

# Udførelse af elforsyningsanlæg



## Indhold

|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>Forord</b> .....     | 4 |
| <b>Indledning</b> ..... | 5 |

### **Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 2, udførelse af elforsyningsanlæg gælder for højspændingskabler og anlæg**

|  |   |
|--|---|
| 1.1 Dimensionering af højspændingskabler ..... | 6 |
| 1.2 Udførelse af anlæg.....                    | 6 |

### **Højspændingsluftledninger**

|  |   |
|--|---|
| 2.1 Luftledninger under 45 kV .....          | 7 |
| 2.2 Luftledninger der overstiger 45 kV ..... | 7 |

### **Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6, elektriske installationer gælder for bygningsinstallationer og for installation af lavspændingstavler og lavspændingskabler i elforsyningsanlæg**

|  |   |
|--|---|
| 3.1 Dimensionering af lavspændingskabler ..... | 7 |
|--|---|

### **Grænse mellem højspændingsforsyningsanlæg og lavspændingsforsyningsanlæg og mellem elforsyningsanlæg og installationer**

|  |   |
|--|---|
| 4.1 Grænse mellem højspændingsforsyningsanlæg og lavspændingsforsyningsanlæg ..... | 8 |
| 4.2 Grænse mellem elforsyningsanlæg og installationer .....                        | 8 |

### **Beskyttelse mod direkte berøring**

|  |   |
|--|---|
| 5.1 Beskyttelse mod direkte berøring – Højspænding ..... | 8 |
| 5.2 Beskyttelse mod direkte berøring – Lavspænding ..... | 9 |

### **Beskyttelse mod indirekte berøring**

|  |    |
|--|----|
| 6.1 Beskyttelse mod indirekte berøring - Højspænding .....                             | 9  |
| 6.2 Eksempel på beregning af jordfejlstrøm ved isoleret højspændingsnet .              | 12 |
| 6.3 Eksempel på beregning af jordfejlstrøm ved slukkespolejordet højspændingsnet ..... | 13 |
| 6.4 Bestemmelse af $U_E$ , $U_T$ og $U_{Tp}$ i tilfælde af en enkelt jordfejl .....    | 13 |
| 6.5 Beskyttelse mod indirekte berøring – Lavspænding .....                             | 14 |

### **Adskillelse og afbrydning**

|   |    |
|---|----|
| 7.1 Udstyr til adskillelse af anlæg eller apparater - Højspænding ..... | 16 |
| 7.2 Adskillelse og afbrydning – Lavspænding .....                       | 16 |

## **Identifikation af koblingsudstyr og mærkning vedrørende overstrømsbeskyttelse. Lavspændingsgeneratoranlæg. Lavspændingstavler**

|      |   |    |
|------|---|----|
| 8.1  | Identifikation af koblingsudstyr .....  | 17 |
| 8.2  | Lavspændingsgeneratoranlæg .....  | 17 |
| 8.3  | Lavspændingstavler i ikke fabriksfremstillede transformerstationer/Lavspændingsdirektivet (LVD) ..... | 17 |
| 8.4  | Tavlestandarderne .....   | 17 |
| 8.5  | Karakteristiske elektriske data for tavler .....  | 18 |
| 8.6  | Overspændingskategorier .....   | 18 |
| 8.7  | Oplysninger om tavler .....   | 18 |
| 8.8  | Typeprøver og rutineprøver .....  | 20 |
| 8.9  | Kontrol af kortslutningsholdbarhed .....  | 20 |
| 8.10 | Installationer af tavler .....  | 20 |
| 8.11 | Lavspændingstavler i fabriksfremstillede transformerstationer efter EN 61330 .....                    | 20 |

## **Eftersyn og afprøvning før idriftsætning**

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 9.1 | Eftersyn og afprøvning før idriftsætning – Højspændingsluftledninger over 45 kV .....                   | 21 |
| 9.2 | Eftersyn og afprøvning før idriftsætning – Højspændingskabler og lavspændingsforsyningsanlæg .....      | 21 |
| 9.3 | Eftersyn og afprøvning før idriftsætning – Lavspændingsforsyningskabler og bygningsinstallationer ..... | 21 |

## Forord

Denne publikation må kun betragtes som en støtte til forståelsen af bestemmelser og standarder og kan ikke bruges som eneste grundlag for udførelse og drift af elforsyningsanlæg.

*N. Kr. Mogensen*

## Indledning

Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 2, udførelse af elforsyningsanlæg trådte i kraft den 1. september 2003 og er baseret på den europæiske standard fra CENELEC HD 637 S1:1999 Power installations exceeding 1 kV AC. Samtidigt udgik stærkstrømsbekendtgørelsen, udførelse af elforsyningsanlæg, afsnit 2 til afsnit 4.

Dette afsnit 2 vedrører højspændingskabler og indretning af driftsområder for højspænding. For lavspændingsforsyningsanlæg, herunder bygningsinstallationer i driftsområder, gælder stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6, elektriske installationer.

Der foreligger forslag til standarder for elektriske luftledninger, der overstiger AC 1 kV til og med 45 kV, men indtil videre skal de hidtidige bestemmelser i stærkstrømsbekendtgørelsen, udførelse af elforsyningsanlæg afsnit 3 anvendes.

I de tilfælde, hvor der ikke eksisterer danske bestemmelser for en given anlægstype, anser Sikkerhedsstyrelsen normalt sikkerheden for anlæg tilgodeset, såfremt anlægget er fremstillet i overensstemmelse med en europæisk eller en international standard. For fabriksfremstillede transformerstationer kan anvendes EN 61330 High-voltage/low-voltage prefabricated substations, og for luftledninger med mærkespænding over 45 kV anvendes 50341-1:2001 Overhead electrical lines exceeding AC 45 kV med danske afvigelser.

Lavspændingsforsyningstavler er omfattet af Lavspændingsdirektivet, hvis grundlæggende sikkerhedskrav nemmest opfyldes ved at anvende standarderne DS/EN 60439-1:2002 Lavspændingstavler – Del 1: Typetestede og delvis typetestede tavler og DS/EN 60439-5, når det drejer sig om kabelskabe. Lavspændingsgeneratoranlæg skal være udført og skal tilsluttes efter installationsbestemmelserne i afsnit 6.

For drift af elforsyningsanlæg gælder stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 5, drift af elforsyningsanlæg.

# Udførelse af elforsyningsanlæg

## Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 2, udførelse af elforsyningsanlæg gælder for højspændingskabler og anlæg

### 1.1 Dimensionering af højspændingskabler

Det skal sikres, at belastningsstrømmen ikke overstiger kabelleverandørens oplysninger om den tilladelige vedvarende belastningsstrøm. Kortslutningsholdbarheden bestemmes ud fra kabelleverandørens oplysninger om kablers korttidsstrøm for faseledere og skærm. Kablernes isolation, tilslutningsklemmer samt udstyr og omgivelser må ikke tage skade. Kablerne kan beskyttes af højspændingssikringer eller automatiske afbrydere (relæer). Den af kabelleverandøren opgivne korttidsstrøm, der normalt opgives som en 1 sekunds-værdi, må ikke overskrides. Ved beskyttelse med smeltesikringer skal det ud fra en tofaset kortslutning i den sidste ende af kablet sikres, at den tilladelige kortslutningsstrøm i 1 sek. ikke overskrides, eller at

$$I_{k1s} \geq I_{k \text{ aktuel}} \cdot \sqrt{t_{\text{aktuel}}} \quad [\text{A}]$$

Ved relæbeskyttelse skal der dimensioneres ud fra en trefaset kortslutning lige på den anden side af tilslutningsklemmerne.

Ved fremføring i bygninger uden for stationsrum skal der anvendes brandhæmmende kabler eller træffes andre lige så gode foranstaltninger med hensyn til højspændingskablers korrekte valg og fremføring.

### 1.2 Udførelse af anlæg

Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 2, udførelse af elforsyningsanlæg indeholder definitioner på forskellige anlægstyper og en række grundlæggende elektriske og mekaniske krav, bl.a. med hensyn til luftafstande og isolationsniveau, og der er krav om dokumentation for hvert anlæg.

Fabriksfremstillede stationer for højspænding og lavspænding skal som nævnt udføres og afprøves efter EN 61330 High-voltage/low-voltage prefabricated substations. I denne standard står der fx, at der skal træffes foranstaltninger for at undgå lækage af olie og for at minimere fare for brand.

Denne regel administreres af Sikkerhedsstyrelsen sådan, at der i prefabrikerede transformerstationer, der er opstillet udendørs, og som ikke er omfattet af bygningsreglementet, ikke kræves olieopsamling, hvis den samlede mængde olie i de opstillede transformere er mindre end 1000 l.

I alle tilfælde skal der tages hensyn til lokale bestemmelser, og eventuelle tilfaldelser skal indhentes.

## Højspændingsluftledninger

### 2.1 Luftledninger under 45 kV

Der foreligger forslag til standarder for elektriske luftledninger, der overstiger AC 1 kV til og med 45 kV, men indtil videre skal de hidtidige bestemmelser i stærkstrømsbekendtgørelsen, udførelse af elforsyningsanlæg afsnit 3 anvendes.



### 2.2 Luftledninger der overstiger 45 kV

Luftledninger, der er beregnet for spændinger over 45 kV, skal udføres efter EN 50341-1:2001 Overhead electrical lines exceeding AC 45 kV:

- Del 1: Almindelige krav – fælles specifikationer
- Del 2: Indeks over nationale normative aspekter (afvigelser)
- Del 3: Nationale normative aspekter for Danmark.



**Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6, elektriske installationer gælder for bygningsinstallationer og for installation af lavspændingstavler og lavspændingskabler i elforsyningsanlæg**

### 3.1 Dimensionering af lavspændingskabler

#### Kortslutningsbeskyttelse

Kabler skal beskyttes mod kortslutning efter 434 i afsnit 6, men der kræves dog ikke kortslutningsbeskyttelse af bl.a. ledere, der forbinder transformere med tilhørende tavler, hvis ledningen er fremført på en sådan måde, at kortslutning er reduceret til et minimum, fx ved anvendelse af enleder kabler, og når ledningen ikke er anbragt i nærheden af brændbart materiale.

## **Overbelastningsbeskyttelse**

I stedet for IEC-reglerne i 523 i afsnit 6 er det tilladt at bruge forenklede danske bestemmelser i bilag A til kapitel 52, som er egnede til dagligt brug. De forenklede danske bestemmelser kan dog ikke anvendes, når der er tale om enleder kabler i luft. I sådanne tilfælde anbefales det at anvende strømværdierne i 523 for at opnå optimal udnyttelse.

Efter forenklede danske bestemmelser stilles der ingen krav vedrørende belastning, hvis kablerne udelukkende er fremført i jord eller vand. Det accepteres, at kabler føres op i et kabelskab eller en mast i det fri og til en tavle i et driftsområde, uden at det får konsekvenser.

Uanset om forenklede danske bestemmelser anvendes, er det fornuftigt at tage hensyn til jordkablernes beskaffenhed med hensyn til ledermateriale, isolation og til jordens termiske modstand.

Overbelastningsbeskyttelsen kan udgøres af overstrømsbeskyttelsen på højspændingssiden af transformeren, af sikringer eller maksimalafbrydere i lavspændingsforsyningstavlen eller ved, at lederne dimensioneres ud fra transformerens sekundære mærkestrøm.

Ledere, der indgår i fabriksfremstillede transformerstationer, skal dimensioneres efter retningslinierne herom i EN 61330 High-voltage/low-voltage prefabricated substations.

## **Grænse mellem højspændingsforsyningsanlæg og lavspændingsforsyningsanlæg og mellem elforsyningsanlæg og installationer**

### **4.1 Grænse mellem højspændingsforsyningsanlæg og lavspændingsforsyningsanlæg**

Grænsen vil normalt være på lavspændingsklemmerne af transformeren, dog er hjælpeanlæg og styresystemer under 1 kV, der hører til højspændingsanlægget, tillige omfattet af afsnit 2.

### **4.2 Grænse mellem elforsyningsanlæg og installationer**

Grænsen kan angives som installationernes forsyningspunkt, der normalt er stikledningers forbindelse til sikringerne i mast, kabelskab eller tavle i transformerstation.

## **Beskyttelse mod direkte berøring**

### **5.1 Beskyttelse mod direkte berøring - Højspænding**

Uden for lukkede elektriske driftsområder må kun beskyttelse ved kapsling eller ved placering uden for rækkevidde anvendes. Ved beskyttelse med kapsling skal kapslingsklassen mindst være IP23D.

Reglerne for placering uden for rækkevidde er angivet ved krav til ydre hegn, til adgangsdøre og ved figurer.

Inden for lukkede elektriske driftsområder kan beskyttelse udføres ved kapsling, barrierer, spærring eller ved placering uden for rækkevidde. Anvendes kapsling, skal kapslingsklassen mindst være IP2X.

Ved valg af beskyttelsesmåde skal der tages hensyn til forhold vedrørende betjening og vedligeholdelse.



Beskyttelse mod direkte berøring ved hegn og placering uden for rækkevidde. Højspænding

## 5.2 Beskyttelse mod direkte berøring - Lavspænding

Uden for lukkede elektriske driftsområder (elektriske betjeningsrum eller områder) kan beskyttelse udføres ved barrierer, kapslinger og ved placering uden for rækkevidde. Anvendes kapsling, skal kapslingsklassen mindst være IP2X eller IPXXB. Vandrette overflader, som er let tilgængelige, skal yde en beskyttelse, som mindst svarer til IP4X eller IPXXD.

Inden for lukkede driftsområder (aflåste elektriske betjeningsrum eller områder) kan beskyttelse mod direkte berøring udelades på angivne betingelser, fx skal der foreligge en arbejdsinstruks, der skal være afgrænsning til andre områder, og på døre e.l. skal der være skilt med zigzag-pil.



Beskyttelse mod direkte berøring ved placering i aflåst stationsrum. Lavspænding

## Beskyttelse mod indirekte berøring

### 6.1 Beskyttelse mod indirekte berøring - Højspænding

Til beskyttelse af personer skal der udføres et jordingsanlæg. Af hensyn til beskyttelse mod korrosion og til mekanisk styrke er mindste tværsnit for

kobberledere 16 mm<sup>2</sup>, for aluminiumledere 35 mm<sup>2</sup> og for ledere af stål 50 mm<sup>2</sup>. Ledertværsnittet  $S$  kan beregnes efter formlen

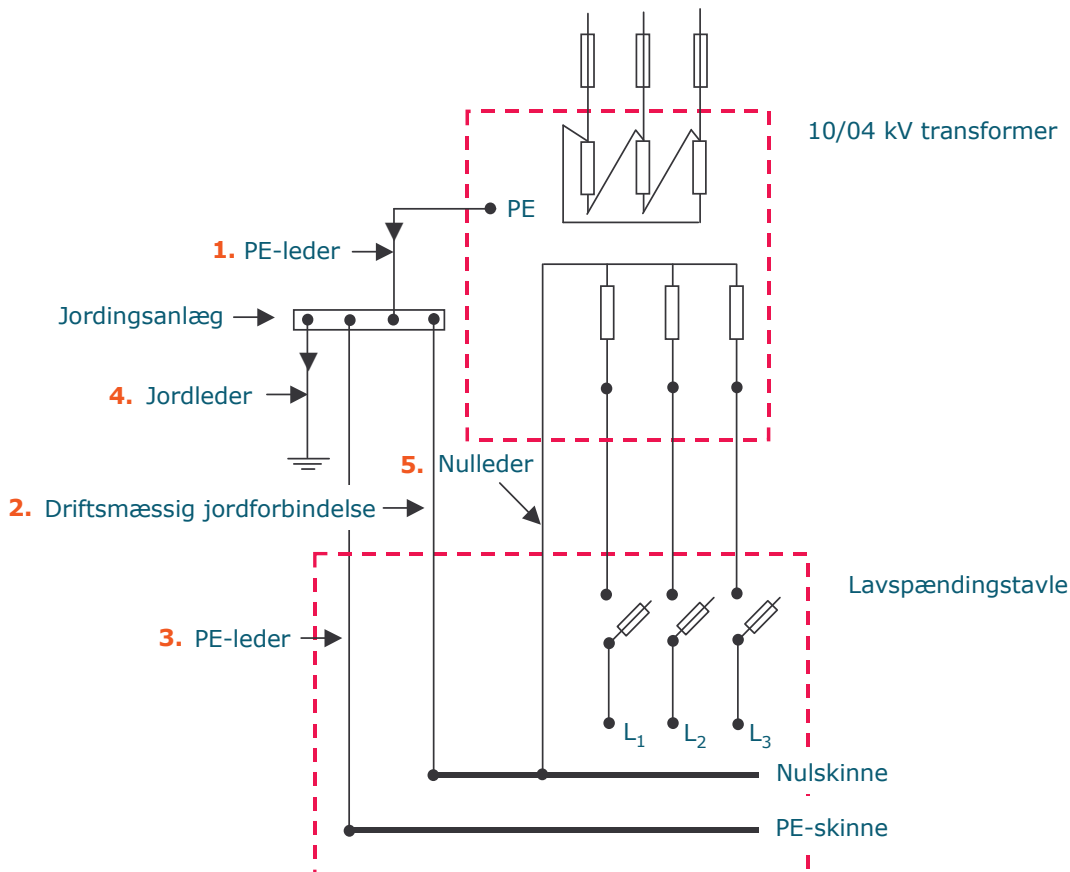
$$S^2 \cdot k^2 \geq I_{\text{kEE}}^2 \cdot t \quad [\text{A}^2 \text{ sek}]$$

$k$  er en konstant, der for uisolerede kobberledere kan sættes til 226.  $I_{\text{kEE}}$  er strømmen ved en dobbelt jordfejl, der kan ansættes som ca. 85 % af en trefaset kortslutningsstrøm, og  $t$  er tiden i sekunder, indtil afbrydelse finder sted.

$$I_{\text{kEE}} \sim 0,85 \cdot \frac{S_{K3}}{\sqrt{3} \cdot U_N} \quad [\text{A}]$$

$S_{K3}$  er kortslutningseffekten på højspændingssiden,  $U_N$  er netspændingen. Jordelektroders mindste dimensioner kan aflæses af tabeller i bilag A.

### Eksempel på dimensionering af ledning 1 og 4



### Ledning 1 og 4

Efter afsnit 2:  $S_{\text{min}} = 16 \text{ mm}^2 \text{ Cu}, 35 \text{ mm}^2 \text{ Al}, 50 \text{ mm}^2 \text{ Fe}$

- og  $S^2 \cdot k^2 \geq I_{\text{kEE}}^2 \cdot t \quad [\text{A}^2 \text{ sek}] \quad k \sim 226$  for uisolerede Cu-ledere

Efter EN 61330:  $S_{\text{min}} = 30 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$   $I_{\text{kEE}}$  er strømmen ved en tofaset jordslutning

$$\sim \text{ca. } 85 \% \text{ af } \frac{S_{K3}}{\sqrt{3} \cdot U_N} \quad [\text{A}]$$

Eks.  $S_{KN} = 220 \text{ MVA}$   
 $U_N = 12 \text{ kV}$   
 $k = 226 \text{ for Cu}$   
 $t = 1 \text{ sek}$   
 $S = X$   
 $S^2 \cdot k^2 \geq I_{KEE}^2 \cdot t \text{ [A}^2 \text{ sek]}$   
 $I_{KEE} \sim 0,85 \cdot \frac{S_{KN}}{\sqrt{3} \cdot U_N} \text{ [A]}$   
 $X^2 \cdot 226^2 \geq 0,85 \cdot \left( \frac{220 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 12 \cdot 10^3} \right)^2 \cdot 1 \text{ [A}^2 \text{ sek]}$   
 $X^2 \cdot 226^2 \geq 10.597^2 \cdot 0,85 \cdot 1 \text{ [A}^2 \text{ sek]}$   
 $X \geq \frac{9.007}{226} \sim 40 \sim 50 \text{ mm}^2$

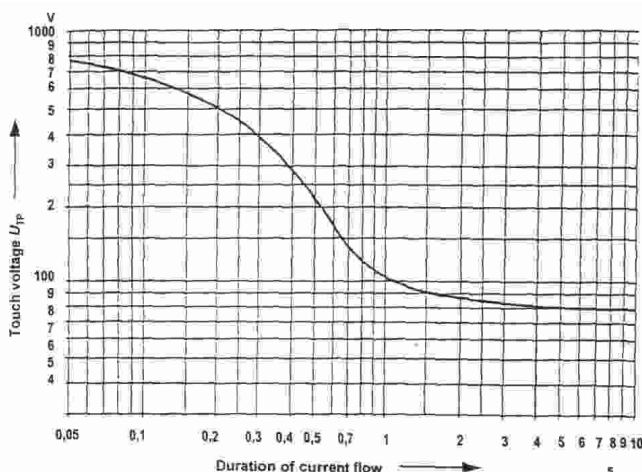
Ønskes en mere nøjagtig dimensionering, skal impedanserne i ledningerne medregnes.

### Bestemmelse af jordingsanlæggets overgangsmodstand til jord

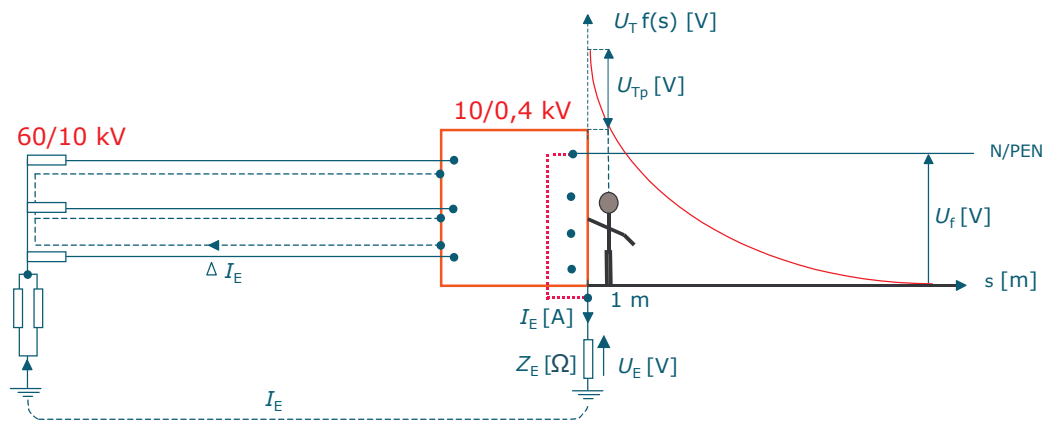
Jordingsanlægget skal udføres sådan, at der i tilfælde af en højspændingsjordfejl ikke opstår for høj spænding på udsatte dele. Det er væsentligt at skelne imellem potentialstigningen på jordingsanlægget  $U_E$ , berøringsspændingen  $U_T$  og den tilladelige berøringsspænding  $U_{TP}$ .

Den tilladelige berøringsspænding  $U_{TP}$  er angivet som funktion af tiden. Hvis varigheden af jordfejlen er længere end 10 sekunder, kan en værdi på 75 V anvendes.

Se dog bestemmelserne om berøringsspænding og strøm gennem kroppen i bilag C i afsnit 2.



Berøringsspændingen  $U_T$  er den del af potentialstigningen, der på grund af en jordfejl kan opfanges af en person, idet man antager, at strømmen flyder gennem kroppen fra hånd til fod (vandret afstand fra den udsatte del 1 m).



$I_E$  er den del af den capacitive jordstrøm, der ved en højspændingsfejl ledes ned gennem 10/0,4 kV transformerenes jordingsanlæg

$\Delta I_E$  er den del af strømmen, som ledes tilbage til 60/10 kV transformeren gennem skærmen på højspændingskablerne, dvs  $(1-r) 3 \times I_{c0}$ , hvor  $r$  er skærmfaktoren

$U_E$  er potentialstigningen på jordingsanlægget

$U_T$  er berøringsspændingen på 10/0,4 kV transformeren i tilfælde af en højspændingsfejl

$Z_E$  er jordingsanlæggets resulterende overgangsmodstand til jord

$U_{Tp}$  er den tilladte berøringsspænding

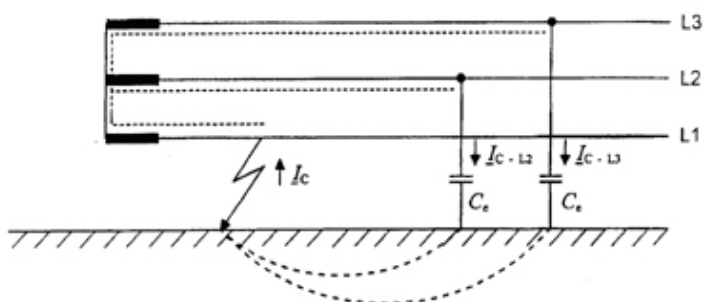
$U_f$  er den tilladte spænding på N/PEN lederen, normalt max 250 V ved TT-system, 75 V ved TN-system

Berøringsspændingen  $U_T$  på udsatte dele er næsten lig med potentialstigningen  $U_E$  på jordingsanlægget.  $U_E$  kan med god tilnærmelse beregnes som  $I_E \cdot Z_E$  [V]. Hvis der sørges for, at  $U_{Tp} \geq U_E$  og den i TN-systemer ikke overstiger 75 V, er man på den sikre side.

Ønskes en mere nøjagtig dimensionering, skal der tages hensyn til skærmfaktoren (reduktionsfaktoren), idet en del af jordstrømmen som nævnt ledes tilbage gennem skærmen i højspændingskablerne.

Fejlstrømmens størrelse afhænger af, om anlægget er udført som direkte jordet net, som isoleret net eller som slukkespolejordet net.

## 6.2 Eksempel på beregning af jordfejlstrøm ved isoleret højspændingsnet



Jordfejlstrømmens tilnærmede værdi kan beregnes på følgende måde:

$$I_C = 3 \cdot I_{c0} \text{ [A]}$$

$I_{c0}$  er den kapacitive jordstrøm i et fejlfrit net

$$I_{c0} = \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot X_{c0}} \text{ [A]}$$

$$X_{c0} = \frac{1}{2\pi f \cdot c_0} \text{ [\Omega]}$$

$$C_{0res} = C_0 \cdot l_{km}$$

$$I_C = 3 \cdot \frac{U_N \cdot 2\pi f \cdot c_0 \cdot l}{\sqrt{3}} \text{ [A]}$$

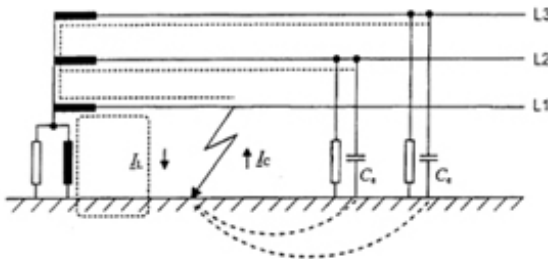
### Eksempel

25 km 95 mm<sup>2</sup> 12 kV kabel (NKT)

$c_0 = 0,31 \mu\text{F}$  pr. kilometer

$$I_C = 3 \cdot \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 314 \cdot 0,31 \cdot 10^{-6} \cdot 25}{\sqrt{3}} \sim 42\text{A}$$

## 6.3 Eksempel på beregning af jordfejlstrøm ved slukkespolejordet højspændingsnet



Der skal regnes med den kompenserede jordstrøm, dvs. jordreststrømmen. Den mindste teoretiske jordstrøm kan beregnes som

$$I_{C \text{ Rest Min}} = \sqrt{I_w^2 + (I_L \div I_c)^2} \text{ [A]} \text{ eller som } 10 \% \text{ af } I_C.$$

I praksis må der tages hensyn til, at de fleste slukkespoler er med trinvis indstilling, og at der til tider foretages midlertidige omlægninger af højspændingsnettet, hvilket betyder, at jordreststrømmen kan være på en halv snes ampere, mere eller mindre.

## 6.4 Bestemmelse af $U_E$ , $U_T$ og $U_{Tp}$ i tilfælde af en enkelt jordfejl

Jordpotentialstigningen  $U_E$  er defineret som spændingen mellem et jordingsanlæg og neutral jord.

Berøringsspændingen  $U_T$  er den del af potentialstigningen, der på grund af en jordfejl kan opfanges af en person, idet man antager, at strømmen flyder gennem kroppen fra hånd til fod (vandret afstand fra den udsatte del 1 m).

I TN-systemer skal jordpotentialstigningen  $U_E$  normalt være mindre end eller lig med den tilladte berøringsspænding  $U_{Tp}$ .

$$U_E = I_E \cdot Z_E \text{ [V]}$$

$I_E$  er den del af jordstrømmen, som i tilfælde af jordfejl på en af højspændingsfaserne ledes ned gennem jordingsanlægget.  $Z_E$  er jordingsanlæggets overgangsimpedans til jord.

Hvis  $U_E \leq 2U_{Tp}$  er der udført en korrekt beregning, når jordingsanlægget ikke er en del af et udstrakt jordingsanlæg. Det vil være den generelle situation ved etablering af 10-20 kV transformerstationer. Det nemmeste vil være at sørge for, at  $U_T \leq U_{Tp}$ , hvilket også er et krav ved TN-system, med mindre PEN-lederen i lavspændingsnettet er forbundet til jord i flere punkter for at begrænse spændingen på nullederen.

Berøringsspændingen  $U_T$  afhænger af potentialstigningen  $U_E$  på jordingsanlægget og af jordingsanlæggets udformning og jordens beskaffenhed.  $U_T$  kan ikke overstige potentialstigningen  $U_E$ . Hvis der som tidligere nævnt sørges for, at den tilladelige berøringsspænding  $U_{Tp} \geq U_E = I_E \cdot Z_E$ , og at den i TN-systemer ikke vedvarende overstiger 75 V, er man på den sikre side.

Ønskes en mere nøjagtig dimensionering, skal der som tidligere nævnt tages hensyn til skærmfaktoren (reduktionsfaktoren), idet en del af jordstrømmen ledes tilbage gennem skærmen i højspændingskablerne. Se tabel 5 i afsnit 2.

## 6.5 Beskyttelse mod indirekte berøring – Lavspænding

Lavspændingstavler herunder kabelskabe, stikkontakter og belysningsarmaturer skal beskyttes mod indirekte berøring efter de metoder, der er beskrevet i 471.2 i afsnit 6. Ved TT-system skal jordingsanlægget bruges som beskyttende jordforbindelse inden for stationsområdet.

### Eksempel på dimensionering af ledning 2, 3 og 5

#### Ledning 2

Efter afsnit 6:  $S_{\min} = 10 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$  og vælges eller beregnes som ledning 3 og 5

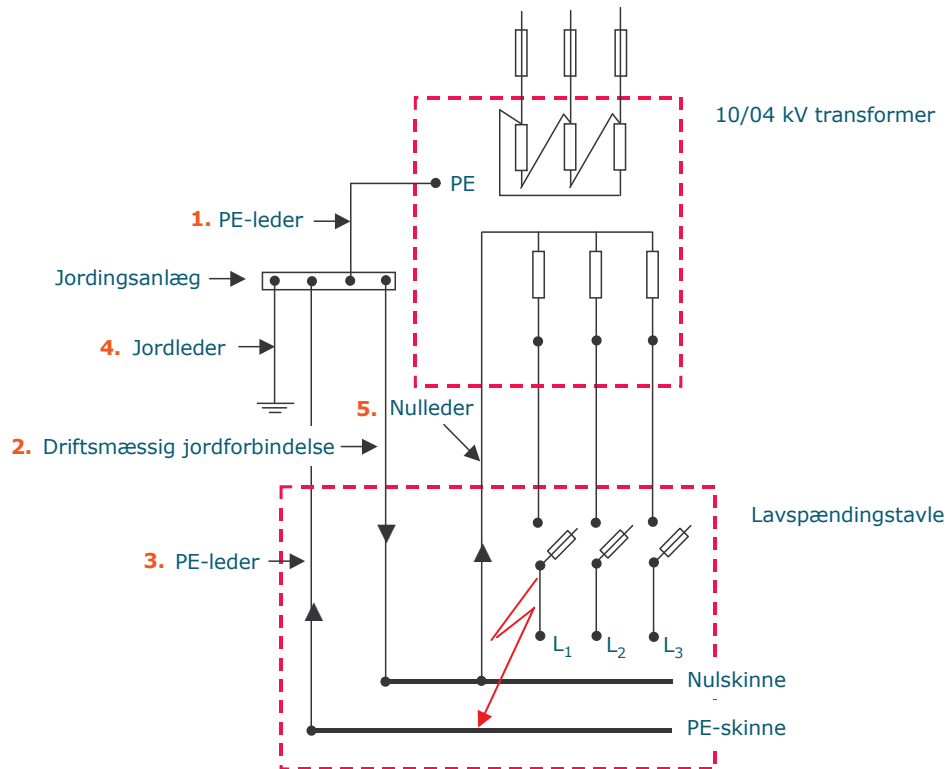
#### Ledning 3 og 5

Efter afsnit 6: vælges efter tabel 54 eller beregnes  $S^2 \cdot k^2 \geq I^2 \cdot t \text{ [A}^2 \text{ sek]}$   
 $k \sim 194$  for isolerede Cu-ledere

$I$  er fejlstrømmen ved en enfaset jordslutning (stelslutning) i lavspændingstavlen

$$t \leq 5 \text{ sek}$$

Se dog note 6 på side 55 i afsnit 6 eller 413.1.2.2



- Eks.  $S_{KN} = 100 \text{ MVA}$   
 $S_{TR} = 400 \text{ kVA}$   
 $U_N = 400 \text{ V}$   
 $\epsilon_K = 5 \%$   
 $k = 194 \text{ for Cu}$   
 $t = 5 \text{ sek}$   
 $S = X$

$$S^2 \cdot k^2 \geq I^2 \cdot t \text{ [A}^2 \text{ sek]}$$

$$I \sim I_{K3} = \frac{S_{KN} \cdot S_{KT}}{(S_{KN} + S_{KT}) \cdot \sqrt{3} \cdot U_N} \text{ [A]}$$

$$S_{KT} = S_T \cdot \epsilon_K$$

$$X^2 \cdot 194^2 \geq \left( \frac{100 \cdot 10^6 \cdot 400 \cdot \frac{100}{5}}{\left( (100 \cdot 10^6 + 400 \cdot \frac{100}{5}) \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \right)} \right)^2 \cdot 5 \text{ [A}^2 \text{ sek]}$$

$$X^2 \cdot 194^2 \geq (10.704)^2 \cdot 5 \text{ [A}^2 \text{ sek]}$$

$$X \geq \sqrt{5} \cdot \frac{10.704}{194} = 123 \text{ mm}^2, \text{ dvs. } 120 \text{ mm}^2$$

Ønskes en mere nøjagtig dimensionering, skal impedanserne i ledningerne medregnes.

## **Udstyr til adskillelse og afbrydning**

### **7.1 Udstyr til adskillelse af anlæg eller apparater - Højspænding**

Der skal forefindes udstyr, således at hele anlægget eller dele deraf kan adskilles, afhængig af kravene i driftsbestemmelserne.

- Det kan opnås ved hjælp af adskillere eller lastadskillere (se 5,2) eller ved afbrydelse af en del af anlægget, fx fjernelse af lasker eller kabelstropper. I sidstnævnte tilfælde, se 4.4.1 i afsnit 2. Anlæg eller dele af anlæg, som kan spændingssættes fra flere kilder, skal udføres således, at alle disse kilder kan adskilles.

### **7.2 Adskillelse og afbrydning - Lavspænding**

Enhver strømkreds skal kunne adskilles fra hver af de spændingsførende forsyningsledere. I TN-S systemer kræves ingen adskillelse af nullelederne. I TN-C systemer må PEN-ledere ikke adskilles eller afbrydes. Adskillelse kan fx opnås ved

- flerpoledede eller enpoledede adskillere og lastadskillere
- stikpropper og stikkontakter
- smeltesikringer
- skillestykker
- særlige klemmer, der ikke kræver fjernelse af en ledning.

Ved stikledningers tilslutning til forsyningsledninger (i kabelskabe eller luftledning), hvor adskillelsen for faseledere opnås ved fjernelse af smeltesikringer, kræves ikke adskillelse for nullelederen. Nullelederen kan forbindes til en skrueklemme e.l. Med hensyn til adskillelse af nulleledere i lavspændingsforsyningsanlæg kan en adskillelse af faserne på højspændingssiden accepteres. Nullelederne kan således tilsluttes lavspændingsforsyningstavler ved anvendelse af klemmer, kabelsko e.l. Hvis lavspændingstavlen er beskyttet mod indirekte berøring ved TN-system, forlanges nullelederen ikke adskilt.

Der forlanges heller ikke en separat adskiller for ledningerne mellem lavspændingsklemmerne på en transformer og lavspændingsforsyningstavlen. En adskillelse på højspændingssiden af transformeren er fyldestgørende. På samme måde kan adskiller udelades for ledningerne fra lavspændingsforsyningstavlen til tavlen til bygningsinstallationen, når der vælges ledninger efter tabel 5 i DS/EN 60439-1:2002 Lavspændingstavler - Del 1: Typetestede og delvis typetestede tavler.

## **Identifikation af koblingsudstyr og mærkning vedrørende overstrømsbeskyttelse. Lavspændingsgeneratoranlæg. Lavspændingstavler**

### **8.1 Identifikation af koblingsudstyr**

Koblings- og betjeningsudstyr skal forsynes med en mærkning, der angiver hvilke dele af anlægget, det betjener, med mindre der ikke er mulighed for forveksling.

Ved enhver overstrømsbeskyttelse (lavspænding) skal der findes en holdbar mærkning, der angiver en sikrings største tilladte mærkestrøm eller størst tilladte indstillingsstrøm for maksimalafbryder e.l. Mærkning kræves dog ikke ved stikledningens tilslutning til forsyningsledningerne i et kabelskab eller til en luftledning, men det anbefales at etablere en sådan mærkning.

### **8.2 Lavspændingsgeneratoranlæg**

Lavspændingsgeneratoranlæg skal være udført og skal tilsluttes efter kapitel 55 eller kapitel 816 i afsnit 6.

Generatoranlæg, der forsyner lavspændingsforsyningsanlæg, tillades tilsluttet tavler i stationsrum, kabelskabe og luftledninger efter hidtidig praksis – dvs. nullederen må anvendes til driftsmæssig jordforbindelse, når nullederens forbindelse til transformerstationens jordingsanlæg er sikret.

### **8.3 Lavspændingstavler i ikke fabriksfremstillede transformerstationer/ Lavspændingsdirektivet (LVD)**

Lavspændingstavler i elforsyningsanlæg og til elektriske bygningsinstallationer er omfattet af LVD. Tavlefabrikanten skal udfærdige og opbevare en overensstemmelseserklæring for hver tavletype, bl.a. med angivelse af, hvilke standarder, der er lagt til grund for tavlernes udførelse. Derefter skal tavlerne CE-mærkes, og der skal udfærdiges et teknisk dossier.

### **8.4 Tavlestandarderne**

Tavlerne forlanges ikke udført efter en bestemt standard, men de grundlæggende sikkerhedskrav i LVD opfyldes nemmest, hvis tavlerne udføres efter DS/EN 60439-1:2002 Lavspændingstavler – Del 1: Typetestede og delvis typetestede tavler og efter DS/EN 60439-3 for små bygningstavlers vedkommende.

En delvis typetestet tavle (en PTTA-tavle) indeholder dele, som er typetestede, og dele som ikke er typetestede, men som ved beregnede, fremskrevne eller tilbageførte værdier af data for typetestede tavlekomponenter er konstateret som gode nok. Kanalskinnesystemer, tavler for lægmandsbetjening, byggepladstavler og kabelfordelingsskabe skal være typetestede tavler (TTA-tavler).

## 8.5 Karakteristiske elektriske data for tavler

Tavler fremstilles efter den aktuelle spænding, som de skal tilsluttes. Men der er forskel på, om spændingssikkerheden refererer til en såkaldt isolationsmærkespænding, eller om spændingssikkerheden også er afpasset en bestemt mærkeimpulsholdespænding.

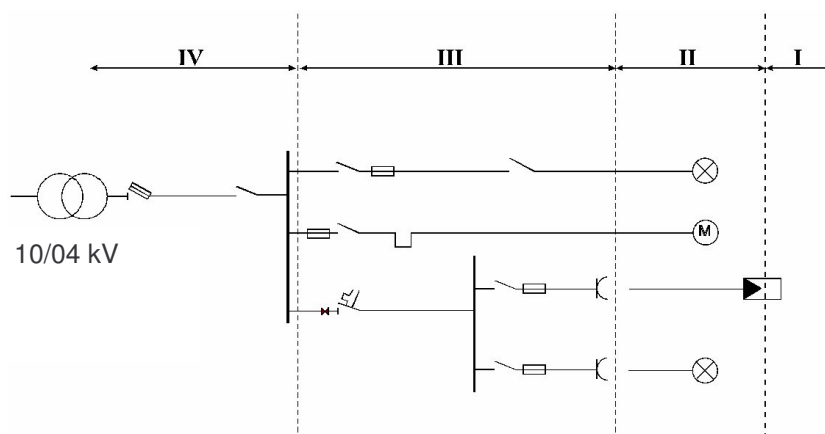
En tavle, der er udført for en bestemt isolationsmærkespænding og for en bestemt mærkeimpulsholdespænding, er i stand til at modstå topværdien af denne impulsspænding, uden at der opstår fejl. Det siger sig selv, at der er tale om en særlig god tavleudførelse, hvad driftssikkerhed angår.

Ved tavler, som ønskes udført for en bestemt isolationsmærkespænding og for en bestemt mærkeimpulsholdespænding, kan der drages nytte af, at en ude fra kommende overspænding dæmpes ved forløbet gennem stikledningen, tavleskinner, hoved- og gruppeledning og i brugsgenstande med eller uden indbygget overspændingsbeskyttelsesudstyr. Dette princip kaldes isolationskoordinering.

## 8.6 Overspændingskategorier

Der er tale om 4 overspændingskategorier

- I: Specielt beskyttet niveau
- II: På belastningsniveau
- III: I fordelingsstrømkredse
- IV: Ved eller nær ved installationens forsyningspunkt



På spændingskategori IV er mærkeimpulsholdespændingen 6 kV i Danmark

## 8.7 Oplysninger om tavler

Fabrikantens navn eller varemærke samt typebetegnelse, identifikationsnummer eller anden identifikationsmåde skal altid være angivet på en mærkeplade på tavlen. Ud fra teksten på mærkepladen skal det være muligt at kunne kontakte tavlefabrikanten og fortælle, hvilken slags tavle der er tale om.

Øvrige oplysninger om tavlen skal, hvor de finder anvendelse (er aktuelle), være til stede fx i en plastlomme inde i tavlen eller i fabrikantens tekniske dokumentation.

Tavlefabrikanten skal medlevere dokumenter eller angive eventuelle betingelser i kataloger for installation, drift og vedligeholdelse af tavlen og det indgående materiel.

Tavler, som fremstilles ved brug af standardkomponenter, skal også CE-mærkes, og der skal udstedes og opbevares en overensstemmelseserklæring, hvis der er tale om salg eller markedsføring, fx ved internt salg i et elforsyningsselskab. Hvis typeprøverne efter tavlestandarden er udført af leverandøren af tavlekapslingen, kan overensstemmelseserklæringen være angivet i leverandørens kataloger og brochurer, ligesom den tekniske dokumentation kan udformes med henvisning hertil.

Tavlefabrikanten skal give de oplysninger, som er nødvendige for at opnå en effektiv kortslutningsbeskyttelse ved installation af tavlen. Oplysningerne skal være til stede i eller på tavlen, enten i form af en mærkning eller anbragt løst i en lomme i tavlen.

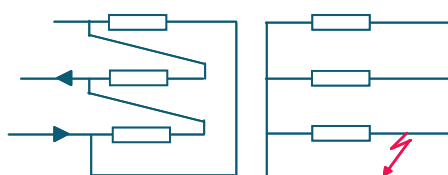
Det er fint, hvis tavlefabrikanten angiver en bestemt sikringstype og dennes mærkestrøm eller en bestemt type maksimalafbryder og dennes indstilling samt størst tilladelige kortslutningsstrøm.

Ved valg af smeltesikringer eller maksimalafbryder skal tavlefabrikantens oplysninger respekteres. Den aktuelle kortslutningsstrøm må ikke være større end tavlefabrikantens angivelser. På den anden side skal der være tilstrækkelig kortslutningseffekt, så afbrydelse af en kortslutning finder sted.

Hvis tavlefabrikanten ikke foreskriver en bestemt sikringstype eller maksimalafbrydertype, men angiver generelle værdier i form af mærkestrøm, brydeevne, brydestrøm,  $I^2 \cdot t$  m.v., vil det være nødvendigt at kontrollere, at disse ting er opfyldt ved det valgte materiel (sikringer eller maksimalafbryder).

Ofte vil det være sikringer eller relæudstyret på højspændingssiden af transformeren, som både skal yde kortslutningsbeskyttelse af transformeren og kortslutningsbeskyttelse af lavspændingstavlen.

Der skal regnes med boltede impedansløse kortslutninger. Kortslutningsstrømmen på højspændingssiden vil afhænge af kortslutningseffekten på højspændingsnettet, transformerstørrelsen og af fejltypen. Ved en D/Y-koblet transformer vil strømmen fordele sig som vist på følgende skitse:



### Enfaset fejl

Der går kun fejlstrøm i to faser på 10 kV siden, denne strøm er 58 % af strømmen ved en trefaset fejl

## **8.8 Typeprøver og rutineprøver**

Hver tavletype skal bestå af en række typeprøver én gang for alle. Samtlige fabrikerede tavler skal underkastes rutineprøver. Tavler, som fremstilles af standardiserede komponenter fra andre fabrikanter udelukkende ved anvendelse af dele og tilbehør, som til formålet er specificeret eller leveret af dem, skal rutineprøves af den, der som fabrikant færdiggør tavlen.

Rutineprøverne har til formål at afsløre fejl i materialer og ved den løbende håndværksmæssige udførelse. Rutineprøverne omfatter inspektion af tavlerne, spændingsprøve samt kontrol af beskyttelsesforanstaltninger (fx kontrol af kapsling og af den gennemgående elektriske forbindelse i beskyttelseskredsen). Rutineprøverne omfatter alle producerede tavler.

### **Kontrol af spændingssikkerhed**

Der skal foretages en spændingsprøve efter DS/EN 60439-1, tabel 10, dvs. med en prøvespænding på 2000 V eller med et isolationsprøveapparat (megger) ved en spænding på mindst 500 V (eller tabel 13 og 15 hvis der er tale om tavler, der er udført for en bestemt isolationsmærkespænding og for en bestemt mærkeimpulsholdespænding). Se DS/EN 60439-1, 8.3.2. Prøvespændinger for kapslinger på totaliserede tavler er under overvejelse, - dvs., at der for sådanne tavler ikke er angivet værdier for spændingsprøver.

## **8.9 Kontrol af kortslutningsholdbarhed**

Kontrol af kortslutningsholdbarhed kræves ikke for alle tavledele (skinner, skinnebæringer, tilslutninger til skinner, indgangs- og udgangsenheder, afbrydere osv.), som allerede har gennemgået typeprøvning under betingelser, som gælder i tavlen. Det er en forudsætning, at leverandørens installationsanvisninger følges.

## **8.10 Installation af tavler**

Tavler skal installeres efter kapitel 814 i afsnit 6. Kanalskinner skal installeres efter kapitel 815 i afsnit 6.

## **8.11 Lavspændingstavler i fabriksfremstillede transformerstationer efter EN 61330**

Tavler i fabriksfremstillede transformerstationer efter EN 61330 High-voltage/low-voltage prefabricated substations skal være udført efter DS/EN 60439-1:2002, Lavspændingstavler – Del 1: Typetestede og delvis typetestede tavler.

Tavlerne skal ikke CE-mærkes, hvis der anvendes tavler af eget fabrikat.

## **Eftersyn og afprøvning før idriftsætning**

### **9.1 Eftersyn og afprøvning før idriftsætning - Højspændingsluftledninger over 45 kV**

EN 50341-1:2001 Overhead electrical lines exceeding AC 45 kV Del 1: Almindelige krav – fælles specifikationer indeholder regler for checks, taken over and documentation/Quality assurance, som der ikke er danske afvigelser til.

### **9.2 Eftersyn og afprøvning før idriftsætning - Højspændingskabler og lavspændingsforsyningsanlæg**

Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 2, udførelse af elforsyningsanlæg har et kapitel 10, der indeholder bestemmelser for eftersyn og afprøvning på stedet før idriftsætning.

### **9.3 Eftersyn og afprøvning før idriftsætning - Lavspændingsforsyningskabler og bygningsinstallationer**

De i stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6, elektriske installationer i kapitel 61 med tilhørende bilag beskrevne eftersyn før idriftsætning skal gennemføres af en sagkyndig person, der er kvalificeret inden for dette område.

Ved afslutning af eftersynet og afprøvningen skal der udarbejdes en rapport, der bør opbevares i 10 år. Der er ikke formkrav til rapporten.

————— o —————