. Fokus er derfor rettet mod, hvordan asynkronmotorer påvirkes af spændingssækning.



Figur 14: Mest almindelige elmotortyper<sup>8</sup>

Input til asynkronmotorer er:

$$P_e = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \cos(\varphi) \quad (\text{for tre-fasede motorer})$$

Mens output fra asynkronmotorer er:

$$P_{aksel} = M_r \cdot \omega_r \quad (4)$$

Hvor:

$$\begin{aligned} P_{aksel} &= \text{Akseffekten} \\ M_r &= \text{Akselmomentet} \\ \omega_r &= \text{Akslens/rotorens vinkelhastighed} \end{aligned}$$

Akseffekten er den mekaniske effekt på motorens akse, der kan anvendes til at udføre diverse arbejdsprocesser, og benævnes her,  $P_{aksel}$ .

Sammenhængen mellem input og output, til og fra en asynkronmotor er givet ved:

$$P_e = P_{svt} + P_{iron} + P_{vent} + P_{frik} + P_{tillæg} + P_{aksel} \quad (5)$$

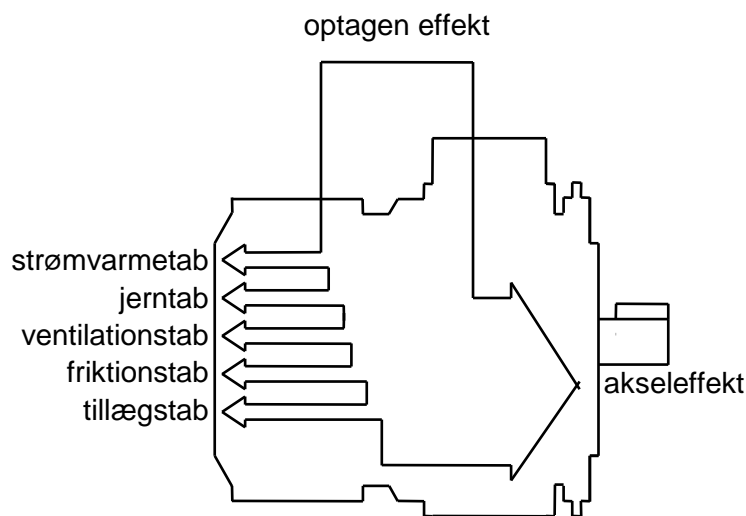
hvor:

$$P_{svt} = \text{Strømvarmetab} \quad \text{Tab i stator og rotor pga. elektrisk modstand.}$$

<sup>8</sup> DEFU: "Håndbog i energirådgivning – Elmotorer, motorstyringer og transmissioner", jan. 2000

$P_{\text{iron}}$	= Jerntab	Hysteresetab og hvirvelstrømstab. Hysteresetabet opstår som følge af, at jernet magnetiseres med vekselstrøm og dermed skal ommagnetiseres (100 gange i sekundet ved en 50 Hz forsyning). Hvirvelstrømstabe opstår, fordi magnetfeltet inducerer elektriske spændinger i jernkernen som i enhver anden leder.
$P_{\text{vent}}$	= Ventilationstab	Tab pga. den luftmodstand, som motorens køleventilator udsættes for.
$P_{\text{frik}}$	= Friktionstab	Tab i de kuglelejer som rotoren hviler i.
$P_{\text{tillæg}}$	= Tillægstab	Tab pga. mætningsfænomener i jernet.

Denne sammenhæng er også illustreret i nedenstående Figur 15.



**Figur 15 Illustration af tabelementer i asynkronmotoren**

Virkingen af spændingssænkning på en asynkronmotor er afhængig af, hvilken type af belastning motoren skal trække. Motorbelastninger kan opdeles i fire kategorier:

- Faldende belastning
- Konstant belastning
- Lineært stigende belastning
- Kvadratisk stigende belastning

Af Figur 16 ses en illustration af sammenhængen mellem moment og omdrejningstal for asynkronmotoren ved de 4 forskellige belastningstyper. Det ses, at en reduktion af spændingen til en asynkronmotor fører til lavere omdrejningstal uanset belastningstype og en ændring i moment, der er afhængig af belastningstypen.

Da akseleffekten som nævnt er givet ved:

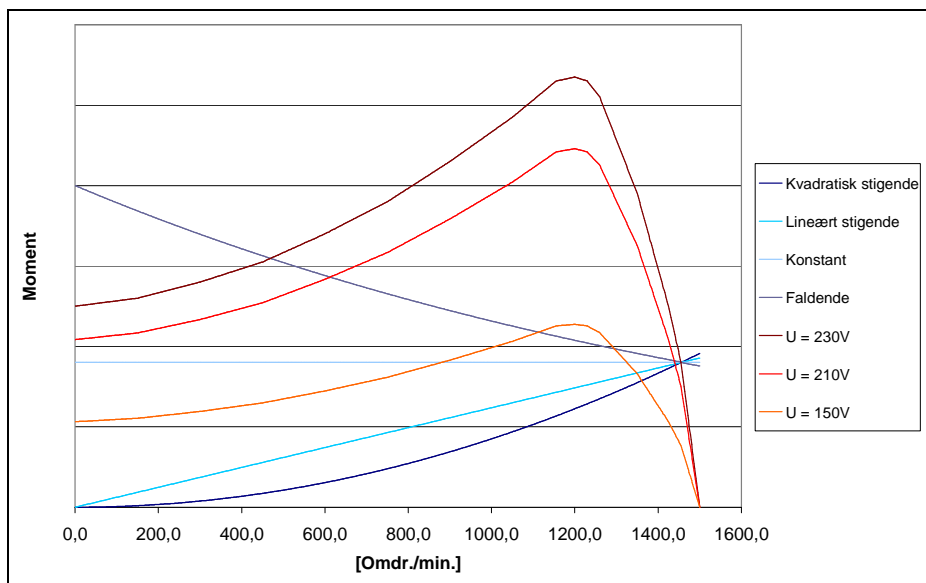
$$P_{\text{aksel}} = M_r \cdot \omega_r \quad (6)$$

Så medfører en spændingsreduktion altså en ændring i den akseffekt asynkronmotoren leverer, som er afhængig af, hvilken belastningstype motoren driver.

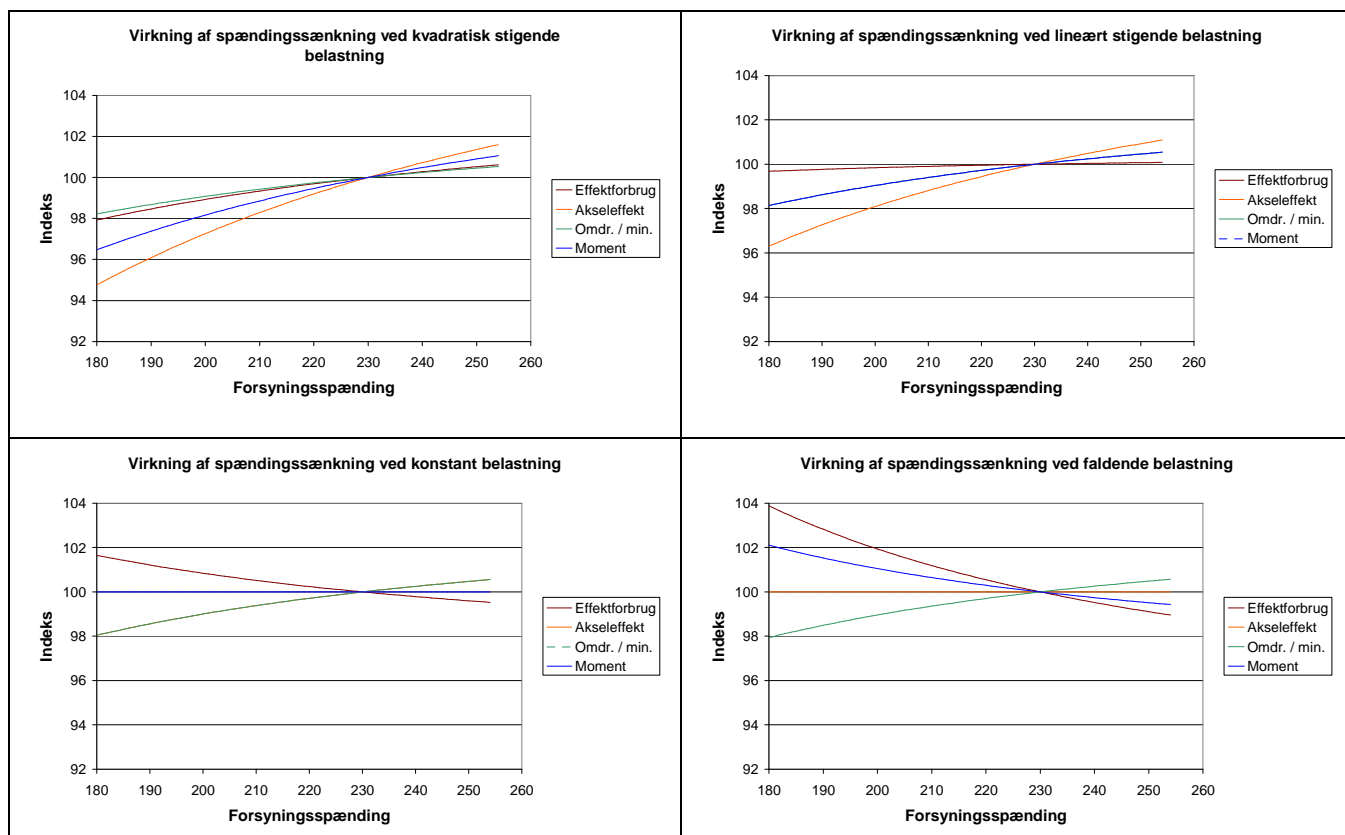
På Figur 17 er den generelle sammenhæng mellem effektforbrug, akseffekt, omdrejninger pr. minut og momentet vist. De konkrete værdier der kan aflæses er naturligvis afhængige af motorens design, størrelsen af belastningstypen der skal drives, motortab m.m. Man bør således ikke hænge sig i de konkrete indekstal.

Det ses, at der generelt er størst potentiale for at opnå en reduktion i effektforbruget, og dermed for at hente energibesparelser, ved spændingssænkning for asynkronmotorer uden frekvensomformer, der driver kvadratisk stigende belastningstyper (ventilatorer o.l.). Dog ses også, at energibesparelserne medfører en reduktion i output, altså den ydelse motoren leverer udtrykt ved akseffekten.

For de tre andre belastningstyper er der mindre eller ikke noget potentiale for at hente energibesparelser. Der bør derfor fokuseres på asynkronmotorer, der driver kvadratisk stigende belastningstyper.



Figur 16



Figur 17

Det skal bemærkes, at flere og flere asynkronmotorer i dag drives vha. en frekvensomformer. Disse motorer er der ikke noget energibesparelsespotentialer for ved brug af spændingssænkning. Frekvensomformeren vil kompensere for en evt. reduceret spænding, hvorfor selve asynkronmotoren ikke vil opleve nogen ændring i forsyningen af energi.

### 4.1.3 Virkning af spændingssænkning på IT-udstyr

Virningen af spændingssænkning på IT-udstyr er inkluderet i denne vejledning, da IT-udstyr udgør en stadig større del af det danske elforbrug.

Der er imidlertid ikke noget generelt potentiale for energibesparelser til IT-udstyr o.l.

Computere o.l. har en indbygget strømforsyning (For bærbare computere er denne som regel placeret som den lille klods på strømkablet). Strømforsyningens opgave er at konvertere forsyningsspændingen fra stikkontakten på 230 V AC til 12 V DC spænding, da computeren er afhængig af en spænding på 12 V DC for at kunne fungere. Netop af denne årsag er strømforsyningerne designet til at kompensere for ændringer i spændingen fra stikkontakten og sikre, at der altid leveres 12 V DC til computeren. Det betyder, at spændingssænkning generelt ikke vil føre til energibesparelser fra computere.

Mange strømforsyninger til computere kan således sikre 12 V DC til computeren selv ved en forsyningsspænding på 100 V AC. Årsagen hertil er, at så kan samme strømforsyning benyttes både i Europa og USA, da forsyningsspændingen fra stikkontakten er 110 V i USA.

Skærme og monitorer "lyser" vha. indbyggede lysstofrør. Disse er HF-forkoblede således, at der let kan skrues op og ned for lysstyrken, efter brugerens behov. Som nævnt i afsnit 4.1.1 er der ikke potentiale for at hente energibesparelser fra HF-forkoblede lysstofrør.

Pga. den indbyggede elektronik i IT-udstyr er der således generelt ikke noget potentiale for at hente energibesparelser fra IT-udstyr o.l.

#### 4.1.4 Sammenfatning af spændingssænkings virkning på udvalgte apparattyper

##### Lyskilder

I nedenstående Tabel 1 er resultaterne af spændingssænkings virkning på de mest almindelige lyskilder vist.

Lyskilder	Effektforbrug [Input]	Lysstrøm [Output]	Potentiale
Gløde- og halogenpærer med jernkernetransformer	Reduceres	Reduceres	Ja
Lysstofrør med impedans forkobling	Reduceres	Reduceres	Ja
Lysstofrør med HF-forkobling	Konstant	Konstant	Nej
HID-belysning med impedans forkobling	Reduceres	Reduceres	Ja
HID-belysning med HF-forkobling	Konstant	Konstant	Nej
LED-pærer	Konstant	Konstant	Nej

Tabel 1

Der er således potentiale for at hente energibesparelser fra:

- Gløde- og halogenpærer med jernkernetransformer
- Lysstofrør med impedans forkobling
- HID lamper med impedans forkobling

Dog mod et reduceret output i form af mindre lysstrøm.

##### Motorer

I nedenstående Tabel 2 er resultaterne af spændingssænkings virkning på de mest almindelige motorer (asynkronmotorer) vist.

Asynkronmotorer uden frekvensomformer	Effektforbrug [Input]	Akseleffekt [Output]	Potentiale
Kvadratisk stigende belastningstype	Reduceres	Reduceres	Ja
Lineært stigende belastningstype	Reduceres	Reduceres	Ja
Konstant belastningstype	Øges	Reduceres	Nej
Faldende belastningstype	Øges	Konstant	Nej

Tabel 2

Der er potentiale for at hente energibesparelser fra asynkronmotorer uden frekvensomformer med:

- Kvadratisk stigende belastningstype
- Lineært stigende belastningstype

Hvorafor potentialet er klart størst for asynkronmotorer, der driver en kvadratisk stigende belastningstype. Dog gælder for begge, at energibesparelserne hentes med et reduceret output i form af mindre akseffekt.

### **IT-udstyr**

Generelt ikke noget potentiale for at hente energibesparelser ved spændingssænkning.

## 4.2 Øvrige udmeldte virkninger

Flere producenter af spændingssænkingsudstyr har meldt ud, at deres udstyr, ud over at kunne hente energibesparelser ved spændingssænkning, har følgende gavnlige virkninger:

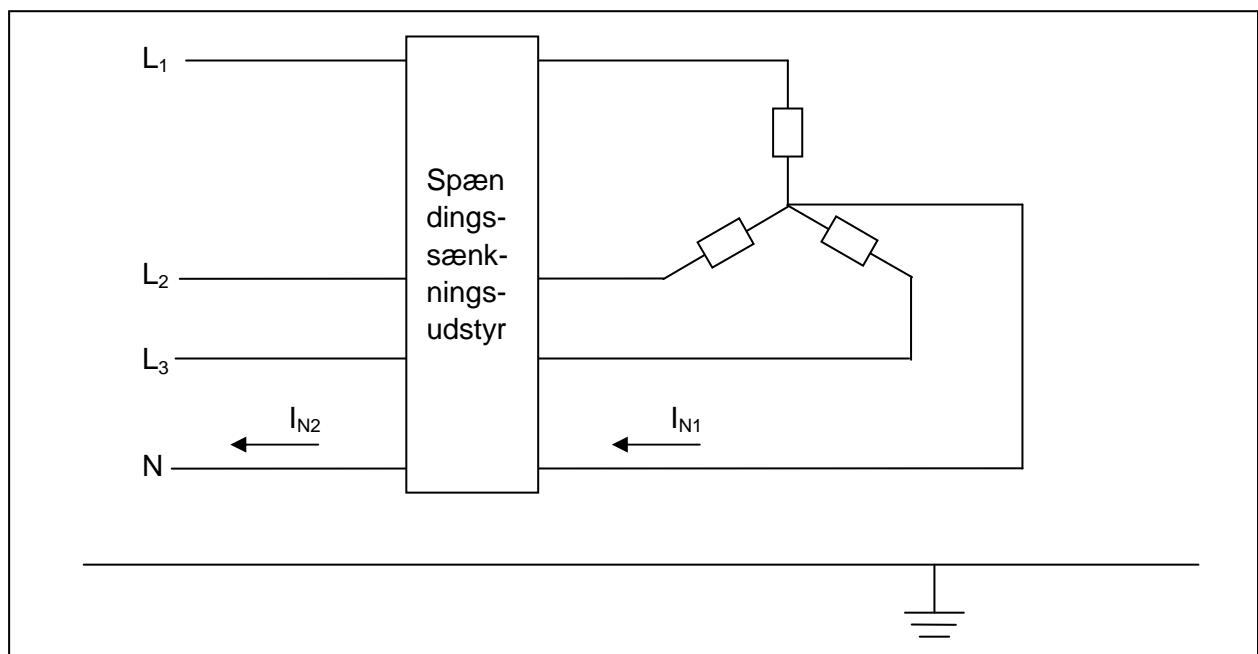
- Forbedring af asymmetrisk belastning
- Beskyttelse mod transienter
- Reduktion af harmonisk støj
- Reduktion af reaktiv effekt træk

I dette afsnit vil det blive gennemgået, om og hvordan disse virkninger realiseres af udstyret.

### 4.2.1 Forbedring af asymmetrisk belastning

Asymmetrisk belastning er et udtryk for, at de tre faser ( $L_1$ ,  $L_2$  og  $L_3$ ) en virksomhed forsynes med, ikke er belastet ens. Strømtrækket (og ikke nødvendigvis spændingen) i de tre faser er således forskellig eller asymmetrisk.

Eksempelvis kan  $L_1$  være belastet med 8kW, mens  $L_2$  er belastet med 7 kW, og  $L_3$  er belastet med 5 kW. Hvis overføringskapaciteten er 10 kW pr. fase, så er  $L_1$  80% belastet,  $L_2$  70% belastet, og  $L_3$  50% belastet, såfremt  $\cos(\varphi) = 1$ . Belastningen af de tre faser vil herved være asymmetrisk.



Figur 18

Ved at indsætte spændingssænkingsudstyr i en installation som apparaterne på alle tre faser reagerer ens på, vil der inde i virksomheden (til højre for spændingssænkingsudstyret i Figur 18) fortsat være samme forholds-mæssige asymmetriske belastning mellem faserne. Med anta-



gelsen om ens reaktion på spændingssænkning i de tre faser vil den forholdsmæssige asymmetri inde i virksomheden ikke blive forbedret.

Tages der imidlertid udgangspunkt i passiv spændingssænkingsudstyr i form af en seriekoblet autotransformer, hvori der sidder en delta-koblet tertiær vikling på sekundærsiden (som vist i teknisk blad fra én af producenterne af spændingssænkingsudstyr), så vil denne tertiær vikling dog reducere den strøm, der løber ud af virksomheden via returlederen,  $N$ , ( $I_{N2} < I_{N1}$ ).

Da størrelsen af strømmen i returlederen,  $N$ , bl.a. er et udtryk for, hvor stor asymmetri der er i belastningen, så vil en reduceret strøm i returlederen forbedre asymmetrien set udefra og ind på virksomheden (på venstre side af spændingssænkingsudstyret).

Asymmetrien forbedres således set udefra og ind på virksomheden.

Reagerer apparaterne tilsluttet de enkelte faser forskelligt på spændingssænkningen kan asymmetrien inde i virksomheden blive forbedret, hvis effektforbruget forholdsvis reduceres mere i de to hårdest belastede faser sammenlignet med den mindst belastede fase. Dette afhænger dog af, hvilke apparater der er tilsluttet de enkelte faser, hvorfor asymmetrien inde i virksomheden reelt også kunne forværres.

Kan spændingssænkingsudstyret imidlertid regulere spændingen i de enkelte faser, hver for sig, bør det imidlertid være muligt at styre spændingssænkingsudstyret efter at mindske asymmetrien i belastningen. Hvorvidt det er muligt er uvist og der henvises til leverandører af spændingssænkingsudstyr.

Hvorvidt alt spændingssænkingsudstyr er opbygget som en seriekoblet autotransformer, hvori der sidder en delta-koblet tertiær vikling på sekundærsiden, vides desværre ikke, så det er ikke med den forhåndenværende viden til at sige om ovenstående er en generel virkning for spændingssænkingsudstyr.

#### **4.2.2 Beskyttelse mod transienter**

Spændingssænkingsudstyret indsættes så vidt vides i serie, som vist i Figur 2. Det betyder i praksis, at der indsættes yderligere en serieimpedans mellem elnettet og en virksomheds apparater.

En serieimpedans vil altid i en eller anden grad dæmpe /reducere størrelsen af transienter. En transient der kommer udefra elnettet, pga. kortslutninger, lynnedslag i luftledninger m.m., vil derfor i en eller anden grad blive dæmpet af spændingssænkingsudstyret, da det udgør en serieimpedans.

Hvor stor dæmpningen er, afhænger af, hvor stor en serieimpedans spændingssænkingsudstyret repræsenterer. Det er således korrekt, når leverandører af spændingssænkingsudstyr siger, at transienternes størrelse reduceres vha. deres udstyr.

Det er værd at hæfte sig ved, at transienter normalt skyldes forhold i en netkundes egen installation. Transienterne forårsages typisk af kobling med motorer, relæer, lysstofarmaturer og lign.

Det er således normalt kundens egne apparater, der er skyld i transienternes opståen, se evt. DEFU Rekommendation 16. Da spændingssænkingsudstyret sidder lige efter elmålere altså i begyndelsen af installation betyder det at transienter der opstår internt i installationen ved et apparat ikke blive dæmpet af spændingssænkingsudstyr overfor de øvrige apparater internt i installationen. For transienter opstået internt i en installation, har spændingssænkingsudstyr således ingen betydning.

Det skal også bemærkes at, ved design af apparater tages der hensyn til, at transiente overspændinger kan forekomme. For CE-mærkede apparater testes immuniteten overfor transiente overspændinger bl.a. iht. standarden IEC 61000-4-4. Hensigten er at sikre, at apparaterne har en rimelig – men ikke en fuldstændig -modstandsdygtighed overfor de transiente overspændinger, der normalt vil kunne forekomme.

For særligt følsomt eller kostbart udstyr kan det være hensigtsmæssigt at etablere særlig beskyttelse mod transienter vha. overspændingsafledere (ZnO-afledere, VDR, gnistgab m.m.). Overspændingsafledere kan fås betydeligt billigere end spændingssænkingsudstyr. Ønsker en virksomhed beskyttelse mod transienter, så bør virksomheden vurdere, om det ikke skal være en overspændingsafleder, der skal investeres i.

### **4.2.3 Reduktion af harmonisk støj**

Reduktion af harmonisk støj vil generelt medføre mindre slid på maskiner og et let reduceret energiforbrug. Reduktion af harmoniske er således ønskværdigt. Harmonisk støj kommer fra visse typer apparater, bl.a. apparater indeholdende elektronik. Harmonisk støj er således ikke noget der kan fjernes helt, men den kan dæmpes.

Som nævnt i afsnit 4.2.2 udgør spændingssænkingsudstyret en serieimpedans, når det er indsat i kundens installation. Enhver serieimpedans vil dæmpe udefra kommende harmoniske overtoner i en eller anden grad.

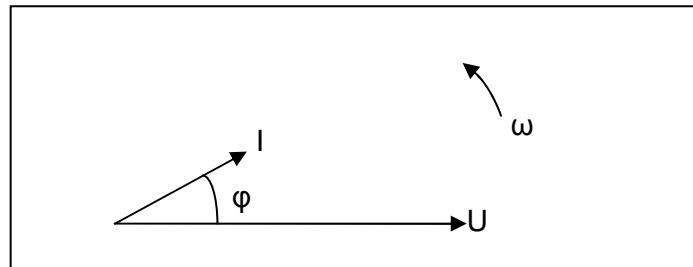
Da spændingssænkingsudstyret typisk er lav-impedant for at holde udstyrets egetforbrug lavt gælder, at harmoniske overtoner, der kommer ude fra nettet og ind mod kundens installation, kun i mindre grad reduceres af spændingssænkingsudstyret.

For så vidt angår overtoner genereret i installationen af kundens egne apparater, vil indføjelser af en serieimpedans i nogen grad føre til, at den harmoniske støj inde i kundens installation forøges.

Serieimpedansen har ikke væsentlig betydning for emissionen af overtoner ud i nettet, men ved at vælge særlige transformerkoblinger, herunder en delta-koblet tertiær vinding, kan emissionen af visse overtoner (3., 6. 9. osv.) fra installationen mindskes betydeligt. Denne virkning fås dog også længere oppe i elnettet ved de traditionelt delta-stjerne koblede 10/0,4 kV transformere i det almindelige elforsyningsnet.

#### 4.2.4 Reduktion af reaktiv effekttræk

Reaktiv effekt findes i AC systemer og skyldes kort fortalt, at elektriske og magnetiske felter i elforsyningens komponenter konstant op- og aflades i takt med 50 Hz frekvensen. Elektriske og magnetiske felter er uundgåeligt tilstede i elforsyningens komponenter. Den reaktive effekt repræsenterer således den energi, der skal til ved denne konstante op- og afladning.



Figur 19

Den reaktive effekt,  $Q$ , kan bestemmes ud fra vinklen,  $\varphi$ , mellem strøm og spænding. Faktoren  $\cos(\varphi)$ , som nævnt tidligere, bruges til at beregne, hvor meget aktiv effekt,  $P$ , der trækkes fra et apparat. Var denne faktor udskiftet med  $\sin(\varphi)$ , ville man få beregnet andelen reaktiv effekt,  $Q$ , der trækkes fra samme apparat.

Der findes således to dele typer effekt i AC systemer; den aktive og den reaktive. Disse kan udtrykkes vha. parameteren tilsyneladende effekt,  $S$ :

$$P = S \cdot \cos(\varphi) \quad (7)$$

$$Q = S \cdot \sin(\varphi) \quad (8)$$

Forholdet mellem aktiv og reaktiv effekt et apparat trækker kan således beregnes ved:

$$\frac{Q}{P} = \frac{S \cdot \sin(\varphi)}{S \cdot \cos(\varphi)} = \tan(\varphi) \quad (9)$$

Spændingssænkingsudstyr, i form af en seriekoblet autotransformer, hvori der sidder en delta-koblet tertiær vikling på sekundærsiden, vil ikke aktivt gøre noget for at forbedre fasevinklen,  $\varphi$ , således at det reaktive effekttræk reduceres.

Det at spændingen sænkes får imidlertid nogle apparater til at ændre det reaktive effekttræk.

Ses der nærmere på udvalgte apparater gælder der:

1) for asynkronmotorer, at spændingssænkning både kan føre til en evt. forbedring / forværring af fasevinklen,  $\varphi$ , da en asynkronmotor er afhængig af motorens sædvanlige arbejds punkt, der igen er afhængig af motorens størrelse og den belastning, motoren er sat til at drive. For asynkronmotorer kan der således ikke siges noget generelt om, hvorvidt det reaktive effekttræk reduceres ved spændingssænkning.

2) For nogle typer af traditionelt forkoblede lysstofrør, bl.a. drosselspole forkoblede lysstofrør (den mest alm. type) vil spændingssænkning føre til forbedring af fasevinklen. I parkeringshuse o.l., der er oplyst med denne type lysstofrør, vil fasevinklen,  $\varphi$ , blive forbedret og det reaktive effekttæk reduceret. I denne sammenhæng er det således korrekt at spændingssænkningssystemet reducerer det reaktive effekttæk.

3) Oplyses parkeringshuse o.l. i stedet for af glødepærer, vil fasevinklen,  $\varphi$ , ikke blive forbedret, men forblive konstant, dvs.  $\tan(\varphi) \approx \text{konstant}$ .

I de tilfælde hvor sammensætningen af apparater i en installation medfører, at  $\tan(\varphi) \approx \text{konstant}$  ved faldende spænding, vil en reduktion i det aktive effekttræk, dog pga. spændingssænkningen, føre til en forholdsmæssigt ligeså stor reduktion i det reaktive effekttræk, jf. formel (9). I det tilfælde er det således også korrekt at sige, at spændingssænkning reducerer det reaktive effekttæk, mens det ikke er korrekt at sige at  $\cos(\varphi)$  forbedres.

Jf. punkt 1), 2) og 3) ovenfor er det således ikke til at sige noget entydigt om, hvorvidt spændingssænkningssystemet generelt reducerer det samlede reaktive effekttæk for en hel installation, da en installation ofte består af flere forskellige typer apparater (belysning, motorer m.m.). Med andre ord; det afhænger af sammensætningen af apparater i installationen.

## **5 Forhold købere skal være opmærksomme på**

Der er en række forhold, som det er relevant for købere af spændingssænkingsudstyr at være opmærksomme på. Disse forhold vil blive gennemgået i dette afsnit.

### **5.1 Reduceret ydelse ved reduceret spænding**

Som beskrevet i afsnit 4 vil de apparater, som forbruger mindre el og dermed giver energibesparelser, efter en spændingssænkning og få reduceret den ydelse / output apparatet leverer. Køberen af spændingssænkingsudstyr skal således være opmærksom på, at output ændres. Nogle købere vil fint kunne leve med et reduceret output fra deres apparater, mens det vil være kritisk for andre. Dog skal de bemærkes at bl.a. DS 700 og det til enhver tid gældende bygningsreglement overholdes.

#### **Reduceret belysning**

Et reduceret output fra en virksomheds belysningsanlæg kan f.eks. medføre, at virksomheden ikke længere overholder Arbejdstilsynets krav til belysning af arbejdssteder. Virksomheden vil hermed kunne blive mødt med uønskede sanktioner fra Arbejdstilsynet.

Det er således vigtigt, at køberen af spændingssænkingsudstyr gør sig klart, om Arbejdstilsynets krav vedr. belysning (DS 700) fortsat er overholdt efter installation af spændingssænkingsudstyr.

#### **Ændret indeklima**

En anden konsekvens af spændingssænkning er reduceret output fra f.eks. ventilationsanlæg, dvs. reduceret luftcirkulation, og med det til følge at arbejdsmiljølovgivningen derved muligvis ikke længere overholdes. Reduceret luftcirkulation kan medføre dårligere indeklima og dermed øget ubehag og reduceret arbejdsindsats fra medarbejdere.

Disse og andre konsekvenser bør køberen være bekendt med og have in mente ved installation af spændingssænkingsudstyr.

### **5.2 Dokumentation af energibesparelser fra spændingssænkning**

Det er for energisparerådgivere vigtigt at kunne dokumentere de energibesparelser, der er opnået ved et givent energisparetiltag.

I det omfang spændingssænkning indgår som et led i net- og distributionsselskabernes energispareforpligtigelse, skal de til enhver tid gældende love, bekendtgørelser og udmeldte retningslinjer overholdes. Dokumentationen skal altid kunne verificeres og dokumenteres af en uvildig part og ved indrapportering kunne godkendes af Energistyrelsen.

Energibesparelser opnået ved spændingssænkning bør p.t. indberettes under øvrige elbesparelser.

### 5.3 Spændingssænkingsudstyrets egetforbrug (tab)

Ved installation af spændingssænkingsudstyr indsættes endnu en komponent inden kundens apparater forsynes med el. Alle elektriske komponenter har i princippet en virkningsgrad under 1, dvs. at de i en eller anden grad medfører et energitab (varmelegemer har dog en virkningsgrad tæt på en). Det gælder også for spændingssænkingsudstyr.

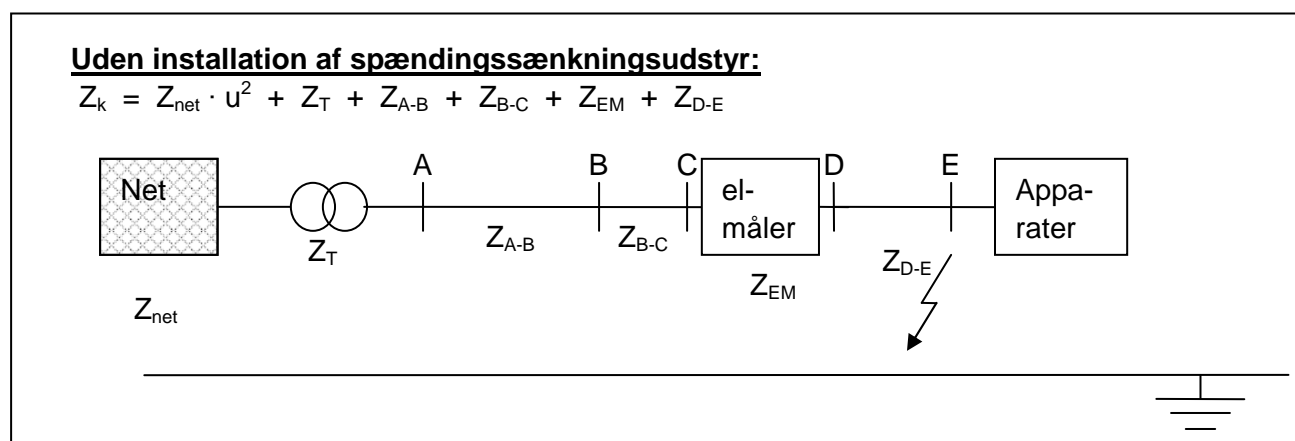
Køberen af spændingssænkingsudstyr skal således være opmærksom på, at energitabet i spændingssænkingsudstyret skal trækkes fra den potentielle gevinst for energibesparelser.

Dog er tabet fra spændingssænkingsudstyr normalt lavt, hvorfor der stadig kan hentes energibesparelser efter at energitabet er trukket fra.

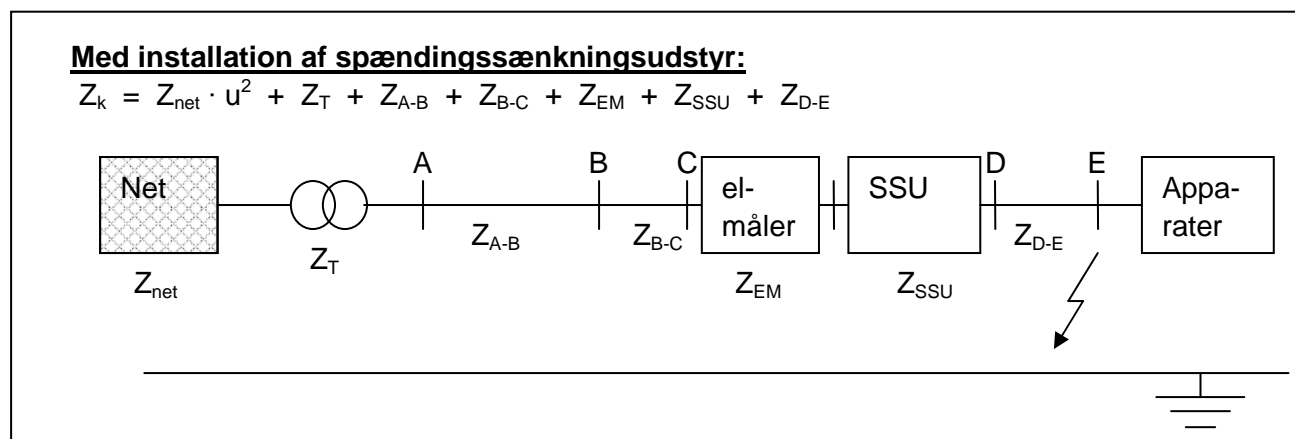
### 5.4 Reduceret kortslutningseffekt

Ved indsættelse af spændingssænkingsudstyr i serie med installationen, skal installatør og køber af spændingssænkingsudstyret være opmærksom på, at der herved ændres på kortslutningsstrømmen.

Ændringen er illustreret herunder:



Figur 20



Figur 21

Ændringen i kortslutningsimpedansen kan ses af ligningerne vist i hhv. Figur 20 og Figur 21. Figureerne tager udgangspunkt i hhv. situationen uden og med spændingssænkingsudstyr i installationen.

Ved installation af spændingssænkingsudstyr, indsættes endnu en impedans,  $Z_{SSU}$ . Det betyder, at  $Z_k$  stiger og medfører derved, at kortslutningsstrømmen,  $I_k$ , falder.

Installation af spændingssænkingsudstyr medfører således, at kortslutningsstrømmen, der trækkes ved en kortslutning, reduceres. Herved introduceres en risiko for, at kortslutningsstrømmen ikke længere er stor nok til at sikre en ordentlig overbelastningsbeskyttelse og kortslutningsbeskyttelse jf. stærkstrømsbekendtgørelsens afsnit 6, kapitel 433.1 og 434.3.2.

Jf. stærkstrømsbekendtgørelsens skal følgende være overholdt:

#### Kapitel 433.1:

*"Strømkredse skal være beskyttet af udstyr, som afbryder enhver overbelastningsstrøm i lederne, før en sådan strøm kan medføre en temperaturstigning, der er skadelig for ledernes isolasjon, samlinger, afslutninger eller omgivelser."*

#### Kapitel 434.3.2:

*"Alle strømme, der forårsages af en kortslutning et vilkårligt sted i strømkredsen, skal udkobles inden for en tid, der ikke overstiger den tid, som vil bringe lederne op på den tilladelige grænsetemperatur."*

Det skal understreges at der er risiko for brandfare i bygninger hvis stærkstrømsbekendtgørelsen overtrædes og kortslutninger dermed ikke udkobles i tide.

Herudover gælder jf. stærkstrømsbekendtgørelsens kapitel 434.2:

*"Den forventede største og mindste prospektive kortslutningsstrøm skal fastlægges i alle de punkter i installationen, hvor det anses for nødvendigt. Dette kan gøres enten ved beregning eller ved måling."*

Ved indsættelse af spændingssænkingsudstyr ændres, som nævnt, kortslutningsstrømmen. Skal installationen overholde reglerne i stærkstrømsbekendtgørelsen, skal den forventede største og mindste prospektive kortslutningsstrøm derfor efterfølgende fastlægges igen.

Endvidere fremgår det af Fællesregulativet 2009 afsnit 12.3, at:

*"Den mindste kortslutningsstrøm,  $I_{k,min.}$ , i forsyningspunktet skal kendes for at kunne vælge en kortslutningsbeskyttelse, der udkobler tilstrækkeligt hurtigt til, at eltavlen og de pågældende strømkredse er beskyttet"*.

Disse regler bør der være opmærksomhed på ved installation af spændingssænkingsudstyr.

### **5.5 Reduceret mulighed for at hente gevinster ved parallelle energibesparelsetiltag**

Spændingssænkning kan som sagt medføre energibesparelser for visse typer apparater. Vælges det at forsøge at opnå energibesparelser med spændingssænkning, kan tiltaget dog reducere mulighederne for at opnå energibesparelser ved andre energisparetiltag. Tilsvarende vil det modsatte scenarie gøre sig gældende. Det betyder, at business-casen for andre energisparetiltag efterfølgende kan blive forringet.

### **5.6 Levetid**

Det diskuteres ind imellem, hvordan spændingssænkning påvirker apparaters levetid. Den diskussion er ikke inddraget i denne vejledning, pga. dens høje kompleksitet.



## 6 Andre relevante forhold

Den Europæiske standard, DS/EN 50160, angiver, at elselskaberne skal levere el til deres kunder ved en forsyningsspænding,  $U_f$ , der ligger indenfor intervallet:

$$90\% \cdot U_{f,nom} < U_f < 110\% \cdot U_{f,nom}$$

Hvor  $U_{f,nom} = 230$  V ml. fase og nul i almindelige stikkontakter.

Denne standard medfører, at apparatproducenterne har et spændingsniveau, de kan optimere deres produktdesign efter. For apparatproducenten vil det være oplagt at designe deres apparater til at fungere optimalt ved det nominelle spændingsniveau, dvs.  $U_{f,nom} = 230$  V, og bl.a. sikre, at apparatet har størst virkningsgrad ved dette spændingsniveau.

Det er dog værd at have in mente, at det nominelle spændingsniveau før 1993 i mange Europæiske lande (inkl. Danmark) var 220 V. Apparater fra før 1993 vil således sandsynligvis være optimeret til drift ved 220 V. For disse apparater vil en spændingssænkning fra 230 V til 220 V sandsynligvis føre til en højere virkningsgrad og dermed en bedre eludnyttelse.

Apparater fra før 1993 vil dog som alle andre apparater naturligt blive udskiftet, når de ikke fungerer længere. Det betyder, at apparater designet til optimalt drift ved 220 V lige så langsomt vil blive udfaset.

## 7 Henvisning til relevant litteratur

1. "Electric machinery", (kap. 5.), P.C.Sen, ISBN: 0-471-02295-0
2. "Elektriske lyskilder", Dansk Lysteknisk selskab, ISBN: 87-982236-7-4
3. "Möglichkeiten der Energieeinsparung durch Regelung und Reduzierung der Versorgungsspannung", Bödvar Jonsson og Dr. Ing. Günter Ackermann, Technisch Universität Hamburg-Harburg, Maj 2003.
4. "Evaluation of Conservation Voltage reduction (CVR) on a National Level", PNNL-19596, U.S. department of energy, K.P. Schneider, F.K. Tuffner, J.C. Fuller og R. Singh, July 2010
5. "International Performance Measurement and Verification Protocol - Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings - Volume 1", EVO 10000 – 1:2010, EVO – Efficiency Valuation Organization, September 2010.
6. "Berechnung der Steigerung der elektrischen Energieeffizienz durch den Einsatz von elektrischen Energieregler nach dem Prinzip der Spannungsabsenkung", VDE (Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.), VDE-AR-E 2055-1, Oktober 2009.
7. "Forundersøgelse af muligheder for energibesparelser i erhvervslivet ved reduktion af overharmoniske strømme", Mogens Johansson, Jonas M. Kehr og Henning Højte Hansen, August 2009, Elforsk finansieret.
8. "Stærkstrømsbekendtgørelsen, afsnit 6, Elektriske installationer" – BEK nr. 12502 af 01/07/2001 - Gældende.
9. DEFU Rekommandation nr. 16, "Spændingskvalitet i lavspændingsnet 3. udgave", Oktober 2010

## 8 Opdrag

Denne vejledning skal redegøre for forhold vedrørende anvendelse af spændingssænkning i de danske elnet.

Formålet med vejledningen er at give et objektivi t indblik i, hvilke muligheder der er for at anvende spændingssænkning i energispa resammenhæng.

I det følgende er angivet en oversigt over de emner som vejledningen gennemgår.

- 1) Teorien bag spændingssænkning.
- 2) Hvordan virker spændingssænkning i praksis? – hvor kan der spares energi? og hvor er der tvivl?
  - Virkning af spændingssænkning:
    - a. Hvilke apparater er der energibesparel espotential e for ved brug af spændingssænkning? - Og hvilke er der ikke?
  - Øvrige udmeldte virkninger:
    - b. Forbedring af asymmetrisk belastning
    - c. Beskyttelse mod transienter
    - d. Reduktion af harmonisk støj
    - e. Reduktion af reaktiv effekttræk
- 3) Hvilke forhold skal en køber af spændingssænkning s udstyr være opmærksom på?
  - a. Reduceret ydelse fra apparater og maskiner, der får reduceret spænding.
    - Kan være kritisk for procesvirksomheder m.fl.
  - b. Dokumentation af energibesparel ser fra spændingssænkning
    - Hvordan kan energibesparel ser dokumenteres på en seriøs måde?
    - Opgørelsesmetodik
      - i. Før- og eftermåling
        - Antal perioder og periodelængde
  - c. Spændingssænkning s udstyrets egetforbrug (tab)
  - d. Reduceret mulighed for at hente gevinster ved parallelle energibesparel sestiltag.
- 4) Andre relevante forhold?