

Jordslutninger i højspændingsdistributionsnet. (10 kV net) .....	5
Beregning af jordslutningsstrømme i et isoleret net. ....	5
Registrering af jordfejl .....	9
Wattmetrisk jordstrømsrelæ. ....	10
Adskillelse og afbrydning. ....	13
(manuel handling) .....	13
Adskillelse. ....	13
Materiale til adskillelse. ....	13
Afbrydning for mekanisk vedligeholdelse. ....	14
Materiel til adskillelse for mekanisk vedligehold. ....	14
Nød afbrydning, herunder nødstop. ....	14
Materiel til nødafbrydning. ....	14
Funktionsafbrydning og materiel. ....	15
Funktionsafbrydning. ....	15
Materiel til funktionsafbrydning. ....	15
Hovedudligningsforbindelser. ....	16
Hovedudligningsforbindelse. ....	16
Supplerende udligningsforbindelser. ....	16
Beskyttelsesledere. ....	16
Jordledere. ....	17
Jordings anlæg. ....	17
Eksempel. ....	17
Dimensionering af ledningssystemer. ....	19
Dimensionerings regler. ....	19
Korrektion for samlet fremføring ( $K_S$ ). ....	20
Korrektion for temperatur ( $K_t$ ). ....	20
Kortslutningsbeskyttelse (KB) .....	20
Bøjelige ledninger i fast installation. ....	21
Tilledninger. ....	21
Selektivitet. ....	22
Selektivitet mellem sikringer. ....	22
Selektivitet mellem maksimalafbrydere. ....	23
Ikke strømbegrænsende maksimalafbrydere. ....	24
LT- Udløser. ( $I_r$ ) .....	24
ST-Udløser. $I_n$ .....	24
Indstillinger. ....	25
Selektivitet mellem strømbegrænsende og ikke strømbegrænsende maksimalafbrydere. ....	26
Selektivitet mellem maksimalafbryder og efterfølgende smeltesikring. ....	27
Fasekompensering. ....	30
Fase kompensering. ....	30
3-Faset kompensering. ....	30
Stjerne koblet kondensator batteri. ....	31
Trekant koblet kondensator batteri. ....	31
Dimensionering. ....	31
Boliger. ....	33
801.433A. ....	33
801.433B. ....	34
BIB. ....	34

Placering.....	34
Antal grupper mm. ....	35
Områder hvor installationen normalt er udsat for fugt eller vand.....	35
BIB.....	35
Valg af materiel.....	36
Koblingsudstyr.....	36
Kapslingsklasser. ....	37
Forsamlingslokaler, butikker og lignende salglokaler.....	38
Undervisningslokaler, fælles adgangsveje og flugtveje.....	38
Installationens opbygning.....	38
Beskyttelse mod brand.....	38
Flugtveje.....	39
Nødbelysning og varslingsanlæg.....	39
Varslingsanlæg.....	40
Midlertidige installationer.....	41
BIB.....	41
Ledningssystemer.....	41
Elektriske forbindelser.....	41
Juleillumination.....	42
Eftersyn.....	42
Spørgsmål 18: Tavler.....	43
Tavlemærkning.....	43
Definitioner.....	43
Mærkning af tavle.....	44
Andre bestemmelser.....	46
Dimensionering af transformerstationer for 10/0,4 kV.....	47
Valg af transformerstørrelse.....	47
Valg af overstrømsbeskyttelse.....	47
Overbelastningsbeskyttelse.....	47
Kortslutningsbeskyttelse.....	47
Paralleldrift af transformere.....	50
Kortslutningsbeskyttelse af parallelle transformere.....	51
Parallelt koblede transformere.....	51
Ikke parallelt koblede transformere.....	52
Dimensionering af jordingsanlæg i transformerstationer for 10/0,4 kV.....	54
Berørings og skridtspænding.....	54
Beskyttelsesjord.....	55
Kortslutningsstrømmen beregnes.....	55
Driftsjord. (Systemjord).....	55
Kortslutningsstrømmen beregnes.....	56
Impedans beregninger.....	56
Net.....	56
Transformer.....	57
Kontstanttidsrelæ.....	57
Impedans beregninger.....	58
Net.....	58
Transformer.....	58
Fællesjord.....	59

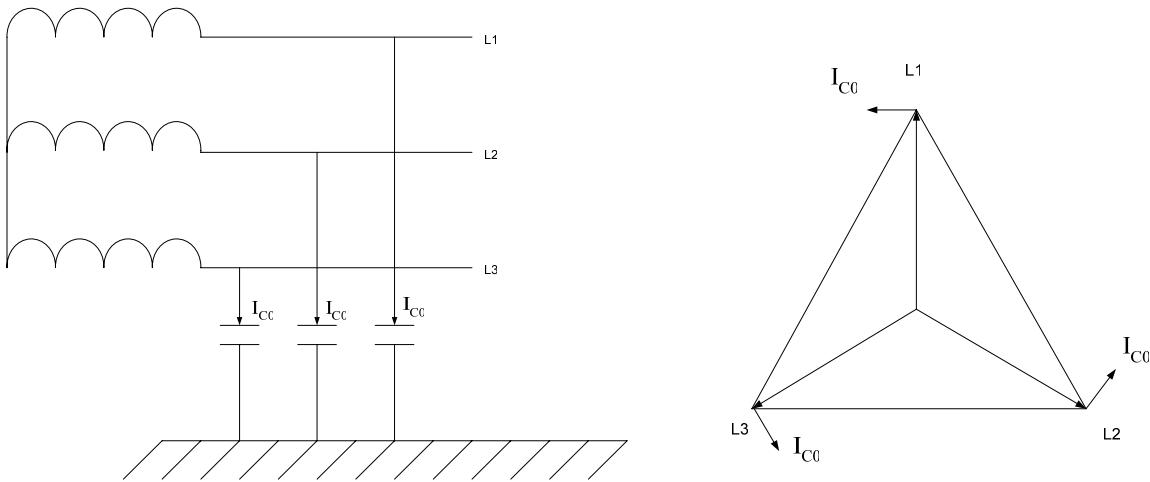
Overgangsmodstand til jord.....	59
Dimensionering af transformerstationer for 10/0,4 kV.....	60
Kortslutninger på primærsiden.....	60
Trefaset kortslutning.....	60
Tofaset kortslutning.....	60
Kortslutninger på sekundærsiden.....	61
Trefaset kortslutning.....	61
Tofaset kortslutning på sekundærsiden.....	62
Enfaset kortslutning på sekundærsiden.....	63
Impedans beregninger.....	64
Net.....	64
Transformer.....	64
HSP-Kabel.....	65
Dimensionering af HSP-Kabel beskyttet af linierelæ.....	65
Dimensionering af HSP-Kabel.....	65
Valg af højspændings kabel.....	66
Transformerstation beskyttet af sikringer.....	66
Satellit station beskyttet af sikringer.....	66
Transformerstation beskyttet af konstanttidsrelæ.....	66
Satellit station beskyttet af konstanttidsrelæ.....	66
Dimensionering af LSP-Kabel.....	67
Kontrol af kortslutningsbeskyttelse.....	67
Dimensionering og udførelse af distributionsnet for lavspænding.....	68
Nettyper:.....	68
Åbne net. (Redekamlinie).....	68
<i>Delvist lukkede net</i> .....	68
Maskenet.....	69
Belastningsgrundlag og valg af kabler.....	69
Boligområder.....	69
City område:.....	70
Landbrugsområder.....	70
Industriområder.....	70
Belastningsstigning.....	71
Valg af kabler.....	71
Dimensionering af kablerne.....	71
Kontrol af kortslutningsbeskyttelse.....	71
Overstrømsbeskyttelse og spændingsfald.....	72
Fluktationer.....	72
Overharmoniske spændinger.....	73
Spændingsusymmetri.....	73
Dimensionering og udførelse af distributionsnet for 10 og 20kV.....	74
Distributionsnet typer:.....	74
Overførelsessevne:.....	74
Relæ beskyttelse af radialnet: (konstanttidsrelæ).....	75
Indstilling af afbrydetid ved kortslutning:.....	75
Beregning af $I >$ :.....	76
Spændingsfald.....	76
Radiallinie:.....	76

Ringnet:.....	77
Skinner i LSP-Tavler.....	78
Dimensionering.....	78
Strømbelastning.....	78
Dynamisk påvirkning under kortslutning.....	78
Termisk påvirkning under kortslutning.....	81

## Jordslutninger i højspændingsdistributionsnet. (10 kV net)

### Beregning af jordslutningsstrømme i et isoleret net.

s. 113, 181 og 209 # 5.



*Ikke fejlrant.*

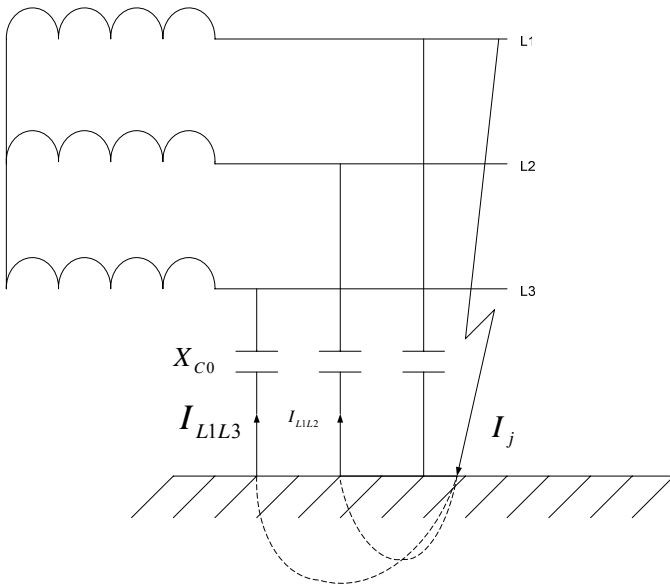
$X_{C0}$  Beregnes som:

$$X_{C0} = \frac{1}{\omega C_0} \quad X_{C0} \text{ er den samlede reaktans i nettet pr fase.}$$

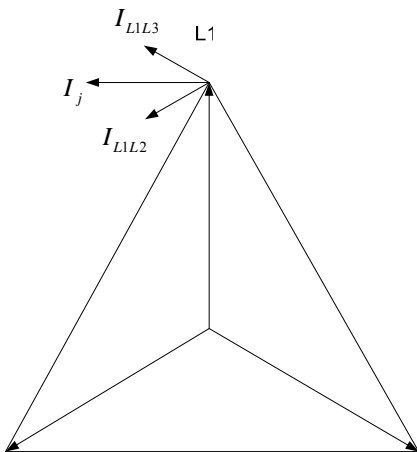
$$I_{C0} = \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot X_{C0}}$$

Isoleret net med jordslutning.

Mundtlige prøvespørgsmål M5a. Forår 2004



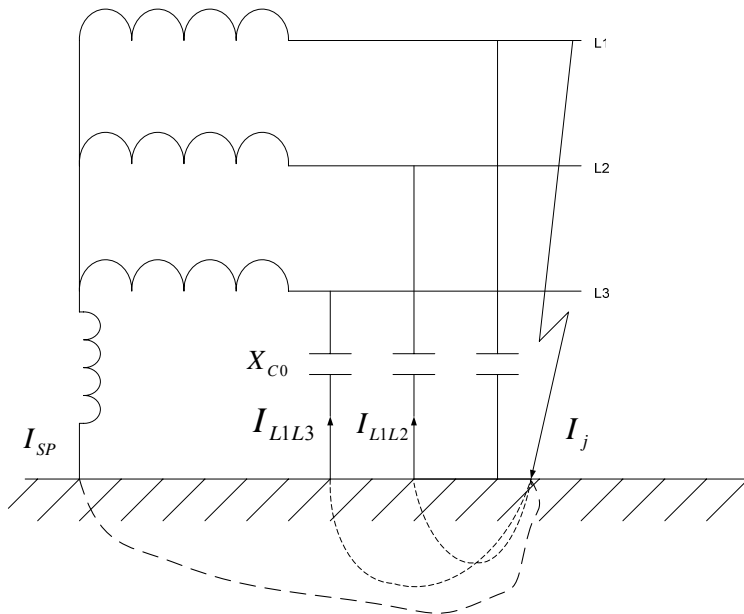
$$\vec{I}_j = \vec{I}_{L1L3} + \vec{I}_{L1L2}$$



$$I_{L1L3} = I_{L1L2} = \frac{U_N}{X_{C0}} = \sqrt{3} \cdot I_{C0}$$

$$I_j = \sqrt{3} \cdot I_{L1L3} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{3} \cdot I_{C0} = 3 \cdot I_{C0}$$

Jordfejl på slukkespolejordet net.



Med et slukkespolejordet net er det teoretisk muligt at få en jordstrøm på 0. Dette forudsætter dog at slukkespolen er ideel.

Dimensionering af den ideelle slukkespole:

$$|\vec{I}_{SP}| = |\vec{I}_{L1L2} + \vec{I}_{L1L3}| = 3 \cdot I_{C0}$$

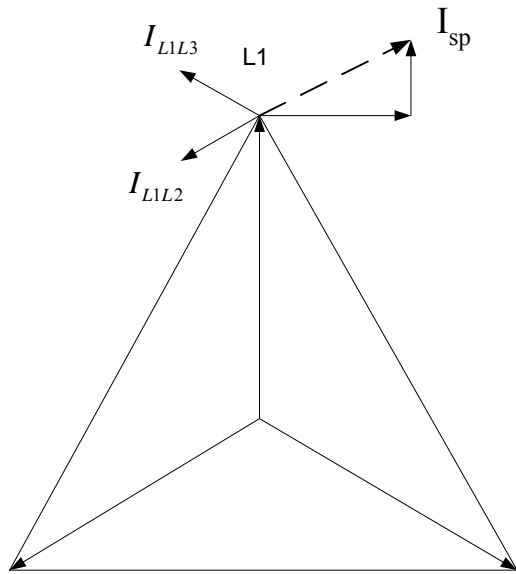
$$X_{SPOLE} = \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot I_{SP}} = \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot 3 \cdot I_{C0}} = \frac{X_{C0}}{3}$$

$$X_{SPOLE} = \frac{X_{C0}}{3} \Rightarrow 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_0 \cdot 3} \Rightarrow$$

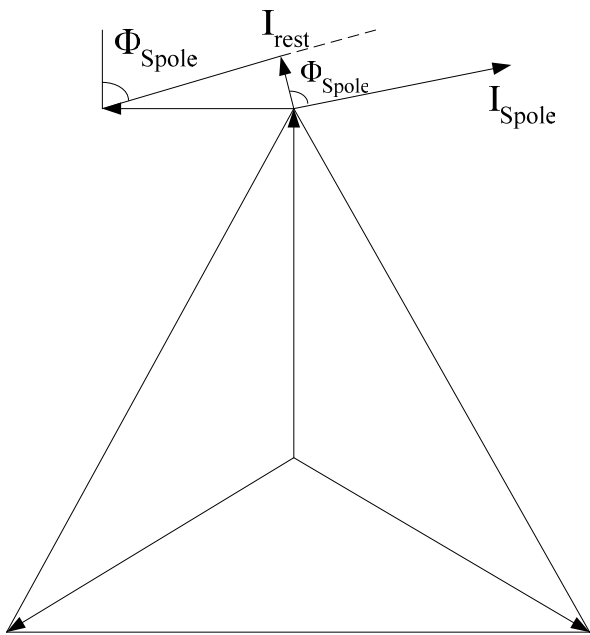
$$L = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot C_0 \cdot 3} = \frac{1}{\omega^2 \cdot C_0 \cdot 3}$$

Da det ikke er praktisk muligt at lave en ideel spole, vil der være en rest strøm.

Ideel spole.



Ikke ideel spole.

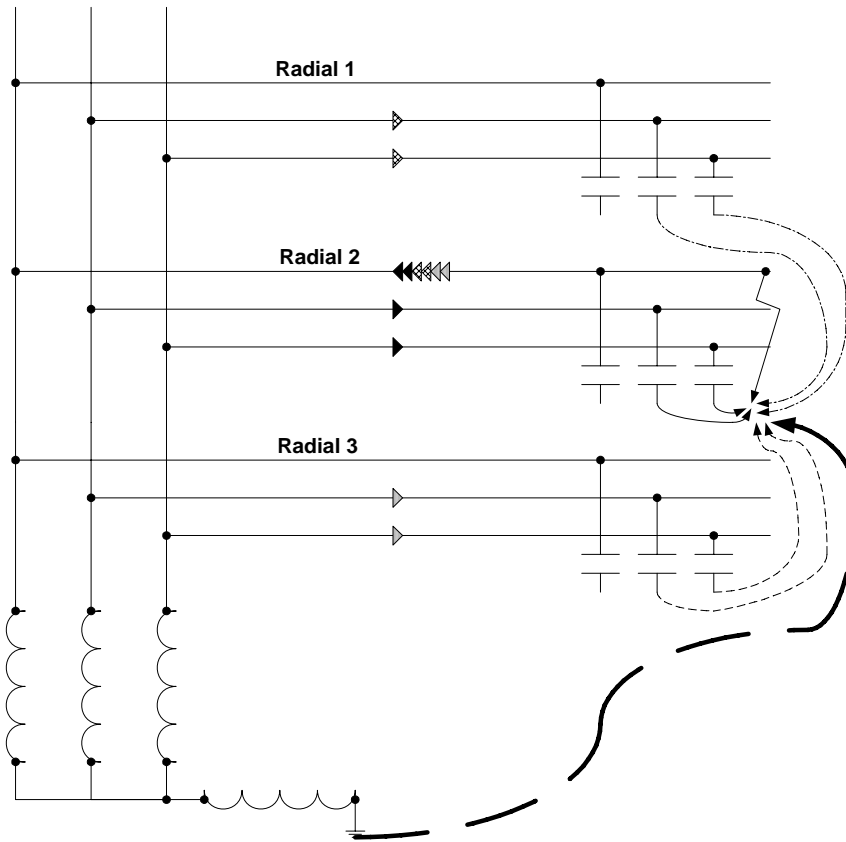


Reststrømmen er minimum når:

$$I_{Rest\ min} = 3 \cdot I_{CO} \cdot \sin(90 - \varphi_{spole})$$

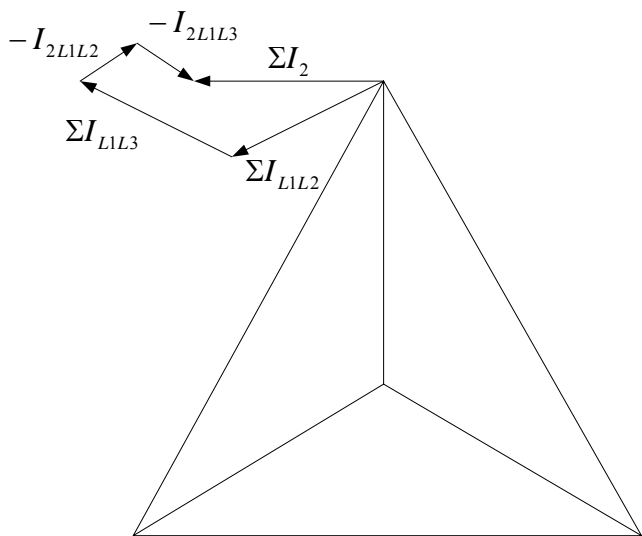


### Registrering af jordfejl.



Sumstrømsmåling:

Svær at anvende i praksis.



## Mundtlige prøvespørgsmål M5a. Forår 2004

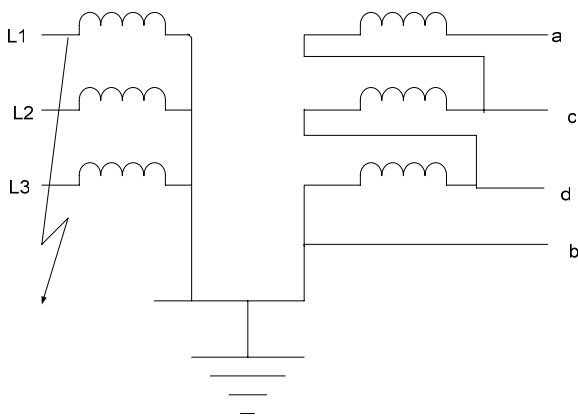
$$\Sigma I_2 = 3 \cdot I_{C01} + 3 \cdot I_{C03}$$

For at sumstrømsmåling skal kunne bruges kræves:

$$3 \cdot I_{C02} > 3 \cdot I_{C01} + 3 \cdot I_{C03}$$

Kan dette ikke opfyldes må man foretage måling med wattmetrisk jordstrømsrelæ.

### Wattmetrisk jordstrømsrelæ.



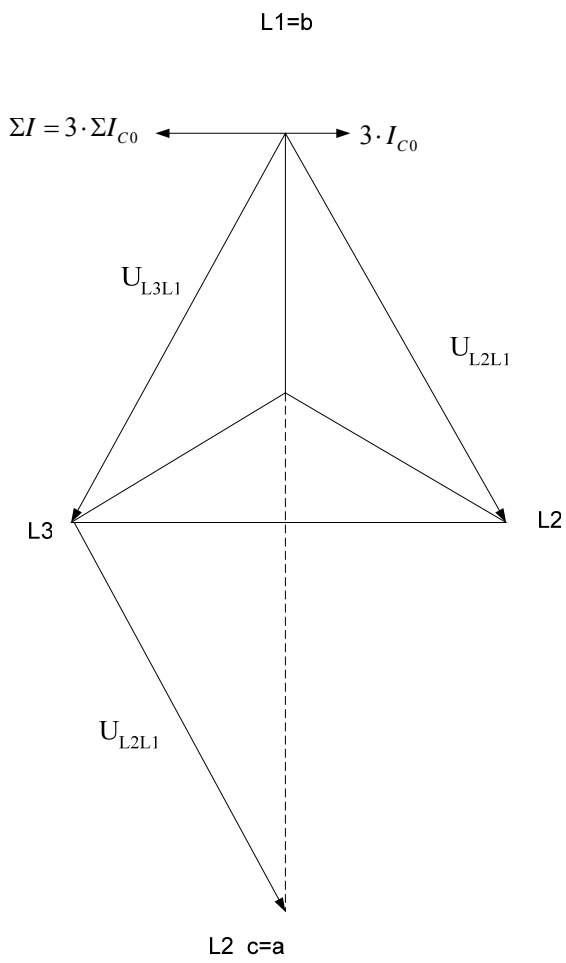
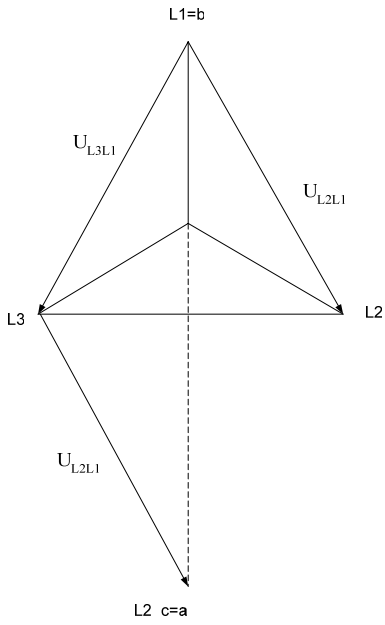
I fejlfrit net vil summen af fasespændingsvektorer være lig nul.

$$\frac{1}{k_u} \cdot (\vec{U}_{L1-N} + \vec{U}_{L2-N} + \vec{U}_{L3-N}) = 0$$

Ved en fejl vi ”sekundær” spolen have netspænding over sig.

$$\vec{U}_{ab} = \frac{1}{k_u} \cdot (\vec{U}_{L3-L1} + \vec{U}_{L2-L1})$$

Mundtlige prøvespørgsmål M5a. Forår 2004



## Mundtlige prøvespørgsmål M5a. Forår 2004

De ikke fejlramte radialer bærer stadig  $3 \cdot I_{C0}$  mens den fejlramte radial bærer  $\Sigma I = 3 \cdot \Sigma I_{C0}$  beliggenheden er som på diagrammet. For fejlramt se tegning tidligere. Ikke fejlramte ligger  $180^\circ$  foran sumstrømmen i den fejlramte radial.

Det ses at en wattmeter måling vil give det samme udslag på alle radialer (0W) Da :

Fejlramt radial:

$$P = U_{ab} \cdot 3 \cdot \Sigma I_{C0} \cdot \cos 90 = 0$$

Ikke fejlramt radial:

$$P = U_{ab} \cdot 3 \cdot I_{C0} \cdot \cos -90 = 0$$

Det er derfor nødvendigt dreje strømmen  $90^\circ$  med uret for at få brugbare målinger.

Fejlramt radial:

$$P = U_{ab} \cdot 3 \cdot \Sigma I_{C0} \cdot \cos 180 = -U_{ab} \cdot 3 \cdot \Sigma I_{C0}$$

Ikke fejlramt radial:

$$P = U_{ab} \cdot 3 \cdot I_{C0} \cdot \cos 0 = U_{ab} \cdot 3 \cdot I_{C0}$$

Der vil så registreres negativ effektretning i fejlramt radial og positiv effektretning i ikke fejlramt radial.

## **Adskillelse og afbrydning.**

### **(manuel handling)**

Dette første stykke behandler adskillelse og afbrydning med foranstaltninger til ikke automatisk adskillelse og afbrydning altså ikke overstrøm beskyttelse og kortslutningsbeskyttelse. Se § 460 til § 465.3.3 (side 98 til 100)

#### **Almindeligt.**

Materiellet skal kunne overholde følgende 2 betingelser (§ 537.2.1.1 side 200).

1. når materiellet er nyt og tørt skal det i åben stilling kunne holde til impulsspændinger som er angivet i Tabel 53A (side 201)
2. Læk strømmen over åbne poler må ikke overskride.
  - 0.5mA i hver pol for nyt materiel som er rent og tørt.
  - 6mA over hver pol, ved slutningen af materiellets konventionelle leve tid.

I TN-C systemer må PEN- lederen ikke adskilles eller brydes.

I TN-S systemer kræves der ikke adskillelse eller afbrydning af nullederen hvis den med sikkerhed kan antages at have jord potentiale.

### **Adskillelse.**

Enhver strømkreds skal kunne adskilles fra de spændings førende forsyningskabler med udtagelse af PE- lederen.

Ved adskillelse skal der ifølge § 537.2 (side 201) være et synligt tegn på adskillelse. Og halvleder materiel må ikke anvendes til adskillelse.

Der skal træffes forholdsregler der forhindrer at man utilsigtet kan sætte spænding på kredsen igen ved enten:

- Aflåsning.
- Advarselsskilt.
- Anbringelse i et aflåst rum eller kapsling.

Hvis et apparat indeholder spændings førende dele, som er forbundet til flere forskellige strømkredse skal dette være oplyst på et skilt. Såfremt at alle spændings førende dele er sikret af en tvangskobling der sikrer adskillelse fra forsyningen kan skilt undlades.

Hvor det er nødvendigt skal der fortages foranstaltninger til afladning af oplageret energi ved adskillelse (kondensator virkning)

### **Materiale til adskillelse.**

Til adskillelse skal fortrinsvis anvendes flerpolet koblingsmateriale som frakobler alle poler i den pågældende forsyning. Enpolet materiel anbragt ved side af hinanden kan også anvendes.

Der kan anvendes.

- Flerpolet eller enpolet adskillere og lastadskillere.
- Stikpropper og stikkontakter.
- Smelte sikringer.

- Skillestykker.
- Særlige klemmer der ikke kræver fjernelse af en ledning.

Materiel der anvendes til adskillelse skal være let genkendeligt og det skal tydeligt være genkendeligt hvilken strømkreds der bliver adskilt.

### **Afbrydning for mekanisk vedligeholdelse.**

Der skal forefindes midler til afbrydning for mekanisk vedligeholdelsesarbejde.

Der skal træffes forholdsregler for at forhindre at der kan ske en utilsigtet genindkobling af materiel under mekanisk vedligeholdelsesarbejde ved f.eks. en af følgende metoder.

- Aflåsning
- Advarselsskilt.
- Anbringelse i aflåst rum.

### **Materiel til adskillelse for mekanisk vedligehold.**

Materiel til afbrydning for mekanisk vedligeholdelse skal fortrinsvis anbringes i hovedforsyningsstrømkredsen.

Afbrydning kan opnås af f.eks.

- Flerpolede afbrydere.
- Maksimalafbrydere.
- Styrefafbrydere, der påvirker kontaktorer.
- Stikpropper og stikkontakter.

### **Nød afbrydning, herunder nødstop.**

Der skal være midler til nødafbrydning i alle installationer hvor det er nødvendigt for at kunne afbryde eller styre forsyningen for at fjerne uventet fare.

Nødafbryderen skal bryde alle spændingsførende ledere bortset fra nullederen hvis den kan antages at have potentiale af jord (TN-S systemer).

Nødafbryderen skal virke så direkte som muligt dvs. at forsyningen skal kunne afbrydes ved en manøvre.

Nødafbryderen skal virke således at den ved brydning ikke tilføre mere fare eller griber ind i den samlede manøvre.

Nødafbrydere skal forefindes elektriske frembragte bevægelser kan give anledning til fare.

### **Materiel til nødafbrydning.**

Materiel til nødafbrydning skal mindst kunne bryde fuldlaststrømmen.

Midler til nødafbrydning kan bestå af.

- Afbrydere i hovedstrømskredsen.
- Trykknapper i styrer strøms kredsen (hjælpekredsen)

Stikpropper og stikkontakter må ikke anvendes til nødafbrydning.

Frigørelse af en nødafbryder må ikke bevirke genindkobling af den pågældende del af installationen og materiellet skal være let genkendeligt og egnet til formålet.

## ***Funktionsafbrydning og materiel.***

### **Funktionsafbrydning.**

Der skal forefindes materiel til funktionsafbrydning for enhver del af en strømkreds hvis denne del skal kunne styres uafhængigt af andre dele af installationen (stikkontakt)

Materiel til funktionsafbrydning behøver ikke at afbryde alle spændingsførende ledere i strøm kredsen.

Enpolet koblingsudstyr må ikke anbringes i nullederen, dvs. det er fasen der skal afbrydes.

Generelt skal alle brugsgenstande kunne ind og udkobles med koblingsudstyr egnet til funktionsafbrydning. Det samme koblingsudstyr kan godt styre flere brugsgenstande hvis de er beregnet til at fungere samtidigt.

Stikpropper og stikkontakter med en mærke strøm der ikke er større ind 16A må godt anvendes til funktionsafbrydning.

Koblingsudstyr mellem forskellige strømkilder skal koble alle spændingsførende ledere og må ikke kunne sætte strømkilder i parallel medmindre installationen er specielt indrettet hertil.

Styrekredse skal udformes, anbringes og beskyttes således at det begrænser de farer der kan opstå ved en fejl mellem styrekredsen og andre ledende dele føre til fejl funktion af det styrende apparat, ved f.eks. en utilsigtet manøvre. Dvs. at nødafbrydere skal sidde foran kontakter f.eks.

Styre kredse for motorer skal udformes således at en motor forhindres i at genstarte automatisk efter standsning. Der skyldes spændings sænkning eller spændings svigt, hvis en genstart kan medføre fare.

Ved modstrømsbremsning af en motor skal der træffes foranstaltninger der undgår en ændring af omløbsretningen efter bremsning, hvis sådan en ændring kan medføre fare. Dvs. at der skal være en foranstaltning der kan fortælle hvornår akslen står stille.

### **Materiel til funktionsafbrydning.**

Materiel til funktionsafbrydning kan f.eks. være:

- Afbrydere.
- Halvleder materiel.
- Maksimalafbrydere.
- Kontakter.
- Relæer.
- Stikpropper og stikkontakter med en mærkestrøm på højst 16A.

Adskillere, smeltesikringer og skillestykker må ikke anvendes til funktionsafbrydning.

## Hovedudligningsforbindelser.

### Hovedudligningsforbindelse.

Ifølge § 413.1.2.1 (side 55) skal hovedbeskyttelseslederen, hovedjordlederen, hovedjordklemmen i enhver bygning forbindes til hovedudligningsforbindelsen. Følgende fremmede ledene dele skal ligeledes forbindes til hovedudligningsforbindelsen.

- Metalliske rørledninger til forsyning inde i bygningen f.eks. for gas og vand.
- Metalliske konstruktionsdele f.eks. centralvarme, ventilationssystemer.
- Metallisk hovedarmering i betonkonstruktioner hvis det er muligt.
- Jordingsanlæg for lynbeskyttelse.

Disse ledende dele skal tilsluttes hovedudligningsforbindelsen så tæt på det sted hvor de går ind i bygningen.

Se § 547.1.2 (side 217). Ledere til hovedudligningsforbindelser skal have et tværsnit som svare til mindst halvdelen af det største tværsnit af den største beskyttelsesleder i installationen. Dog kræves der ikke et **større tværsnit end 25mm<sup>2</sup>** for kobber ledere og af mekaniske grunde må man ikke anvende et **mindre tværsnit ind 6mm<sup>2</sup>** uanset hvilket leder materiale der anvendes.

### Supplerende udligningsforbindelser.

*Mellem 2 udsatte dele. § 547.1.1 (side 217)*

En supplerende udligningsforbindelse mellem 2 udsatte dele skal have et tværsnit der ikke er **mindre ind tværsnittet af den mindste beskyttelsesleder** der ført ud til en af de udsatte dele.

*Mellem en udsat del og en fremmed ledene del. § 547.1.2 (side 217)*

En supplerende udligningsforbindelse mellem en udsat del og en fremmed ledene del skal have et tværsnit der **ikke er mindre ind halvdelen af tværsnittet** af beskyttelseslederen der er ført ud til den udsatte del.

*Mellem 2 fremmede ledene dele. § 547.1.3 (side 218)*

En supplerende udligningsforbindelse mellem 2 fremmede ledene dele skal mindst have et tværsnit som nævnt i § 543.1.3 (side 215) dvs. 2.5mm<sup>2</sup> hvis det er mekanisk beskyttet og hvis det ikke er mekanisk beskyttet 4mm<sup>2</sup>

Alle supplerende udligningsforbindelser skal overholde § 543.1.3 der angiver mindste tværsnit for en supplerende udligningsforbindelse.

- **2.5mm<sup>2</sup>** hvis beskyttelseslederen er mekanisk beskyttet.
- **4mm<sup>2</sup>** hvis beskyttelseslederen ikke er mekanisk beskyttet.

### Beskyttelsesledere.

*Ved TN- systemer.*

Der er 2 metoder til at vælge PE- leder på til TN- systemer ifølge § 543.1 (side 211)

*Metode 1:* PE- lederen kan vælges i Tabel 54F (side 214) der kan så omregnes fra forskellige leder materialer ved følgende formel.  $S_{CU}=S_{AL}\cdot 0.618$ .

*Metode 2:* Tværsnittet kan beregnes efter formlen i § 543.1.1 som kun må anvendes ved udkoblings tider på under 5sekunder.

$$S \geq \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{k}$$

I begge tilfælde skal § 543.1.3 overholdes.



*Ved TT- systemer.*

Ved TT- systemer sidder der normalt et HPFI- relæ dvs. at der ikke kan løbe en strøm der er højere ind 30mA gennem PE- lederen under normale omstændigheder. Så her kan man holde sig til § 543.1.3 og sige at PE- lederen skal være 2.5mm<sup>2</sup> hvis den er mekanisk beskyttet og 4mm<sup>2</sup> uden mekanisk beskyttelse.

**Jordledere.**

§ 542.3 (side 210) hvis jordlederen skal nedgraves i jord skal den have minimums tværsnit som angivet i § 542.3.1 tabel 54A. som angiver at hvis jordlederen er uden mekanisk beskyttelse skal den have et **tværsnit på minimum 16mm<sup>2</sup> kobber eller varmforzinket jern**. Er lederen med mekanisk beskyttelse skal den overholde § 543.1.3 og være **minimum 2.5mm<sup>2</sup>**.

skal jordlederen nedgraves i jord skal nedgravnings dybden mindst være 0.35m.

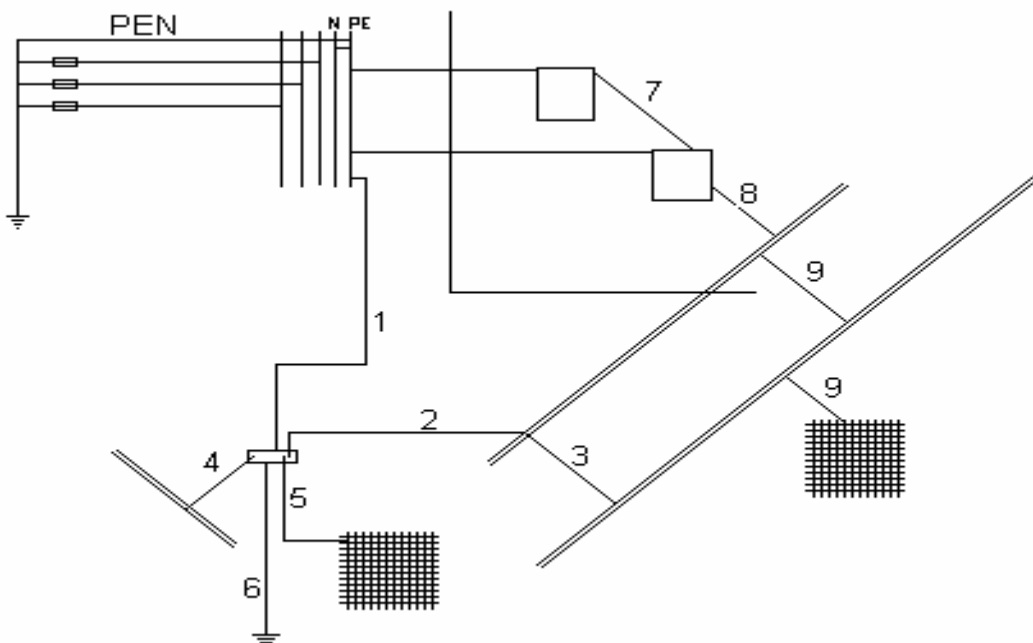
**Jordelektroden** § 542.2 (side 209) følgende typer af jordelektroder kan anvendes. Stang eller rør elektrode – bånd eller tråd elektrode – jordplader – jordelektrode indstøbt i fundamenter – metalarming i beton i jord -

Forbindelsen mellem jordlederen og jordelektroden skal udføres omhyggeligt og forsvarligt og anvendes der en klemme må denne ikke beskadige elektroden eller jordlederen.

**Jordings anlæg.**

?

**Eksempel.**



**TN- systemer.**

*Hovedudligningsforbindelser: -1-2-3-4-5-*

Tværsnittet for disse skal være halvdelen af den største PE- leder i systemet dog behøves maks. 25mm<sup>2</sup> og minimum 6mm<sup>2</sup>.

*Supplerende udligningsforbindelser.*

Mellem 2 udsatte dele **-7-**

Denne leder skal have et tværsnit der ikke er mindre end tværsnittet af den mindste PE- leder der er ført ud til en af de udsatte dele. (dog min  $2.5\text{mm}^2$ )

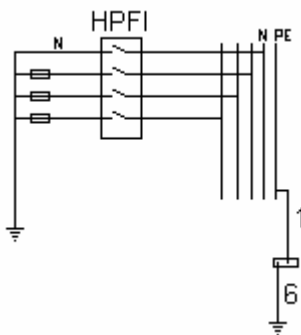
Mellem udsat del og fremmed ledene del **-8-**

Denne leder skal have et tværsnit der minimum er halvdelen af tværsnittet på PE- lederen der er ført ud til den udsatte del. (dog min  $2.5\text{mm}^2$ )

Mellem 2 fremmede ledene dele **-9-**

Lederen skal som sagt overholde § 543.1.3 dvs.  $2.5\text{mm}^2$  hvis beskyttelseslederen er mekanisk beskyttet.  $4\text{mm}^2$  hvis beskyttelseslederen ikke er mekanisk beskyttet.

***TT- systemer.***



Ved TT- systemet er der kommet en jordleder på -6- og -1- er gået hen og blevet en beskyttelses leder. Dette er jo fordi man ikke trækker en PEN- eller PE- leder med ude fra transformerens NUL- punkt.

*PE- leder -1-*

Ved TT- systemer sidder der HPFI dvs.  $I_{PE\text{-maks}} = 30\text{mA}$ . Så her vælges PE- leder ifølge § 543.1.3 som betyder,  $2.5\text{mm}^2$  hvis beskyttelseslederen er mekanisk beskyttet.  $4\text{mm}^2$  hvis beskyttelseslederen ikke er mekanisk beskyttet.

***Hovedudligningsforbindelser -2-3-4-5-***

Her er det kun nødvendigt med halvdelen af den nødvendige PE- leder og denne er  $2.5\text{mm}^2$   
 $S = \frac{1}{2} \cdot 2.5 = 1.25\text{mm}^2$  dog må der minimum anvendes  $6\text{mm}^2$  uanset hvilket leder materiale der er tale om og der behøves maks.  $25\text{mm}^2$ .

*Jordleder -6-*

Jordlederen skal have et tværsnit på  $2.5\text{mm}^2$  hvis den er mekanisk beskyttet og  $16\text{mm}^2$  (kobber eller varmforzinket jern) hvis den ikke er mekanisk beskyttet.

*De supplerende udligningsforbindelser -7-8-9- er som ved TN- systemer.*

## Dimensionering af ledningsystemer.

### Dimensionerings regler.

De kabler man vælger at oplægge i sin strømkreds skal under normale omstændigheder være overbelastningsbeskyttet. Og man stiller i SBA6 § 433.2 (side 71) krav til at dette OB- udstyr skal overholde følgende 2 betingelser.

$$1. I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$2. I_2 \leq 1.45 \cdot I_Z$$

hvor:

$I_2$  er den strøm der sikre effektiv udløsning af beskyttelsesudstyret ved den konventionelle tid. Som forenkling kan  $I_2$  vælges ud fra fabrikantens udløserkurver som udløser strømmen ved 1 time.

$I_N$  er beskyttelsesudstyrets mærkestrøm.

$I_Z$  er lederens strøm værdi, om nødvendigt korrigeret for omgivelses temperatur.

$I_B$  er strømkredsens forventede belastningsstrøm.

Man kan så ud fra disse 2 betingelser dimensionere sine kabler. Dvs. at når man vælger et kabel til sin installation ud fra hvilket OB- udstyr der skal beskytte kablet skal man blot overholde begge betingelser. Man kan omskrive betingelserne som vist nedenunder så de bliver lidt mere brugervenlige.

$$1. I_Z \geq I_N$$

$$2. I_Z \geq \frac{I_2}{1.45}$$

Man er herefter nødt til at kigge på hvilket udstyr man har siddende som OB. Herunder er vist typiske  $I_2$  værdier for forskellige typer af beskyttelsesudstyr.

$$\text{Maksimalafbryder : } I_2 = 1.3 \cdot I_N \quad I_2 < 1.45 \cdot I_N$$

$$\text{Sikring : } I_2 = 1.45 \cdot I_N \quad I_2 = 1.45 \cdot I_N$$

$$\text{Automat-sikring : } I_2 = 1.7 \cdot I_N \quad I_2 > 1.45 \cdot I_N$$

Skal man dimensionere et kabel som er beskyttet af en maksimalafbryder kan man i betingelse 2 indsætte  $I_2$  værdien og komme frem til følgende :

$$I_Z \geq \frac{I_2}{1.45} = \frac{1.3 \cdot I_N}{1.45} = 0.9 \cdot I_N$$

Som man kan se vil man ikke overholde betingelse 1 hvis man i dette tilfælde dimensionere kablet efter betingelse 2. Omvendt vil man automatisk overholde betingelse 2 hvis man dimensionere kablet efter betingelse 1.

Herefter kan man opstille følgende huske regler.

$$I_2 < 1.45 \cdot I_N \quad \text{Dimensionering efter betingelse 1.}$$

$$I_2 = 1.45 \cdot I_N \quad \text{Dimensionering efter betingelse 1 eller 2.}$$

$$I_2 > 1.45 \cdot I_N \quad \text{Dimensionering efter betingelse 2.}$$

Generelt kan man sige at betingelse 2 umiddelbart vil være opfyldt hvis man dimensionere efter betingelse 1 for følgende udstyr.

- Maksimalafbrydere.
- Fejlstrømsafbrydere.
- Sikringer med en mærkestrøm  $I_N \geq 13A$ .

Ved sikringer som er mindre ind  $I_N \leq 10A$  vil betingelse 2 være opfyldt hvis man som beskrevet i Tabel 43A (side 71 i SBA6) bruger en højre strømværdi ind sikringens mærkestrøm  $I_N$ . Dette gøres

fordi mindre sikringsers udløser karakteristisk er noget usikker og man ved at bruge en større strømværdi imødekommer dette.

### **Korrektion for samlet fremføring ( $K_s$ )**

Ved samlet fremføring af flere strømkredse, skal man tage højde for side løb, korrektions faktorer for side løb kan findes i Tabel A.5 (side 187).

For at skulle regne med eller tage højde for side løb, skal følgende 3 betingelser være tilstede :

1.  $B_g > \frac{3}{4}$
2. afstanden mellem kablerne skal være mindre ind 2 gange diameteren på det største kabel. ( $a < 2 \cdot d$ )
3. kablerne skal være fremført sammen på et stykke der er over 35cm. ( $L > 35\text{cm}$ )

Hvis et kabel er belastet med under 75% af kablets strømværdi skal man ikke tage højde for side løb. Er kablet derimod belastet med mere ind 75 % og betingelse 2 og 3 er opfyldt. Kan man afhængigt af oplægningsmetoden i Tabel A.5 se hvor mange kabler der må være side løbende.

### **Korrektion for temperatur ( $K_t$ ).**

Ifølge SBA6 § 523.2.3 (side 142.) skal der korrigeres for omgivelsestemperaturen når denne afviger fra en reference temperatur som er sat til 30°, med en passende korrektionsfaktor som kan findes i tabel 52-F1 (side 169 eller 186) der gælder for isolerede ledere og kabler i luft uafhængigt af installationsmetoden.

Er kablerne placeret i rør eller kanaler i jord, skal der korrigeres for en omgivelses temperatur forskellig fra 20° med de værdier der er opgivet i Tabel 52-F2 (side 170).

Korrektionsfaktorerne i Tabel 52-F1 og Tabel 52 F-2 tager ikke højde for en eventuel temperatur forøgelse pga. sol bestråling eller anden infrarød bestråling. Hvis kablerne er udsat for sådan en varme påvirkning skal man bruge nogle andre strømværdier for sine kabler, disse nye strømværdier kan beregnes ud fra de metoder der er beskrevet i IEC 60287.

Obs. Det er den værste temperatur der er dimensionerende, dvs. at korrektions faktoren skal findes ud fra den højeste temperatur.

### **Kortslutningsbeskyttelse (KB)**

Ifølge § 434.3.2 (side 72) skal alle kabler være kortslutningsbeskyttet således at KB- udstyret udkobler, inden at kablerne når op på en temperatur, der ikke er højere ind kablernes tilladelige grænsetemperatur.

Man kan tjekke om ens kabler er kortslutnings beskyttet ved at bruge formlen der er vist i § 434.3.2 som gælder for kortslutninger med varighed på op til 5sekunder.

$$K^2 \cdot S^2 \geq I_K^2 \cdot t$$

Ved udkoblings tider af kortslutningsudstyret på under 0.1sekund kan den overstående formel ikke bruges direkte, idet andre faktorer end effektivværdien af den prospektive kortslutningsstrøm vil være afgørende for temperaturstigningen. (note 1 side 72 nederst).

Hvis man har dimensioneret sine kabler ud fra mærkestrømmen på sikringer, vil KB automatisk være opfyldt ifølge § 435.1 note 2 (side 73).

Ifølge § 436 (side 74) anses kabler for at være beskyttet mod overbelastning og kortslutning hvis de forsynes fra en strømkilde som ikke kan afgive en strøm der overstiger kablets strømværdi. F.eks. visse ringetransformere, visse svejsetransformere og visse typer af termoelektriske strømkilder.

## **Bøjelige ledninger i fast installation.**

§ 521.7 til § 521.7.4 (side 134-135)

*Anvendelse.* Bøjelige ledninger må anvendes som fast installation, på samme måde som installations kabler hvis de overholder følgende:

- Hvis de anbringes uden for rækkevidde (2.5m).
- Hvis de anbringes i rør, ledningskanalsystemer eller lukkede ledningskanaler.
- Hvis det er nødvendigt at anvende dem pga. bevægelighed eller vibrationer.

*Oplægning.* Bøjelige ledninger må ikke indmures eller indstøbes direkte samt at de kun må anbringes i jord ved midlertidig installation og byggepladsinstallationer. Bøjelige ledninger der anvendes ved synlige installationer uden for rækkevidde skal fastgøres solidt til bygningsdele eller de skal anbringes i kabel bakke/stige.

*Montering.* Bøjelige ledninger som bruges til fast installation skal afsluttes i enten dåse, roset, afbryder, stikkontakt eller lignende. Eller de skal monteres til fastmonteret materiel.

Samtidig skal de monteres således at de er aflastede for træk, og skal de bøjes skal deres radius være så stor at ledningen ikke tager skade.

Bøjelige ledninger kan f.eks. anvendes til tilslutning af vibrerende udstyr, og de skal anvendes ved fast installation af ophængte brugsgenstande som f.eks. belysningsarmaturer.

*Ledningstyper.* Bøjelige enleder ledninger skal mindst være af typen H07.... . hvor der er behov for varmebestandige ledninger kan der dog anvendes siliconegummiisoleret monteringsledning af typen H05SJ-K.

Bøjelige flerleder ledninger skal mindst være almindelig bøjelige ledning af type H05...

## **Tilledninger.**

§ 521.8 til § 521.8.4 (side 135- 136)

En tilledning skal bestå af en bøjelig ledning som indeholder alle ledere, der høre til samme strømkreds herunder osse en eventuel beskyttelsesleder.

En tilledning skal normalt sluttes til den faste installation i det rum hvor det elektriske materiel anvendes.

En tilledning skal enten tilsluttes en stikkontakt eller en udløbsroset.

En tilledning skal tilsluttes således at anvendelsen af unødvendig længde undgås.

En tilledning skal i begge ender være aflastet for træk og sikret mod vridning.

I 1 stikprop eller transportabel stikkontakt må kun monteres 1 tilledning.

I tørre områder er det tilladt at tilslutte 2 tilledninger i en udløbsroset og lignende når det sker på en forsvarlig måde under hensyntagen til pladsforholdene.

En tilledning (forlængerledning) må ikke have en stikprop i begge ender.

## Selektivitet.

s. 195 # 6.

Bekendtgørelsen stiller ikke krav om selektivitet. (Anbefaling)

Selektivitet:

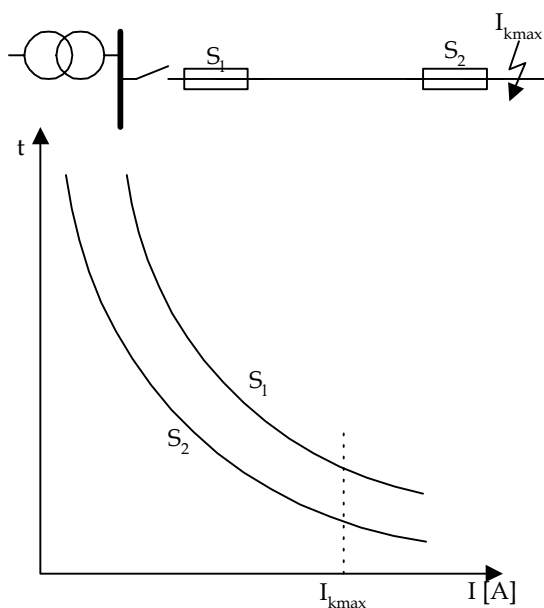
Beskyttelsesudstyret nærmest fejlen bryder fejlstrømmen. Uden det foran liggende beskyttelsesudstyr bliver berørt (Begynder at smelte)

Selektivitet øger driftssikkerhed.

### Selektivitet mellem sikringer.

Seriekoblede sikringer.

Sikringsfabrikanterne fremstiller selektivitets tabeller.



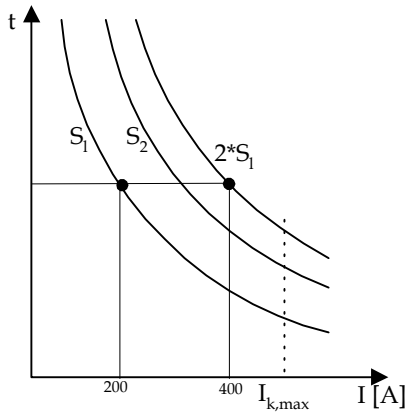
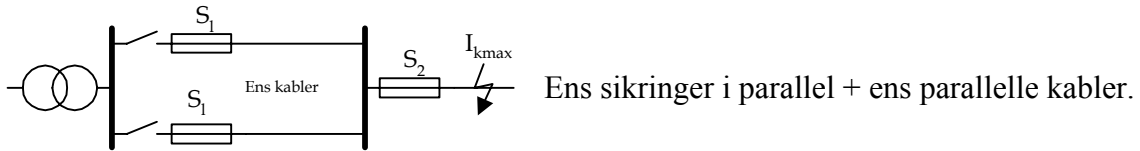
$$I^2 \cdot t_{Smelte1} \cdot 0,8 \geq I^2 \cdot t_{Smeltes+lysbue2}$$

Selektivitet er opnået hvis deres udløser kurver ikke rører hinanden, tag højde for tolerance i kurven.

Man regner dog med selektivitet hvis forholdet mellem mærkestrøm for sikringerne er 1:1,6 (samme karakteristik.)

$$I^2 \cdot t_{Smelte1} \cdot 0,8 \geq I^2 \cdot t_{Smeltes+lysbue2}$$

Den foran siddende sikring må ikke begynde at smelte inden den anden har brudt...  
 Parallel koblede sikringer.



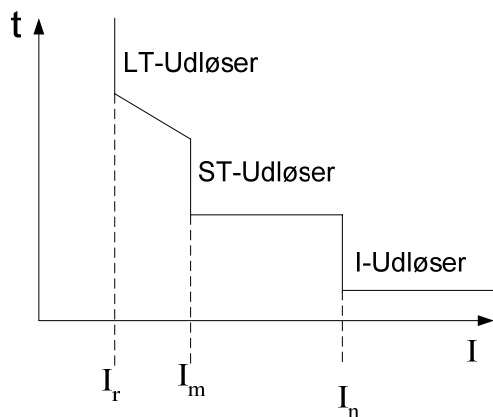
Der er selektivitet hvis:

$$I^2 \cdot t_{Smelte1} \cdot 0,8 \cdot n^2 \geq I^2 \cdot t_{Smeltes+lysbue2}$$

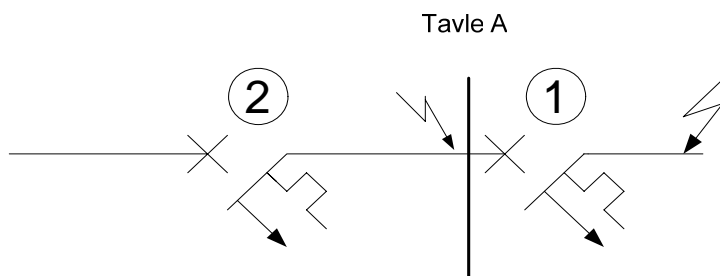
Formel ”bevist” / opfundet af ABB ved test mm.

### Selektivitet mellem maksimalafbrydere.

Udløser kurve for maksimalafbryder.



### Ikke strømbegrænsende maksimalafbrydere.



Selektivitet kan opnås som:

- Tidsselektivitet.
- Strømselektivitet.

Nemtest at tegne kurverne ind i samme diagram.

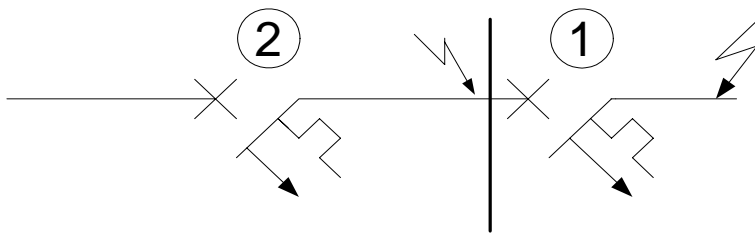
### LT- Udløser. ( $I_r$ )

Som oftest er der naturlig selektivitet mellem maksimalafbrydernes LT indstilling, da forskellen på maksimalafbrydernes mærkestrøm normalt vil være stor. (kræver at maksimalafbryderne er af samme type)

### ST-Udløser. $I_n$



Tavle A



$I_n$  udløseren må ikke sættes til højere end 80 % af den mindste forventede kortslutningsstrøm. Som sikkerhed for KB og BIB.

### **Indstillinger.**

Maksimalafbryder 2 indstilles som:

$$I_{n2} \leq 0,8 \cdot I_{k \min(A)} \quad \text{Dette sikrer at kablet fra "2" til "Tavle A" er KB og evt BIB af "Tavle A"}$$

$$I_{n2} > I_{k \max(\text{brugsgenst})} \quad \text{Dette skal sikre at der er selektivitet ved fejl i brugsgenstanden.}$$

### **Mekaniske afbrydere:**

$$I_{n2} > 2 \cdot I_{n1} \quad \text{Denne indstilling skyldes usikkerheden på udløserkurven.}$$

### **Elektroniske afbrydere:**

$$I_{n2} > 1,5 \cdot I_{n1} \quad \text{Denne indstilling skyldes usikkerheden på udløserkurven.}$$

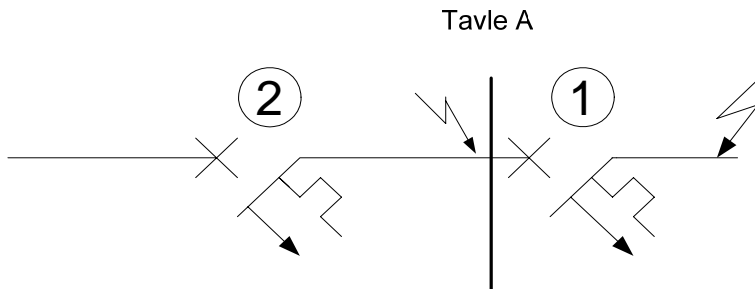
Er der krav eller ønske om selektivitet lige efter maksimalafbryder "1" skal der bruges selektivitetstabeller eller udføres beregninger. Evt tegnes ind?

Maksimalafbryder 1 indstilles som:

$$I_{n1} \leq 0,8 \cdot I_{k \min(\text{Brugsgenst})} \quad \text{Dette sikrer at kablet fra "1" til "Brugsgenstanden" er KB og evt BIB af "brugsgenstanden"}$$

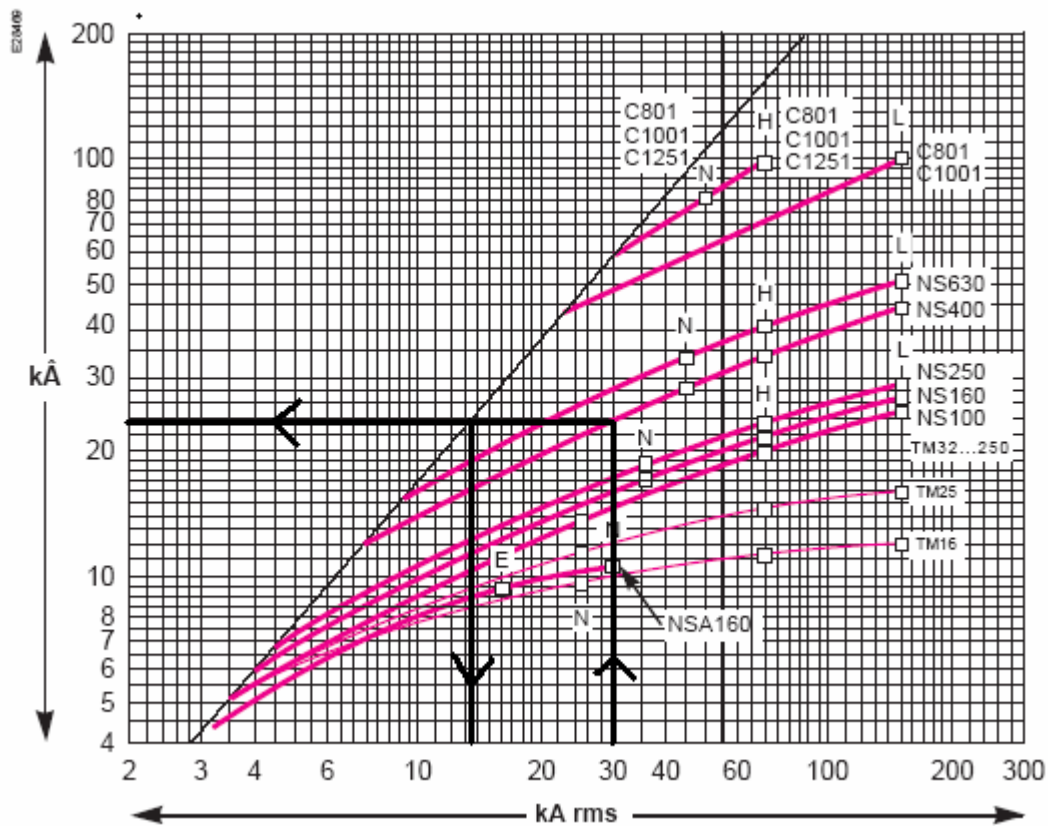
## Selektivitet mellem strømbegrænsende og ikke strømbegrænsende maksimalafbrydere.

Her er det maksimalafbryder "1" der er strømbegrænsende.



$I_{n2}$  udløseren skal stilles højere end den strøm "1" kan begrænse stødstrømmen til. Men stadig mindre en 80 % af mindste kortslutningsstrøm i "Tavle A" (KB af ledning og BIB af Tavle A)

$$I_{cutoff\ .eff\ 1} \leq I_{n2} \leq I_{K\ min\ Tavle\ A} \cdot 0,8$$



I dette tilfælde begrænser maksimalafbryder "1" en kortslutningsstrøm på 30 kA til 13,5kA med en cutoff strøm på 24 kA.

DVS.

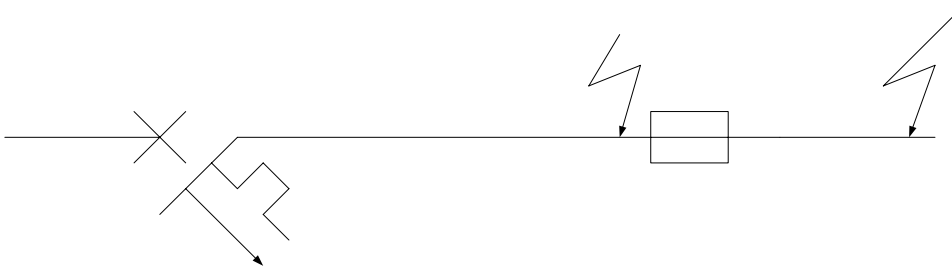
$I_{cutoff\,eff1} = 13,5 \text{ kA}$  og  $I_{cutoff1} = 24 \text{ kA}$ .

Herefter findes den mindste kortslutningsstrøm i maksimalafbryderen skal bryde, det er den mindste kortslutningsstrøm i "Tavle A"  $I_{K\,min\,TavleA}$  som sikkerhed for at maksimalafbryderen skal kunne bryde den mindste kortslutningsstrøm ganges med faktoren 0,8. En indstilling kan herefter vælges.

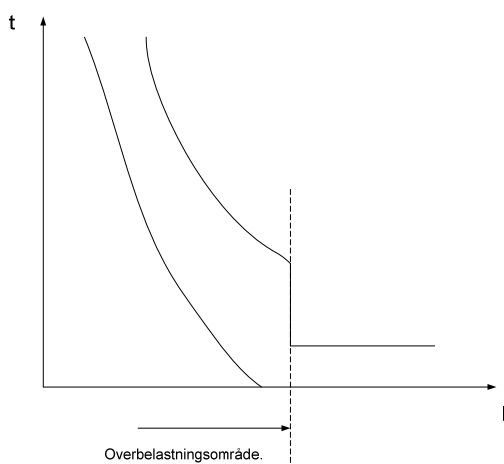
$$I_{cutoff\,eff1} \leq I_{n2} \leq I_{K\,min\,TavleA} \cdot 0,8$$

**Glo lige på selektivitetstabeller..**

**Selektivitet mellem maksimalafbryder og efterfølgende smeltesikring.**



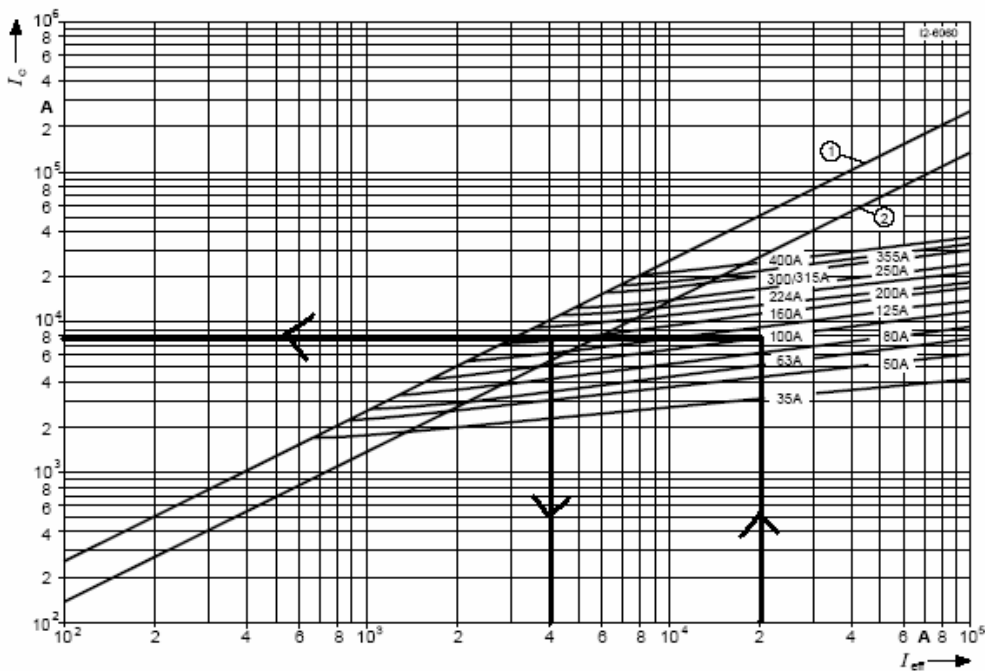
Kontrol af selektivitet i overbelastningsområdet kontrolleres ved indtegning i diagram.



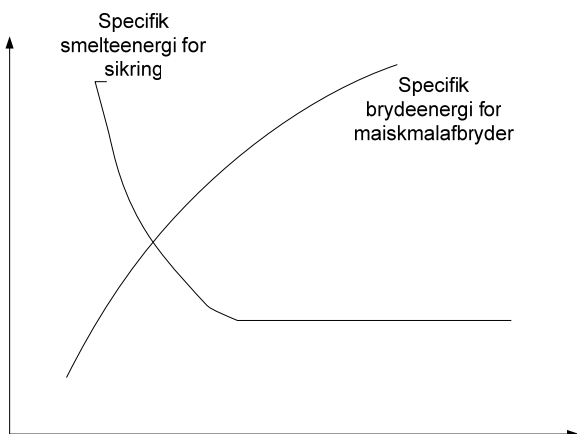
Ved kortslutning skal  $I_n$  udløseren stilles højere end den værdi sikringen begrænser kortslutningsstrømmen til og mindre end den mindste kortslutningsstrøm (faktor 0,8)

$$I_{\text{cutoffeff}} < I_n < I_{K \text{ min}} \cdot 0,8$$

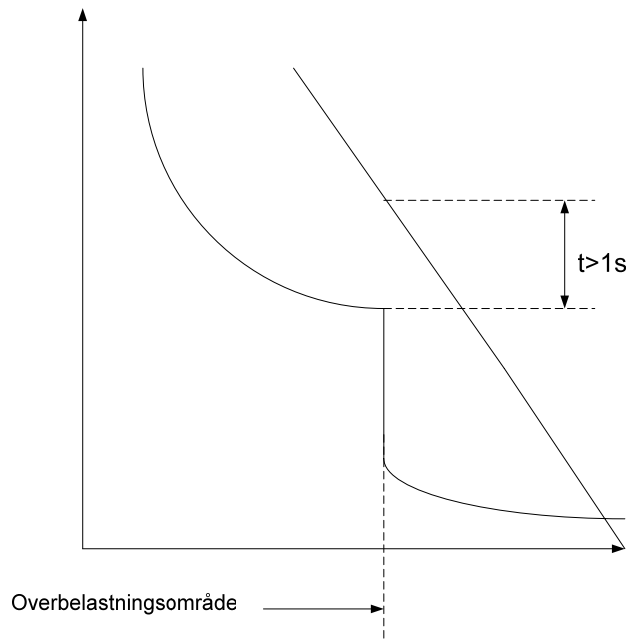
Kappa bestemmes ud fra R/X forholdet og kurve s. 63 bog 6. max værdi for kappa = 2



Det ses at en 100 A NH 2 sikring begrænser en strøm på 20 kA til  $I_{\text{cutoffeff}}$  4 kA. Med en  $I_{\text{cutoff}}$  på 8 kA.



Mundtlige prøvespørgsmål M5a. Forår 2004



Selektiviteten er sikret hvis der er mindst 1 sekunds afstand i overgangspunktet.

Selektivitet i kortslutningsområdet.

$$I^2 \cdot t_{sikring(smelteenergi)} \cdot 0,8 \geq I^2 \cdot t_{maksimalafbryder}$$

## Fasekompensering.

### Fase kompensering.

Der vil normalt i installationer være en fase forskydning af strømmen. Til tider vil fase forskydningen være mindre ind  $\cos\varphi=0.9$  som er den fase forskydning som de danske energiselskabers forening angiver som den mindste fase forskydnings vinkel. Grunden til dette er at den watløse komponent hjælper til med at give et større spændingsfald samt at man ved en større watløse strøm vil få et større effekt tab i en ledning. Dette kan illustreres ved nedenstående formler:

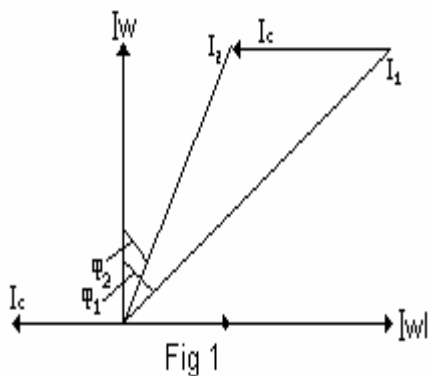
$$\Delta U_f = I \cdot R \cdot \cos\varphi + I \cdot X \cdot \sin\varphi = I_w \cdot R + I_{wL} \cdot X$$

$$\Delta P = I^2 \cdot R = \left( \sqrt{I_w^2 + I_{wL}^2} \right)^2 \cdot R = I_w^2 \cdot R + I_{wL}^2 \cdot R$$

Måden man imødekommer dette er ved at installere et kondensator batteri i sin installation. Ud over at man kan reducere sit spændingsfald og effekt tab kan man ved fase kompensering osse opnå at trække en mindre strøm og på den måde få skabt plads til udvidelser uden at installere en ny transformer, så længe der ikke er tale om større udvidelser. Idet at watt strømmen der vil blive optaget vil være den samme, da man kun ændre størrelsen af den watløse strøm. Der i sidste ende vil resultere i at den optagne net strøm vil blive reduceret.

### 3-Faset kompensering.

Ved fase kompensering af 3-Faset symmetrisk belastning sker ved hjælp af at parallel et stjerne eller trekantet kondensator batteri. Man kan sige at der normalt ved lavspænding vælges trekantkoblede kondensator batterier på grund af at de vil kunne vælges til 3 gange mindre ind hvis de var stjerne koblede, som det vises længere nede. Til højspænding vælger man dem normalt stjerne koblede idet at spændingen her er højere og isolations nivuet vil blive vanskeligt at opretholde imellem kondensator pladerne. På fig 1 er vektor diagrammet for strømmene vist hvor  $I_1$  er den strøm man har mens  $I_2$  er den nye strøm man ønsker. For at beregne  $I_C$  kan man gøre følgende hvor man siger at watt strømmen før og efter kompenseringen er den samme.



$$I_1 \cdot \cos\varphi_1 = I_2 \cdot \cos\varphi_2 \Rightarrow I_2 = I_1 \frac{\cos\varphi_1}{\cos\varphi_2}$$

man kan osse sige at  $I_C$  er den gamle watløse strøm minus den nye watløse strøm.

$$I_C = I_{wL1} - I_{wL2} = I_1 \cdot \sin\varphi_1 - I_2 \cdot \sin\varphi_2$$

$$I_C = \left( \frac{I_w}{\cos\varphi_1} \right) \cdot \sin\varphi_1 - \left( \frac{I_w}{\cos\varphi_2} \right) \cdot \sin\varphi_2$$

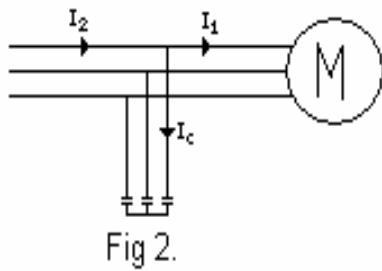
$$I_C = I_w \cdot (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$$

Hvor man skal huske på at  $\varphi_1$  er den vinkel man har mens  $\varphi_2$  er den nye vinkel man ønsker. Der næst kan man beregne det 3-Faset kondensator batteris reaktive effekt.

$$Q = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_C = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_w \cdot (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$$

$$Q = P \cdot (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$$

### Stjerne koblet kondensator batteri.

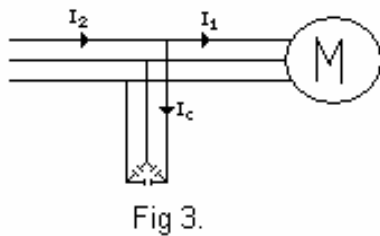


Ønsker man at finde værdien af de enkelte stjerne-koblede kondensatorer skal man huske at de kun har fase spændingen over sig.

$$X_{Stjerne} = \frac{U_f}{I_C} = \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot I_C} [\Omega]$$

$$C_{Stjerne} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X_{Stjerne}} [F]$$

### Trekant koblet kondensator batteri.



Ønsker man at finde værdien af de enkelte trekant koblede kondensatorer skal man her huske at de har net spænding over sig, og at den strøm de gennem løbes af er  $\sqrt{3}$  mindre ind  $I_C$

$$X_{Trekant} = \frac{U_N}{\frac{I_C}{\sqrt{3}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_N}{I_C} [\Omega]$$

$$C_{Trekant} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X_{Trekant}} [F]$$

Som det vises det vises herunder i formlen kan det som før omtalt ses at man kan bruge en 3 gange mindre kondensator ved at trekant koble sit batteri i forhold til at stjerne koble det.

$$C_{Trekant} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot U_N}{I_C}} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot U_N}{I_C} \cdot \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}}} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot I_C} \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{3}} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X_{Stjerne} \cdot 3} = \frac{C_{Stjerne}}{3}$$

### Dimensionering.

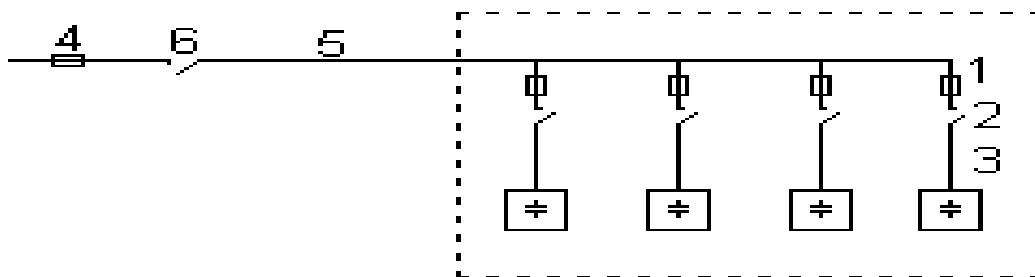


Fig 4.

Det første man skal gøre er selvfølgelig at finde kondensatorstrømmen  $I_C$  som vist ved Fig.1 når dette er gjort kan man finde det antal kondensator batterier der nødvendigt ved at dividere den fundne  $I_C$  med størrelsen af den strøm som hvert enkelt kondensator batteri optager.

Der er ingen særlige regler i stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6 om hvorledes et anlæg skal dimensioneres, derfor er følgende dimensionerings regler sammensat af fabrikantanvisninger og IEC/VDE regler.

I det følgende bliver de enkelte ting dimensioneret i trin som henviser til Fig.4

*1. Sikringen i det interne kabel.*

For sikringen gælder det at dens mærkestrøm skal være cirka 1.5 til 1.8 gange større end kondensatorstrømmen. Dette skal den af hensyn til overbelastning på grund af overspændinger, harmonisk effekt og den indkoblings strøm der bliver skabt af kondensatorbatteriet.

$$I_N \geq 1.7 \cdot I_C$$

*2. Kontaktoren vælges.*

Kontaktoren vælges ud fra fabrikantens oplysninger om hvilken reaktiv effekt som afbryderen kan tåle at afbryde. (se heste katalog side 4/44)

*3. Kablet internt.*

Det interne kabel dimensioneres osse man en faktor det korrigerer strøm værdien, dette gøres vel på grund af at man tillader at der kan løbe en større strøm der kan komme op på mærkestrømmen af sikringen, i forhold til batteriets fuldlaststrøm.

$$\left( \frac{I}{K_T} = \frac{I_C \cdot 1.5}{K_T} \right) \Rightarrow S =$$

*4. Sikringen i det eksterne kabel.*

Sikringen i det eksterne kabel ganges ligeledes med en faktor der tager højde for de under punkt 1 nævnte faktorer, her er det den samlede strøm der anvendes dvs. summa  $I_C$

$$I_N \geq 1.7 \cdot \Sigma I_C$$

*5. Kablet eksternt.*

Det eksterne kabel dimensioneres som et kabel beskyttet af en sikring.

$$\left( \frac{I_N}{K_T} \right) \Rightarrow S =$$

$$B_G = \frac{\Sigma I_C}{I_{Z30} \cdot K_T}$$

$$K_S = \frac{I_N}{I_{Z30} \cdot K_T}$$

*6. Kontaktoren eksternt.*

Kontaktoren vælges som under punkt 2 normalt vil der blive valgt en QSA- afbryder.



## Boliger.

s. 338 SB # 6. Kapitel 801

Definition:

Lejligheder, helårshuse, fritidshuse, hotellejligheder, hotelværelser, værelser på plejehjem, værelser på kollegier o.l.

Reglerne gælder for det der er inde i boligen og det der udendørs er forsynet fra boligen.

Fælles installationer i etageejendomme, hoteller, plejehjem, kollegier o.l. er ikke omfattet.

### 801.433A

Reglerne gælder også for stikledning, så længe de kun forsyner en enkelt bolig. Forsynes mere end en bolig gælder 801.433B.

#### 801.433A:

OB er opfyldt hvis:  $I_B \leq I_N \leq I_Z$  er der installeret smeltesikringer som OB i kablets udgangspunkt eller før kablet er KB opfyldt. Hvis det ikke er smeltesikringer skal KB kontrolleres.

Hvis vælger kabeldimension efter tabel 801 A (s. 339) er OB opfyldt. Kabeldimension ”hører sammen” med sikrings mærkestrøm.

Ex.

Leder tværsnit. Cu.	Ledertværsnit. Al.	$I_N$ for Sikringer/Automatsikringer
1,5		13
4		25
16	25	63

Tabellen må ikke benyttes hvis:

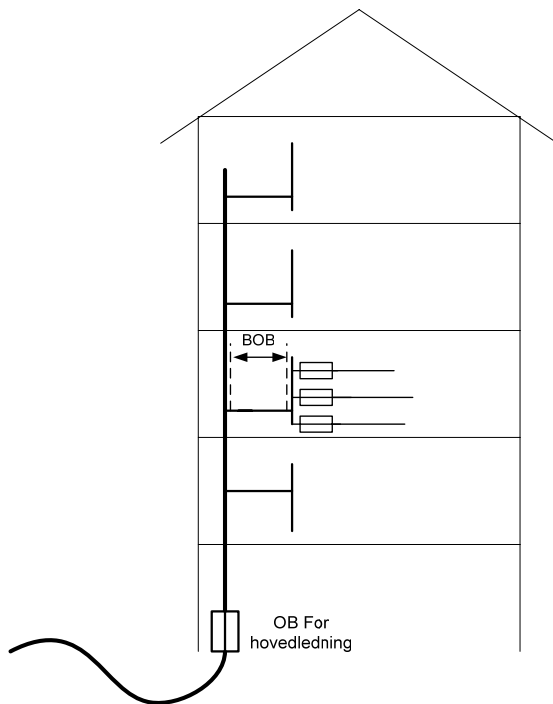
1.  $I_B \geq \frac{1}{2} \cdot I_N$  I mere end 3 timer i træk. Problem: El-varme. *Forventet belastning....*
2. Kabler oplagt tæt på varmekilder over en længde på 0,5m.

I boligen regnes  $k_s = 1$  og  $k_t = 1$  det er lige meget om kablet er isoleret på alle sider..

### **801.433B**

Gælder for hovedledninger der forsyner mere end en enkelt bolig. FX etage ejendom.

Her gælder at OB skal placeres i udgangspunktet for kablet.



### **BIB.**

Hovedregel: Stikkontakter og tilslutningssteder skal være BIB.

Der skal anvendes HPFI.

Normalt skal der fremføres PE leder til stikkontakter og tilslutningssteder også selvom der tilsluttes klasse II materiel.

Der må udlades HPFI beskyttelse hvis det har funktionsmæssigt formål (fryser mm.)

Udsatte dele på transportable brugsgenstande behøver ikke være tilsluttet PE leder, kræver HPFI beskyttelse.

### **Placering.**

G.A. og HPFI skal anbringes i den bolig de forsyner. Ikke placeret over 2.2 meter over gulv, mindst 1m over gulv eller i aflåseligt skab.

## Antal grupper mm.

Lysgrupper min:  $A = \frac{m^2}{50}$  dog min. 2 stk. (intet krav i kollegier, plejehjem hotelværelser, mm.)

Stikkontakter:

Lokalitet	Antal stikkontakter
Beboelsesrum, entreer, gange, bryggers, mm.	1 / 4m <sup>2</sup> dog kræves ikke mere end 8 pr rum
køkken	3 stk Fordelt på mindst to lysgrupper
Kogeniche	1 stk Skal slukke når skabsdøren lukkes.
Badeværelse	1 ud over evt shaverkontakt

Hvis kontakten er placeret højere end 2 meter, eller beregnet til fastmonteret materiel tæller de ikke med i tabellen.

Skal anbringes med så stor indbyrdes afstand som muligt.

Fejlstrømsafbrydere skal være HPFI eller HFI.

## Områder hvor installationen normalt er udsat for fugt eller vand.

Kapitel 802 s. 345 SB # 6.

Gælder:

- I det fri. (også carporte mm)
- I fugtige områder. (sjældent vanddråber men em. Kølerum, kældre, gartnerier mm)
- I våde områder. (ofte vanddråber eller el-mat. Udsat for vandsprøjt)

Restaurationskøkkener, institutionskøkkener og tilberedningsrum i virktualie forretninger udføres som fugtige rum hvis de er placeret under 1,70m (alternativt IP 20 hvis placeret så de ikke udsættes for skadelig påvirkning fra rengøringsmidler)

Et enkelt rum kan have forskellige områder. FX både vådt, fugtigt og tørt område fx badeanstalt.

## BIB.

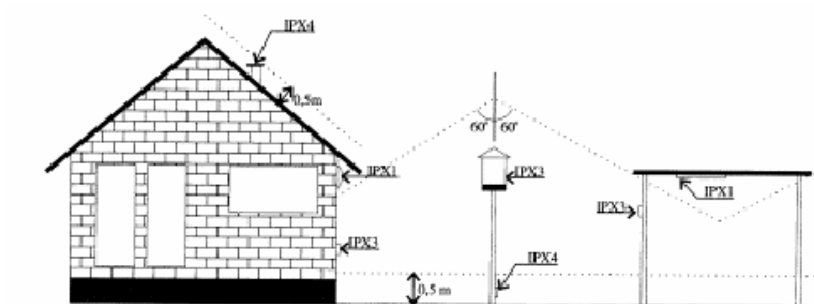
Hvis der anvendes SELV og PELV skal der være BIB.

- Enten ved barriere eller kapsling svarende til min. IP2X eller IPXX2 se side 348 for IP klasser.
- Isolation kan modstå prøvespænding på 500V AC i 1 min.

BIB ikke nødvendigt hvis maks 6 V vekselspænding. Ellers 15 V rippelfri jævnspænding.

Våde områder i slagterier og mejerier. Transportabelt mat. Beskyttet med HPFI eller separat

strømkreds.



Billede side 347 SB # 6.

## Valg af materiel.

Skal følge tabellen.

Område	Kapslingsklasse	Bemærkninger
I det fri ☹)	IPX3	Materiel, der kan rammes af regn, men som er anbragt mere end 0,5 m fra vandrette eller skrå overflader. *)
	IPX4	Materiel, der er anbragt i mindre afstand end 0,5 m fra vandrette eller skrå overflader, der kan rammes af regn. *)
Fugtige områder	IPX1	Materiel, der er anbragt, så det er beskyttet mod regn
Våde områder ☺)	IPX4	

\*) Det forudsættes, at regn kan falde i en vinkel på op til 60° fra lodret, og at vandsprøjt fra nedslaget kan nå en højde på 0,5 m.  
 ☺) Materiel, der udsættes for spuling (vand fra strålerør eller slange) skal mindst have kapslingsklasse IPX5. Materiel må ikke udsættes for højtryksspuling. Hvis der forekommer højtryksspuling, skal materiellet være beskyttet gennem sin anbringelse, afskærmning e.l.

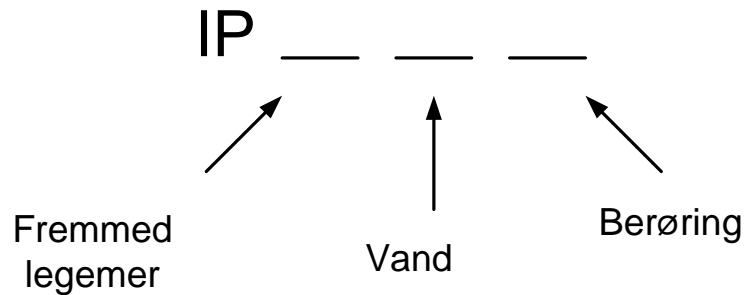
Transportabelt mat må benyttes hvis det beskyttes imod vand af bruger/ejer. (uanset kapslingsklasse)

## Koblingsudstyr.

Gulvstikkontakter må ikke benyttes.

## Kapslingsklasser.

Kapslingsklasserne angiver beskyttelse af materiellet mod indtrængen af fremmedlegemer og vand. Samt beskyttelsen af personer mod berøring af farlige dele.



Bogstavet der angiver beskyttelse mod berøring benyttes kun hvis beskyttelsen er højere end det første tal angiver. Eller hvis beskyttelse mod fremmedlegemer er uden betydning men beskyttelsen mod berøring er vigtig.

Hvis der ikke er stillet krav om beskyttelse mod vand skrives der et "X" i stedet for et tal.

Er første ciffer 1 svarer det til sidste bogstav A.

Er andet ciffer 2 svarer det til sidste bogstav B osv.

EX:

IP22 =>

- Første ciffer: beskyttet mod faste genstande med  $\varnothing$  12,5mm. /beskyttet mod berøring med finger.
- Andet ciffer: beskyttet mod vanddråber ved hældning på maksimalt 15°

s. 53 SB # 6.

Materiel skal minimum være af klasse IP2X ("lægmand betjent") Tavler min IP 3X.

## **Forsamlingslokaler, butikker og lignende salgslokaler.**

## **Undervisningslokaler, fælles adgangsveje og flugtveje.**

s. 351 SB # 6. Kapitel 804

Gælder i:

Forsamlingslokaler (Beregnet for mere end 50 personer, teater, bio. mm) butikker og lignende salgslokaler. Undervisningslokaler, fælles adgangsveje (trapper mm) og flugtveje (til nødsituationer)

### **Installationens opbygning.**

Der skal min. være to lysgrupper der kun omfatter belysning. Må ikke være beskyttet af samme fejlsstrømsafbryder eller lign. (tilstræbes selektivitet) Gælder ikke kun for "forsamlingsrummet" men også garderobe mm.

### **Beskyttelse mod brand.**

Elektrisk mat. Må ikke væsentligt forøge brandbelastningen. ??

Der må ikke være elektrisk materiel indeholdende brændbare væsker.

G.A. automatsikringer mm. Der er anbragt enkeltvis skal være i kapsling af metal eller isolationsmateriel der kan bestå "glødetrådsprøven"

Er der mere end et stk. materiel skal det være i kapsling eller skab.

Fylder tavlen fylder mindre en 1 m<sup>2</sup> skal det være klasse A materiel. "Klassifikationskrav" samt bestå "glødetrådsprøven"

Fylder tavlen mere end 1 m<sup>2</sup> skal den være af metal eller ubrandbart materiale eller isolationsmateriel der kan bestå "glødetrådsprøven"

Fælles adgangsveje, selvslukkende materiale "nåleflamme prøve"

### **Særlige bestemmelser for:**

Forsamlingslokaler, butikker og lignende salgslokaler. Undervisningslokaler.

Sikringer mm. Anbringes således det ikke er tilgængeligt for publikum.

### **Særlige bestemmelser for:**

Fælles adgangsveje.

Styrestrøm selvstændig gruppe. Lamper på skiftevis hver sin gruppe.

Kontakter skal tænde samtlige armaturer.

Kontakter anbringes ved indgangsdøren, hver hovedrepos, elevator døre alle med ledelys.

I beboelse også kontakt i lejligheden. Dog ikke før 1 juli 1981

Trappeautomater skal kunne repetere i hele sidste halvdel af perioden og ikke kunne slukkes manuelt.

I fælles adgangsvej uden dagslys skal der være stedsebrændende lys. Er der dagslys skal der være oplyst i lygtetændingstiden. Så lyst at man let kan se kontakten til belysningen og vejen dertil.

### **Flugtveje.**

Ledningssystemer anbragt uden for rækkevidde eller beskyttet mod mekanisk beskadigelse. Kappen må ikke nære eller sprede brand. Belysningen skal være fordelt på to grupper. Skiftevis mellem lamperne.

## **Nødbelysning og varslingsanlæg.**

Kapitel 805 s. 354 SB # 6.

Gælder hvor bygningsreglementet stiller krav om sådanne anlæg.

Definitioner:  
s. 354 og 355 SB # 6.

Almindeligt:

Skal være muligt at vedligeholde og servicere.

Kredsskema anbragt ved eller nær tavlen. Med antal armaturer og belastning på hver gruppe. For lys Max 12 på hver gruppe.

Selvstændig strømforsyning.

Intet koblingsudstyr efter overstrøms beskyttelsen.

Installationstegning:

Nøjagtig placering af kontrolpunkter, materielplacering mm.  
Hvilket udstyr der er koblet til og hvilken gruppe.

Liste over strømforbrugende materiel.

Vejledning for drift.

Ledningssystemer:

Brandsikre kabler.  
Mineralisolerede kabler.  
H05SJ-K i rør (metallrør som oftest)  
Egnede ledninger.  
Anbringes så de virker under brand.

## Mundtlige prøvespørgsmål M5a. Forår 2004

Må ikke fastgøres til brandbart materiale. (Sammenstyrtning)  
Er dåserne ikke brandsikre skal klemmerne være det (porcelæn)  
Max spændingsfald 3%  
Min tværsnit  $0,75\text{mm}^2$

### **Varslingsanlæg.**

Egen gruppe. Anbragt i aflåst skab der kun benyttes til det. Ødelæggelse af en enkelt lyd giver må ikke sætte anlægget ud af drift.



## Midlertidige installationer.

s. 367 SB # 6.

Gælder for:

- Marked og forlystelsespladser, tivolier, cirkus o.l.
- Midlertidig illumination, (Juleillumination)

## BIB.

Inden i bygninger gælder standard regler. s. 101 SB # 6. Kapitel 471.2.3

I det fri gælder at der skal anvendes HPFI eller HFI.

Enkelte dele kan være klasse II eller SELV/PELV.

Ønskes det at undlade at benytte HPFI/HFI af driftstekniske årsager kan dette tillades hvis der benyttes andre midler til afbrydelse af forsyningen.

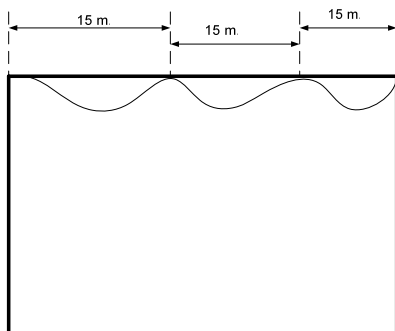
Juleillumination. (Uden for rækkevidde, 3 meter over vej)

## Ledningssystemer.

Uden træk i kontaktsteder. Medmindre de er lavet til det. Skal beskyttet mod mekanisk beskadigelse. (Veje mm)

Bøjelige ledninger skal min. være type H05... I jord min. H07RN-F skal graves mindst 0,25 m. ned eller beskyttes med rør, U-profiler eller plader. Hvis de "kun" anbringes under græstørv skal der være HPFI/HFI.

Ledninger skal fastgøres med egnet materiel. Max 15m mellem fastgørelsen ved 1,5mm<sup>2</sup> max 20 m ved større tværsnit. (kablets egenvægt)



## Elektriske forbindelser.

Udføres i egent kapsling (Dåser) dog løse samlemuffer placeret uden for rækkevidde, samt beskyttet med isolerbånd eller i kunststofkanaler, samt beskyttet af HPFI.

### ***Juleillumination.***

Der skal fremføres beskyttelsesleder og benyttes HFI / HPFI.

Hvis Juleilluminationen er anbragt uden for rækkevidde, og forsynet fra gade belysning hvor der ikke anvendes beskyttelsesleder skal der ikke anvendes HFI / HPFI. Kræver at hele Juleilluminationen (sikringer kontakter mm.) er anbragt uden for rækkevidde (vinduer og altaner) Det tillades at sikringer mm. Ikke er let tilgængeligt.

### **Eftersyn.**

Efter 3 måneder skal installationen efterses af en autoriseret installatør (hver 3 måned) bruger/ejers ansvar, også for at fjerne installationen.

## Spørgsmål 18: Tavler

Installation af tavler. Kap. 814 s. 386 SB #6

### **Tavlemærkning:**

Er kortslutningsbeskyttelsen indbygget i tavlens indgang:

Max. Kortslutningsstrøm:  $I_{\text{eff}}$ .....kA

Er kortslutningsbeskyttelsen anbragt foran tavlen:

a) Mærkekortslutningsstrøm: ( $I_{\text{cw}}$ )  $I_{\text{eff}}$ .....kA.....sek Her bruges 1 sek. hvis ikke andet er opgivet.  
Mærkestødstrøm: ( $I_{\text{pk}}$ )  $I_{\text{pk}}$ .....kA

b) Betinget mærkekortslutningsstrøm: ( $I_{\text{cc}}$ )  $I_{\text{eff}}$ .....kA

c) Mærkekortslutningsstrøm m. sikring. ( $I_{\text{cf}}$ )  $I_{\text{eff}}$ .....kA

### **Definitioner:**

$I_{\text{cc}}$ :  
Betinget mærkekortslutningsstrøm for tavle beskyttet med maksimalafbryder.  
Benævnes også som:  $I_{\text{k3fmax}}$ ,  $I_{\text{k}}$ , eller prospektive kortslutningsstrøm.

$I_{\text{cf}}$ :  
Mærkekortslutningsstrøm for tavle beskyttet med sikringer.  
Benævnes også som:  $I_{\text{k3fmax}}$ ,  $I_{\text{k}}$ , eller prospektive kortslutningsstrøm.

$I_{\text{cw}}$ :  
Mærkekorttidsstrøm. (Termisk påvirkning) Andet udtryk for:  $I^2 \cdot t$   
Udtryk for den specifikke energi der må afsættes i tavlen (1 sek.)  
Findes i datablade for komponenterne eller beregnes for ledninger internt i tavlen.  
For ledninger gælder:  $I^2 \cdot t = k \cdot s$  Ex. 4mm<sup>2</sup> intern ledning:  $k \cdot s = 115 \cdot 4 = 460$   
Værdien kan også findes i nkt Teknisk katalog s. 79

$I_{\text{pk}}$ :  
Største tilladelige spidsværdi tavlen kan tåle.  
Benævnes også som:  $I_{\text{stød}}$

**Mærkning af tavle:**

1)

**Beregn den trefasede kortslutning i tavlen:**

$$I_{cc} \geq I_{k3f \max}$$

$$I_{cf} \geq I_{k3f \max}$$

**Konklusion:**

Tavlen og alle komponenter skal kunne holde til den største kortslutningsstrøm der kan optræde i tavlen.

2)

**Termisk påvirkning af tavlen:**

”Svageste” komponent i tavlen findes. (Ofte interne ledninger, såfremt de ikke er kortslutnings sikkert oplagt/dobbelt isolerede) Ex. 6mm<sup>2</sup> intern ledning:

$$I_{cw6mm} = K \cdot s = 115 \cdot 6 = 690A$$

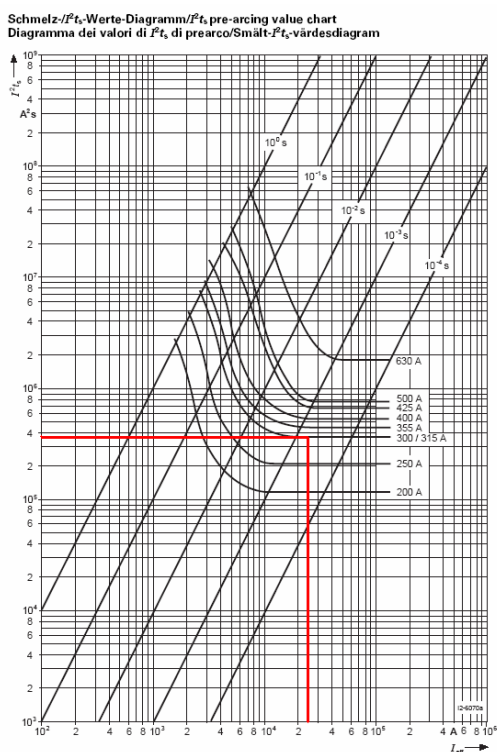
$$I^2 \cdot t = 690^2 \cdot 1 = 4,8 \cdot 10^5 A^2 \cdot s$$

Der må altså ikke ”slippes” mere energi igennem til tavlen.

**Tavle beskyttet af sikringer:**

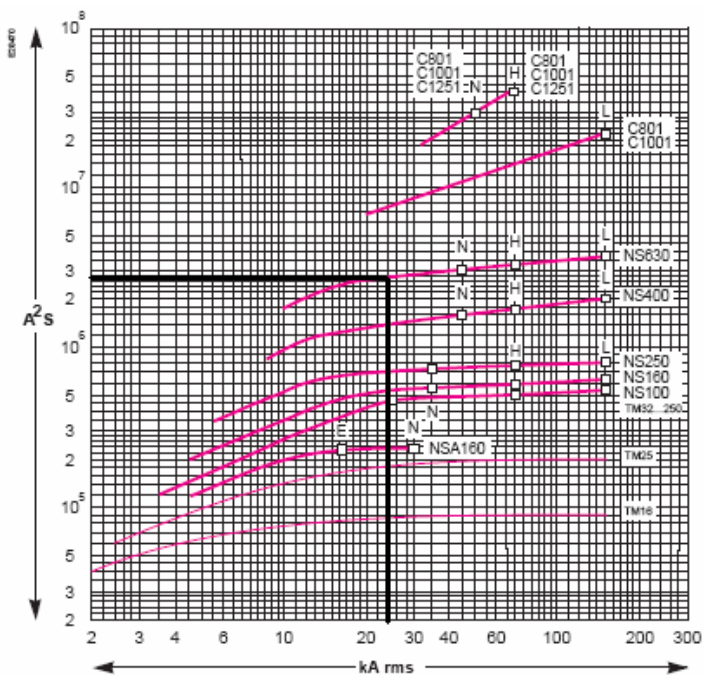
Beregn den mindste kortslutningsstrøm kan være I<sub>KF-Nmin</sub> eller I<sub>KF-PEmin</sub>

Når den mindste kortslutningsstrøm kendes findes totalenergien. (I<sup>2</sup> · t)



Her lader en 300A NH2 sikring  $3,8 \cdot 10^5 A^2 \cdot s$  igennem ved en kortslutningsstrøm på 25kA. Det kan være nødvendigt at beregne totalenergien efter skema s. 54 bog 6.

For maksimalafbrydere findes totalenergien:



**Konklusion:**

Viser det sig at sikringen eller maksimalafbryderen slipper mere energi igennem end tavlen kan bære, må man for interne ledninger hæve tværsnittet eller bruge dobbelt isolerede ledninger. Alternativt oplægge dem kortslutningssikkert.

3)

Dynamisk påvirkning af tavlen.

$$I_{PK} \geq I_{PKmaksimalafbryder}$$

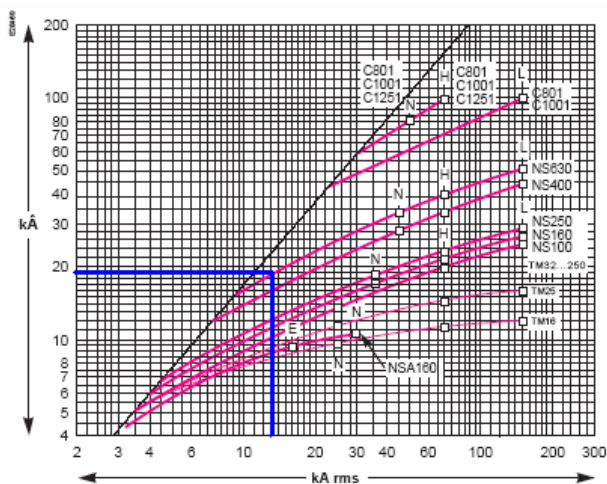
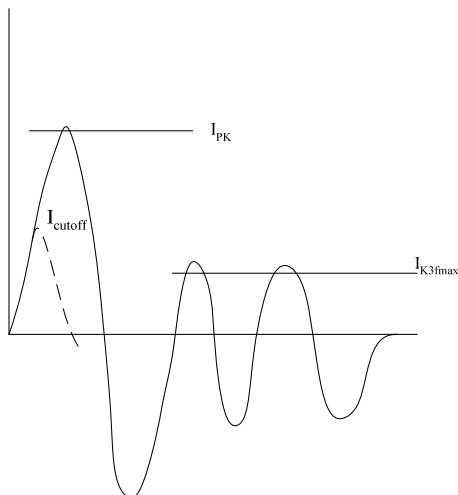
$$I_{PK} \geq I_{PKsikring}$$

Stødstrømmen beregnes som:

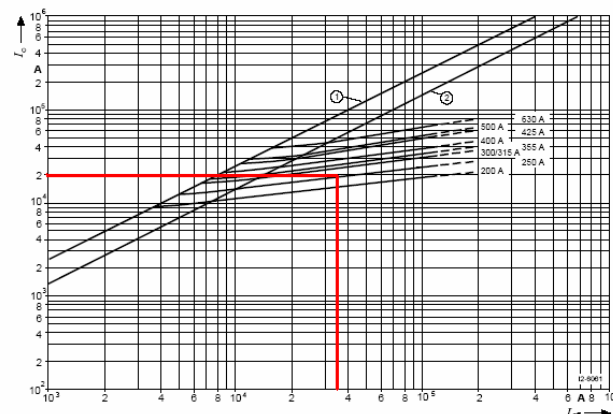
$$I_{stød} = I_{PK} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K3f}$$

Hvor  $\kappa$  findes i bog 6 s. 65.  $\kappa$  er afhængig af kortslutningsstrømmens størrelse og effektfaktoren for kortslutningsstrømmen.

Stødstrømmen bliver begrænset af beskyttelsesmateriellet. Den største stødstrøm der når tavlen findes i kurverne.



Strombegrenzungs-Diagramm/Peak let-through current chart  
Diagramma della limitazione di corrente/Strömbegränsningsdiagram



**Konklusion:**

Materiellet der installeres i tavlen skal kunne holde til stødstrømmen. Ligesom maksimalafbryderen eller sikringsholderen skal kunne holde til stødstrømmen. Skinner er også påvirkelige af stødstrømmen.

**Andre bestemmelser.**

Tavler betjent af lægmand skal minimum være af klasse: IP2XC eller IP3X

Tavler betjent af sagkyndige eller instruerede personer må være af klasse IP2X eller mindre.

Alternativt kan tavlerne være anbragt i ”elektriske betjeningsrum” eller udført med kapslingsklasse IP2X hvor komponenterne der skal betjenes er anbragt bag låger eller dæksler. Låger skal være aflåst med nøgle eller kræve værktøj for at åbne.

## Dimensionering af transformerstationer for 10/0,4 kV.

### **Valg af transformerstørrelse.**

Mærkeeffekten skal mindst opfylde:

$$S_n = S_{Ti} \cdot s_f \cdot u_f$$

Hvor  $S_{Ti}$  er den tilsluttede effekt.  $s_f$  er samtidighedsfaktoren og  $u_f$  er udvidelsesfaktoren.  
Transformerstørrelsen vælges ud fra den forventede / beregnede belastning. (Erfarings tal mm.)  
Se spørgsmål omkring: Dimensionering og udførelse af distributionsnet for lavspænding.

### **Valg af overstrømsbeskyttelse.**

#### **Overbelastningsbeskyttelse.**

Bagsikring i LSP-Tavlen. ”Virksomhedstransformer” Effektafbryder.  
Strømafhangigt relæ i primærkredsen.  
Olietermometer i transformatorens køleolie.  
Forsyningsselskaberne ”planlægger” sig ud af overbelastningssituationer.

#### **Kortslutningsbeskyttelse.**

##### **Sikringer.**

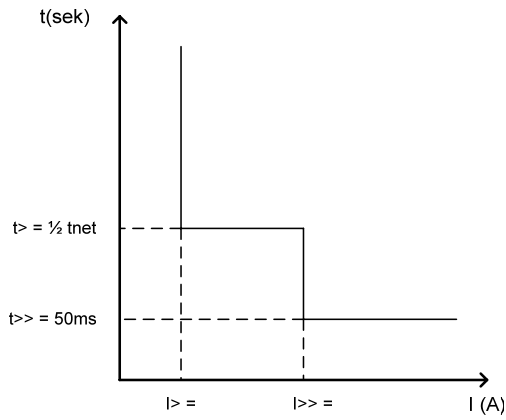
Fuldlaststrømmen findes ud fra transformerens mærkedata.

$$I_{\frac{1}{1}} = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_{N1}}$$

$$1,5 \cdot I_{\frac{1}{1}} \leq I_N \leq 2 \cdot I_{\frac{1}{1}}$$

SIBA sikringer findes i følgende størrelser: 16A, 20A, 25A, 31,5A, 40A, 50A, 63A, 80A.  
Se S. 301 # 5 For kriterier for valg af sikring.

**Konstanttidsrelæ.**



Fuldlaststrømmen findes ud fra transformerens mærkedata.

$$I_{\frac{1}{1}} = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_{N1}}$$

Vælg en passende strømtransformer. **Størrelser???**

$n_{mt}$

**Indstilling af I> og t>.**

$$I>: \frac{1}{I_N} \cdot \frac{1}{n_{mt}} \cdot 1,2 \cdot I_{\frac{1}{1,1}} \quad \text{Hvor } I_N \text{ er det "nederste" ciffer i strømtransformerens omsætningsforhold.}$$

**Udløser:**

$$I>: I_N \cdot n_{mt} \cdot I >$$

$$t>: \frac{1}{2} \cdot t_{net}$$



**Indstilling af  $I_{>>}$  og  $t_{>>}$ .**

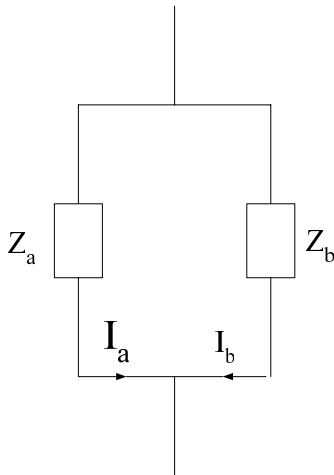
$$I_{>>}: \frac{1}{I_N} \cdot \frac{1}{n_{mt}} \cdot 15 \cdot I_{\frac{1}{1},1}$$

**Udløser:**

$$I_{>>}: I_N \cdot n_{mt} \cdot I_{>>}$$

$t_{>>}$ : Vælges som oftest til 50ms.

### Paralleldrif af transformere.



Krav til transformerne:  
s. 62 # 3.

- Samme omsætningsforhold
- Samme  $\cos \varphi_K$  ellers belastes "skævt"
- Samme fasebeliggenhed for spændingsvektorer Primær/Sekundær (Koblingsciffer)

Sammenligning af  $\cos \varphi_K$ :

$$\cos \varphi_K = \frac{e_R}{e_K} = \frac{P_{CU} \cdot 100}{S_n \cdot e_K}$$

Lastfordeling:

$$\frac{S_{Na} \cdot e_{Ka}}{S_{N1/a}} = \frac{S_{Nb} \cdot e_{Kb}}{S_{N1/b}}$$

Lastfordelingen beregnes ved at sætte den ene transformer til at trække fuldlast, herefter er der kun 1 ubekendt i ligningen.

"Nøjagtigere beregning"

Samme "spændingsfald" over transformatorer.

$$\vec{I}_a \cdot \vec{Z}_a = \vec{I}_b \cdot \vec{Z}_b$$

Impedansen i transformatorer beregnes.

$$Z_{T,2} = \frac{U_n^2 \cdot e_K}{S_N \cdot 100}$$

$$I_a \cdot \vec{Z}_a = I_b \cdot \vec{Z}_b \Rightarrow$$

$$I_a = \frac{\vec{Z}_b}{\vec{Z}_a} \cdot I_b \Rightarrow$$

$$I_a = \frac{(Z_{T,2a} \angle \varphi_a)}{(Z_{T,2b} \angle \varphi_b)} \cdot I_b$$

Her for man så et udtryk for forholdet mellem belastningsgraden på de to transformere.

### Kortslutningsbeskyttelse af parallelle transformere.

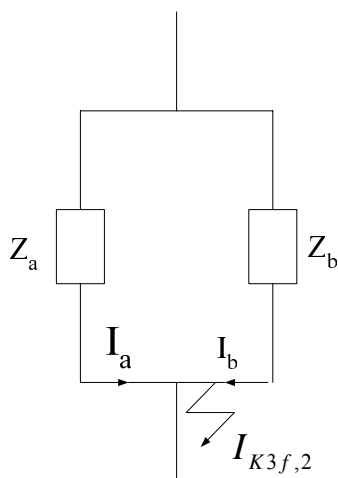
Ved beskyttelse af transformerne skal der tages højde for om transformerne er koblet parallelt eller de ikke er koblet parallelt.

Ved ikke parallelle transformere bliver kortslutningsstrømmen større end i situationen hvor transformerne er koblet i parallel.

Er transformerne således beskyttet af sikringer benyttes beregningerne hvor transformerne er koblet parallelt.

Ved beskyttelse med relæer benyttes beregningerne hvor transformerne ikke er koblet parallelt.

### Parallelt koblede transformere.



Impedansen af de parallelt koblede transformere beregnes.

$$\vec{Z}_p = \frac{\vec{Z}_a \cdot \vec{Z}_b}{\vec{Z}_a + \vec{Z}_b}$$

Nettets impedans beregnes.

$$Z_{N,2} = \frac{Z_{N,1}}{n^2} \cos\varphi_N \Rightarrow \varphi_N$$

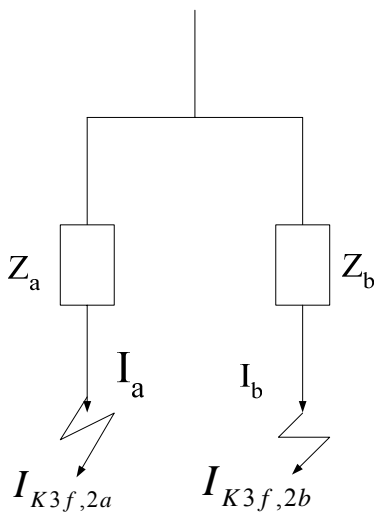
Kortslutningsstrømmen beregnes.

$$I_{K3f,2} = \frac{U_{N,2}}{\sqrt{3} \cdot (\vec{Z}_N + \vec{Z}_p)}$$

Kortslutningsstrømmen fordeles som:

$$I_a = \frac{\vec{Z}_b}{\vec{Z}_a} \cdot I_b$$

### Ikke parallelt koblede transformere.



Net impedans.

$$Z_{N,2} = \frac{Z_{N,1}}{n^2} \cos\varphi_N \Rightarrow \varphi_N$$

Transformer impedans.

$$Z_{T,2} = \frac{U_n^2 \cdot e_K}{S_N \cdot 100}$$

Kortslutningsstrømmen beregnes.

$$I_{K3f,2X} = \frac{U_{N,2}}{\sqrt{3} \cdot (\bar{Z}_N + \bar{Z}_X)}$$

## Dimensionering af jordingsanlæg i transformerstationer for 10/0,4 kV.

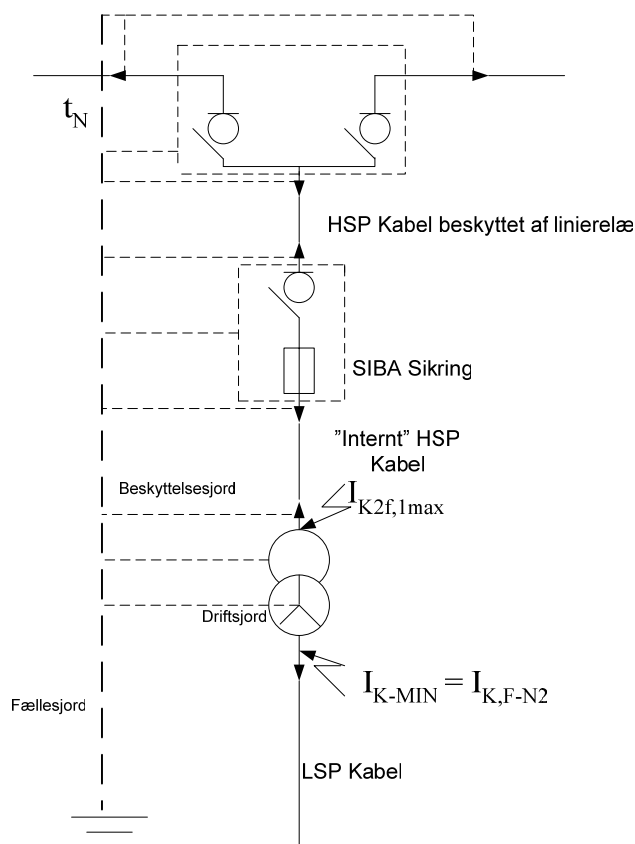
### **Berørings og skridtspænding.**

Der er ikke defineret tilladelige værdier for skridtspændingen.

Skridtspændingen ville dog være større end angivet for berøringsspænding. => Er

berøringsspændingen overholdt er skridtspændingen også overholdt. (s. 22 i Powerpoint foredrag)

Berøringsspændingen findes i "Dødskurven" s. 80 SB # 6.



På tegningen er vist transformer beskyttet af sikringer. De samme udregninger gælder for transformere beskyttet af relæer.

## Beskyttelsesjord.

Beskyttelsesjorden skal beskytte mod elektrisk chok ved berøring med fejl på anlægget. Ved fejl er det linierelæet der skal afbryde fejlen.

$$s \geq \frac{I_{K2f,1MAX}}{k} \cdot \sqrt{\frac{t}{Ln\left(\frac{t_{slut} + \beta}{t_{start} + \beta}\right)}}$$

$t_{slut}$  som oftest er 300 og  $t_{start}$  er 30  
 $t$  er tiden  $t_{net} + 0,1$  sek. (Brydetiden for relæet)

Materiale	$\beta$	K	$t_{slut}$ som oftest er 300° C. og $t_{start}$ er 30° C. $t$ er smeltetiden for sikringen/brydetiden for relæet, ved $I_{KF-N,2}$ kortslutningen.
Kobber	234,5	226	
Aluminium	228	148	
Stål	202	78	

## Kortslutningsstrømmen beregnes.

$$I_{K3f,1} = \frac{S_{kmax}}{\sqrt{3} \cdot U_{N,1}}$$

**Bemærk: Beregningerne går på primærsiden.**

$$I_{K2f,1} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K3f,1}$$

Vælg "blank kobber" fra side 364 #5 Fås i dimensionerne: 10, 16, 25, 35, 50, 70 og 95mm<sup>2</sup>

Vælg minimum 16 mm<sup>2</sup>

## Driftsjord. (Systemjord)

Driftsjordingen forbinder transformereens stjernepunkt til jord.

Dimensionering af driftsjorden.

$$s \geq \frac{I_{KF-N,2}}{k} \cdot \sqrt{\frac{t}{Ln\left(\frac{t_{slut} + \beta}{t_{start} + \beta}\right)}}$$

Materiale	$\beta$	K	$t_{slut}$ som oftest er 300° C. og $t_{start}$ er 30° C. $t$ er smeltetiden for sikringen/brydetiden for relæet, ved $I_{KF-N,2}$ kortslutningen.
Kobber	234,5	226	
Aluminium	228	148	
Stål	202	78	

Vælg "blank kobber" fra side 364 #5 Fås i dimensionerne: 10, 16, 25, 35, 50, 70 og 95mm<sup>2</sup>

Vælg minimum 16 mm<sup>2</sup>

### Kortslutningsstrømmen beregnes.

Sikring.

$$I_{KF-N,2} = I_{K3f,2}$$

$$I_{K3f,2} = \frac{U_{N,2}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{N,2} + R_{T,2})^2 + (X_{N,2} + X_{T,2})^2}}$$

$I_{KF-N,2}$  giver anledning til:

$$I'_{KF-N,2} = \frac{I_{K3f,2}}{\sqrt{3} \cdot n}$$

Med denne kortslutningsstrøm findes smeltetiden i smeltekurven for sikringen.

### Impedans beregninger.

#### Net.

$Z_{N,1} = \frac{U_{N,1}^2}{S_{KN}}$  Overføres til sekundær side:  $Z_{N,2} = \frac{Z_{N,1}}{n^2}$  Er der opgivet 2 forskellige (MIN, MAX)

værdier for kortslutningseffekten for nettet benyttes MIN værdien da der her er størst impedans i nettet. Derved bliver smeltetiden længere.

$$R_{N,1} = 0,1 \cdot Z_{N,1}$$

$$X_{N,1} = 1 \cdot Z_{N,1}$$

Er der opgivet en vinkel på nettet benyttes denne:

$$R_{N,1} = Z_{N,1} \cdot \cos \varphi, N$$

$$X_{N,1} = Z_{N,1} \cdot \sin \varphi, N$$

Impedanserne overføres til primær side hvis man ikke har benyttet  $Z_{N,1}$

Overførte impedanser:



$$R_{N,2} = \frac{R_{N,1}}{n^2}$$

$$X_{N,2} = \frac{X_{N,1}}{n^2}$$

### Transformer.

**Bemærk:** Til beregninger af impedans benyttes spændingsværdien opgivet af transformator fabrikanten, (eks. 420V)

$$Z_{T,2} = \frac{U_n^2 \cdot e_K}{S_N \cdot 100}$$

$$R_{T,2} = \frac{U_n^2 \cdot e_R}{S_N \cdot 100}$$

Bliver  $P_{CU}$  opgivet beregnes som:

$$R_{T,2} = \frac{P_{CU} \cdot U_n^2}{S_N^2}$$

$$X_{T,2} = \sqrt{Z_{T,2}^2 - R_{T,2}^2}$$

### Konstanttidsrelæ.

Her bruges også den tofasede kortslutning.

Beregninger som for sikringer.

$$I_{KF-N,2} = I_{K3f,2}$$

$$I_{K3f,2} = \frac{U_{N,2}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{N,2} + R_{T,2})^2 + (X_{N,2} + X_{T,2})^2}}$$

$I_{KF-N,2}$  giver anledning til:

$$I'_{KF-N,2} = \frac{I_{K3f,2}}{\sqrt{3} \cdot n}$$

Tiden bestemmes som:

$$t = t_{>>} + t_{afb}$$

## Impedans beregninger.

### Net.

$$Z_{N,1} = \frac{U_{N,1}^2}{S_{KN}} \quad \text{Overføres til sekundær side: } Z_{N,2} = \frac{Z_{N,1}}{n^2} \quad \text{Er der opgivet 2 forskellige (MIN, MAX)}$$

værdier for kortslutningseffekten for nettet benyttes MAX værdien da der her er mindst impedans i nettet. Dette giver anledning til den største strøm.

$$R_{N,1} = 0,1 \cdot Z_{N,1}$$

$$X_{N,1} = 1 \cdot Z_{N,1}$$

Er der opgivet en vinkel på nettet benyttes denne:

$$R_{N,1} = Z_{N,1} \cdot \cos \varphi, N$$

$$X_{N,1} = Z_{N,1} \cdot \sin \varphi, N$$

Impedanserne overføres til primær side hvis man ikke har benyttet  $Z_{N,1}$

Overførte impedanser:

$$R_{N,2} = \frac{R_{N,1}}{n^2}$$

$$X_{N,2} = \frac{X_{N,1}}{n^2}$$

### Transformer.

**Bemærk: Til beregninger af impedans benyttes spændingsværdien opgivet af transformator fabrikanten, (eks. 420V)**

$$Z_{T,2} = \frac{U_n^2 \cdot e_K}{S_N \cdot 100}$$

$$R_{T,2} = \frac{U_n^2 \cdot e_R}{S_N \cdot 100}$$

Bliver  $P_{CU}$  opgivet beregnes som:

$$R_{T,2} = \frac{P_{CU} \cdot U_n^2}{S_N^2}$$

$$X_{T,2} = \sqrt{Z_{T,2}^2 - R_{T,2}^2}$$

## **Fællesjord.**

Vælg som den dimension der er størst af beskyttelsesjord og driftsjord.

## **Overgangsmodstand til jord.**

Det skal sikres at overgangsmodstanden gennem jordspyddet over til jord er tilstrækkeligt lav.

Det oplyses fra forsyningsselskabet hvor stor reststrøm ( $I_{RES}$ ) der løber i nettet i tilfælde af fejl. Denne strøm ganges med skærmfaktoren ( $r$ ), der er en faktor (0-1) der reducerer strømmen. Da vi regner med værste tænkelige tilfælde sættes skærmfaktoren til 1.

Resulterende jordstrøm:

$$I_E = I_{RES} \times r \quad \Rightarrow \quad I_E = I_{RES} \times 1 \quad \Rightarrow \quad I_E = I_{RES}$$

**OBS! Der er forskel på dimensioneringen af forsynings- og "virksomhedsstransformere".**

### **Forsyningstransformer:**

Maksimum overgangsmodstand:

$$R_{Jord} \leq \frac{2 \times U_{TP}}{I_E}$$

$U_{TP}$  findes i tabel 9.1 i SB afsnit 2 side 82.

Er tiden ikke fastsat, sættes  $U_{TP} = 75$  volt. (note 2)

### **Virksomhedsstransformer:**

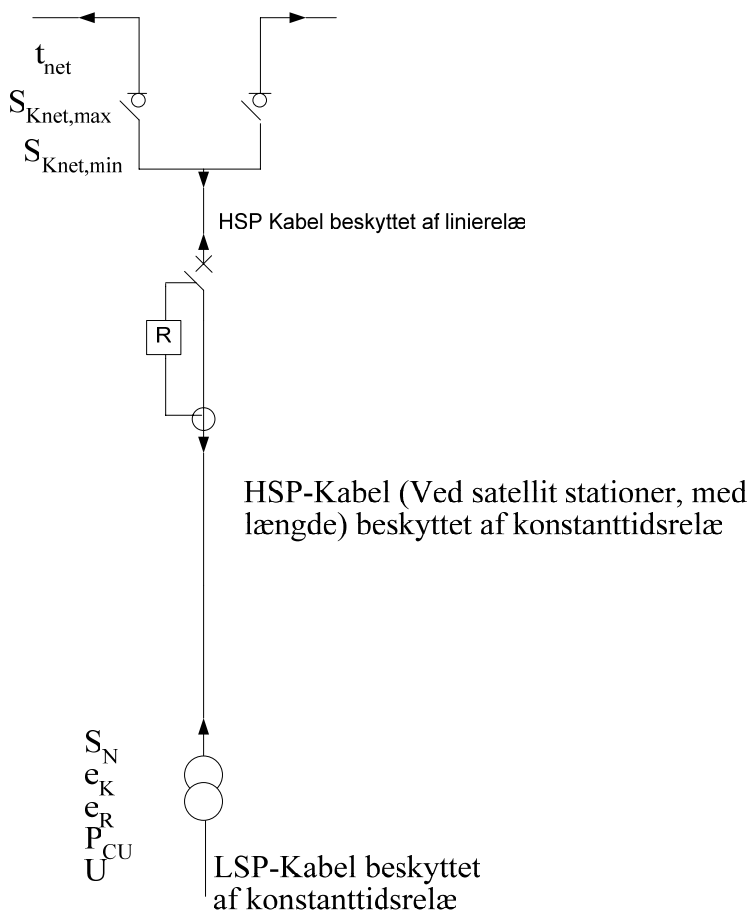
Maksimum overgangsmodstand:

$$R_{Jord} \leq \frac{U_{TP}}{I_E}$$

$U_{TP}$  findes i tabel 9.1 i SB afsnit 2 side 82.

Er tiden ikke fastsat, sættes  $U_{TP} = 75$  volt. (note 2)

## Dimensionering af transformerstationer for 10/0,4 kV.



Der kunne være placeret sikringer i stedet for konstanttidsrelæ.

### **Kortslutninger på primærsiden.**

#### **Trefaset kortslutning.**

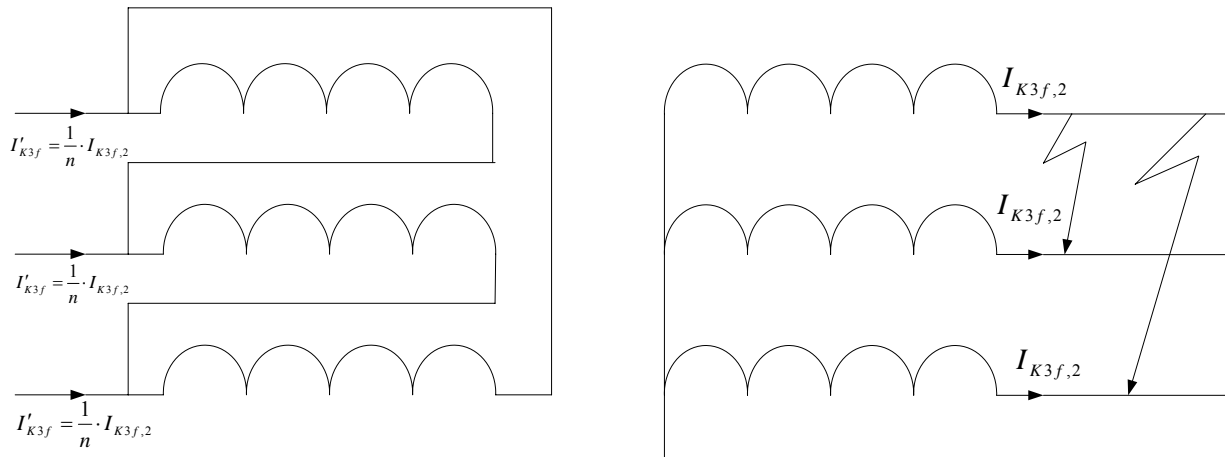
$$I_{K3f,1} = \frac{U_{N,1}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{N,1})^2 + (X_{N,1})^2}}$$

#### **Tofaset kortslutning.**

$$I_{K2f,1} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K3f,1}$$

## Kortslutninger på sekundærsiden.

### Trefaset kortslutning.



Den trefasede kortslutning beregnes.

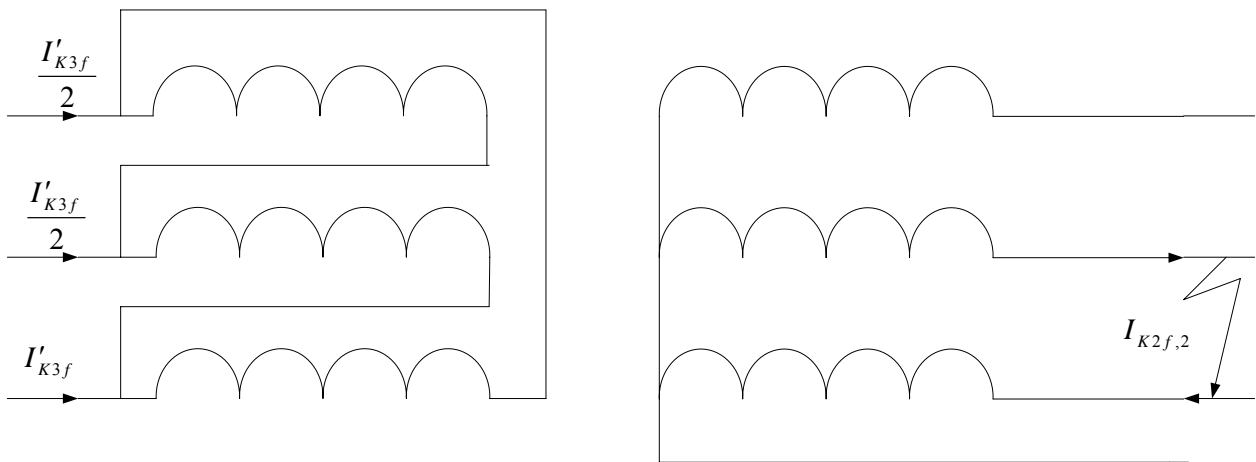
$$I_{K3f,2} = \frac{U_{N,2}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{N,2} + R_{kabel,2} + R_{T,2})^2 + (X_{N,2} + X_{kabel,2} + X_{T,2})^2}}$$

( $R_{kabel,2}$  og  $X_{kabel,2}$  medtages kun ved satellit stationer)

Den trefasede kortslutning på sekundær siden giver anledning til:

$$I'_{K3f} = \frac{1}{n} \cdot I_{K3f,2}$$

**Tofaset kortslutning på sekundærsiden.**



Den tofasede kortslutning på sekundærsiden beregnes.

$$I_{K2f,2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K3f,2}$$

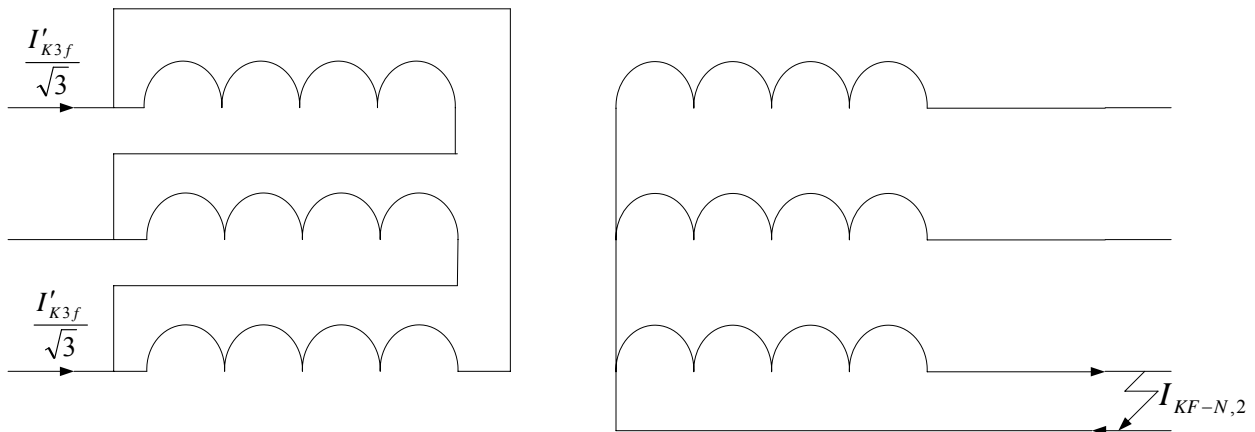
Den trefasede kortslutning beregnes som ovenfor.

Den tofasede kortslutning giver anledning til to forskellige kortslutningsstrømme på primærsiden.

$I'_{K3f}$  i en af lederne og  $\frac{I'_{K3f}}{2}$  i to af lederne.

Denne kortslutningssituation kan give selektivitets problemer, da strømmen på primærsiden i en af lederne er forholdsvis stor og strømmen på sekundærsiden er forholdsvis lille. På højspændingssiden sidder sikringerne i "lister" der afbryder alle faser når en enkelt sikring smelter.

### Enfaset kortslutning på sekundærsiden.



På ”hornene” på transformatorens sekundærside gælder:

$$I_{KF-N,2} = I_{K3f,2}$$

Den enfasede kortslutning på sekundærsiden giver anledning til  $\frac{I'_{K3f}}{\sqrt{3}}$  på primærsiden.

Kortslutningsstrømmen på primærsiden er forholdsvis lille i forhold til strømmen på sekundærsiden. Dette giver problemer hvis transformeren og LSP- kablerne er beskyttet af sikringer på primærsiden. Da sikringerne her vil være ret lang tid om at smelte.

Ved satellit stationer bliver den enfasede kortslutningsstrøm endnu mindre.

## **Impedans beregninger.**

### **Net.**

$Z_{N,1} = \frac{U_{N,1}^2}{S_{KN}}$  Overføres til sekundær side:  $Z_{N,2} = \frac{Z_{N,1}}{n^2}$  Er der opgivet 2 forskellige (MIN, MAX)

værdier for kortslutningseffekten for nettet benyttes MIN/MAX værdien alt efter hvilke beregninger der skal udføres. Ved MAX effekt er impedansen i nettet mindst, ved MIN effekt er impedansen i nettet størst.

$$R_{N,1} = 0,1 \cdot Z_{N,1}$$

$$X_{N,1} = 1 \cdot Z_{N,1}$$

Er der opgivet en vinkel på nettet benyttes denne:

$$R_{N,1} = Z_{N,1} \cdot \cos \varphi, N$$

$$X_{N,1} = Z_{N,1} \cdot \sin \varphi, N$$

Impedanserne overføres til primær side hvis man ikke har benyttet  $Z_{N,1}$

Overførte impedanser:

$$R_{N,2} = \frac{R_{N,1}}{n^2}$$

$$X_{N,2} = \frac{X_{N,1}}{n^2}$$

### **Transformere.**

**Bemærk: Til beregninger af impedans benyttes spændingsværdien opgivet af transformator fabrikanten, (eks. 420V)**

$$Z_{T,2} = \frac{U_n^2 \cdot e_K}{S_N \cdot 100}$$

$$R_{T,2} = \frac{U_n^2 \cdot e_R}{S_N \cdot 100}$$

Bliver  $P_{CU}$  opgivet beregnes som:

$$R_{T,2} = \frac{P_{CU} \cdot U_n^2}{S_N^2}$$

$$X_{T,2} = \sqrt{Z_{T,2}^2 - R_{T,2}^2}$$



## HSP-Kabel.

Impedansen i HSP-Kablerne er kun interessant i satellit stationer. I ”Almindelige” transformerstationer regnes kablet for så kort at impedansen kan negligeres.

$$R_{kabel,1} = R \cdot l$$

$$X_{kabel,1} = X \cdot l$$

R og X værdierne findes side 135 # 5

Værdierne overføres til sekundær siden af transformeren:

$$R_{kabel,2} = \frac{R_{kabel,1}}{n^2}$$

$$X_{kabel,2} = \frac{X_{kabel,1}}{n^2}$$

## Dimensionering af HSP-Kabel beskyttet af linierelæ.

Kan også være udført som skinner.

Kablet vælges ud fra:

$$I_z \geq I_{\text{I},1}$$

$$I_{K1S} \geq I_{K3f,1} \cdot \sqrt{t_{net} + t_{bryde}}$$

### **Dimensionering af HSP-Kabel.**

- 1) Kablet skal kunne bære fuldlaststrømmen.
- 2) Kablet skal kunne bære den værste kortslutningsstrøm indtil denne brydes.
- 3) Skærmen skal kunne bære en kortslutning til skærm indtil denne afbrydes.  
(Satellit stationer)

Kablerne findes side 135 # 5

### **Valg af højspændings kabel.**

#### **Transformerstation beskyttet af sikringer.**

- 1)  $I_Z = I_{\frac{1}{\lambda}}$
- 2)  $I_{K1S} \geq I'_{KF-N,2} \cdot \sqrt{t}$  Hvor "t" findes i smeltekurven side 298 #5 ved den fundne kortslutningstrøm.

#### **Satellit station beskyttet af sikringer.**

- 1)  $I_Z = I_{\frac{1}{\lambda}}$
- 2)  $I_{K1S} \geq I'_{KF-N,2} \cdot \sqrt{t}$  Hvor "t" findes i smeltekurven side 298 #5 ved den beregnede kortslutnings strøm.
- 3)  $I_{K1S,S} \geq I_{K2f,1} \cdot \sqrt{t}$  Hvor "t" findes i smeltekurven side 298 #5 ved den beregnede kortslutnings strøm.  
Kortslutningsstrømmen beregnes ved transformeren.  
(Tag højde for impedans i HSP-Kabel)

#### **Transformerstation beskyttet af konstanttidsrelæ.**

- 1)  $I_Z = I_{\frac{1}{\lambda}}$
- 2)  $I_{K1S} \geq I_{K3F,1} \cdot \sqrt{t \gg +t_{bryde}}$  Kortslutningsstrømmen beregnes ved relæet.

#### **Satellit station beskyttet af konstanttidsrelæ.**

- 1)  $I_Z = I_{\frac{1}{\lambda}}$
- 2)  $I_{K1S} \geq I_{K3F,1} \cdot \sqrt{t \gg +t_{bryde}}$  Kortslutningsstrømmen beregnes ved relæet.
- 3)  $I_{K1S,S} \geq I_{K2f,1} \cdot \sqrt{t \gg +t_{bryde}}$  Kortslutningsstrømmen beregnes ved relæet.

### **Dimensionering af LSP-Kabel.**

Dette er dimensioneringen af kablet mellem transformerens sekundær sides ”horn” og LSP-tavlen placeret i transformerstationen eller placeret op af væggen til transformerstationen.

$$I_z = \frac{I_1^{1,2}}{k_t \cdot k_s}$$

$k_t$  er temperatur konstant, Tabel 52 F1. SB # 6 s. 169 og

$k_s$  er sideløbs konstant, Tabel 52 G. SB # 6 s. 171. (oftest oplægges efter metode ”G” hvilket medfører at  $k_s$  er 1)

Vælg ledere ud fra side 329 # 6 eller s. 165 og 167 SB # 6.

### **Kontrol af kortslutningsbeskyttelse.**

$$I^2 \cdot t \leq k^2 \cdot s^2$$

Hvor I er kortslutningsstrømmen på sekundær siden.

t er smeltetiden for højspændingssikringen.

k er en materiale konstant:

CU-Leder med PVC k= 115

AL-Leder med PVC k= 76

## **Mangler: De ”usandsynlige” kortslutninger**

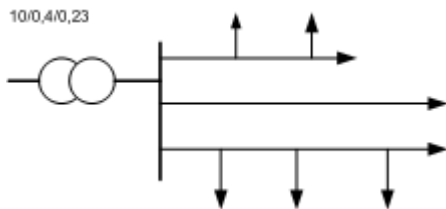
## Dimensionering og udførelse af distributionsnet for lavspænding.

I dag bliver stort set alle nye anlæg udført som kabelnet.

Nettet består altid af 3 fase og nul. Nettet er direkte jordet, dvs. nulleder tilsluttet transformatorens sekundær side nulpunkt.

### Nettyper:

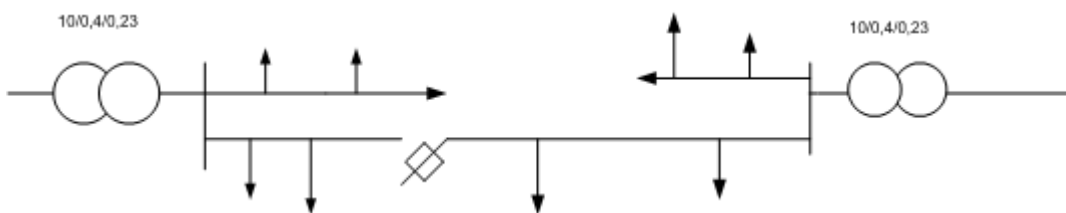
#### Åbne net. (Redekamlinie)



Fordele: Billigt og overskueligt.

Ulemper: Manglende driftsikkerhed ved fejl på linie/transformator.

#### Delvist lukkede net.

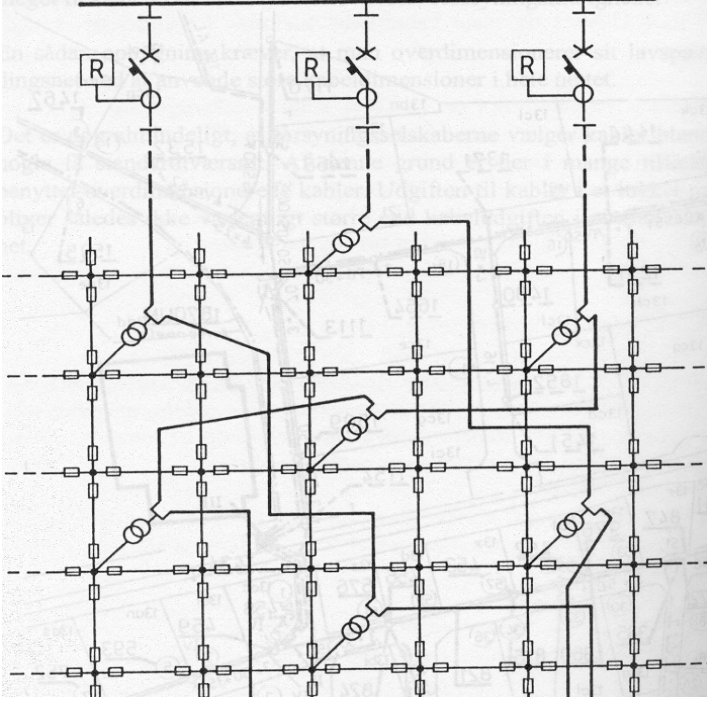


Anvendes i byområder hvor transformatorstationerne i forvejen er placeret forholdsvis tæt sammen.

Fordele: større forsyningssikkerhed. Flexibilitet. Da kablerne i forvejen er valgt blandt få standard størrelser vil kablet ofte være overdimensioneret i forvejen.

## Maskenet.

Enkelte større byer. (København, Frederiksberg, Odense, Helsingør)



Fordele: Stor forsyningssikkerhed.

Ulemper: Der skal sikres mod retur effekt fra lavspændingsnettet til højspændingsnettet. Ved store maskenet vil en afbrydelse af en linie betyde en yderligere belastning på andre linier, overbelastes disse kan de også blive udkoblet. Maskenet skal startes igen i sektioner.

## ***Belastningsgrundlag og valg af kabler.***

### **Boligområder.**

Erfaringsformler, bliver hele tiden ændret og forbedret.

Forudsætter:  $\cos\phi=1$  og stigningstakt = 1 % (Nye brugsgenstande bruger mindre energi end dem de erstatter)

For bolig områder uden elvarme:

$$P_B = 0,12 \cdot (A \cdot n)^{0,74}$$

$P_B$  er den dimensionerende effekt i kW

A er bolig areal i m<sup>2</sup>  
n er antal boliger

Velanderkorrelationen:

$$P_B = k_1 \cdot W \cdot k_2 \cdot \sqrt{W}$$

P<sub>B</sub> er den dimensionerende effekt i kW

W er det totale energiforbrug i MWh

k<sub>1</sub> og k<sub>2</sub> er konstanter bestemt af belastningstypen for helårshuse uden varme: k<sub>1</sub> = 0,24 k<sub>2</sub> = 2,31

Forsyningsselskaberne fastsætter selv konstanter ud fra erfaringer.

### **City område:**

Blanding af forretninger, kontorer, småerhverv og beboelse.

Der måles på den aktuelle belastning og herefter vurderes om en transformerstation skal udvides eller nye stationer opføres.

### **Landbrugsområder.**

Til beregning af dimensionerende belastning kan man benytte stikledningens sikrings mærkestrøm:

$$I_B = 0,75 \cdot I_{NMAX} + 0,3 \cdot \Sigma I_N$$

I<sub>B</sub> er den dimensionerende strøm.

I<sub>NMAX</sub> er mærkestrømmen for største stikledningssikring

ΣI<sub>N</sub> er summen af stikledningens sikrings mærkestrøm.

### **Industriområder.**

Planlæg når man kender belastningen.....

Kan forventes at ligge mellem 6 W/m<sup>2</sup> og 120 W/m<sup>2</sup>

Der kan udføres ringforbindelser i højspændingsnettet og evt. i lavspændingsnettet. (Øget fleksibilitet)

## Belastningsstigning.

Renteformel:

$$S_N = S_B \cdot (1 + r)^n$$

n er antal år der skal fremtidssikres.

r er stigningstakten (For tiden lav, 1 %)

S<sub>B</sub> er beregnede dimensionerende belastning

S<sub>N</sub> er den "fremtidssikrede" dimensionerede belastning

## Valg af kabler.

Fulldlaststrøm, kontroller kortslutningsbeskyttelse..

Oftes tillades en overbelastning af kablerne.

Kontroller spændingsfald.

Selektivitet. Både mellem forskellige lavspændingssikringer og mellem høj og lavspændingssiden..

## Dimensionering af kablerne.

Først beregnes en belastningsstrøm FX ved "Velder beregning" Herefter vælges et kabel der kan bære fulldlaststrømmen. Herefter udføres beregningen:

$$I_Z = I_{Z,20} \cdot K_{tm} \cdot K_S \cdot K_t$$

Hvor I<sub>Z,20</sub> er kablets strømværdi ved 20°C, (tabel på side 377 #5) K<sub>tm</sub> er korrektionsfaktor for termisk modstand (specifikt for jordbundens type, som oftest sat til 1 Km/W (side 376 #5)) K<sub>S</sub> er sideløbskorrektur (tabel side 377 #5) og K<sub>t</sub> er korrektion for jord temperaturen.

## Kontrol af kortslutningsbeskyttelse.

Værste kortslutningsstrøm beregnes. Beskyttet med sikringer er den værste kortslutningsstrøm en Fase-Nul kortslutning længst væk fra sikringerne. Herudover skal kortslutningsstrømmen halveres som en sikkerhedsfaktor.

Beregning.

$$I_{KF-N} = \frac{U_{N,2}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{\bar{Z}_{N,2} + \bar{Z}_{T,2} + ((2 \cdot R_{LSPK}) + j(2 \cdot X_{LSPK}))}}$$

Herefter beregnes I<sub>KF-NMIN</sub>

$$I_{KF-N,MIN} = \frac{I_{KF-N}}{2}$$

Det er denne minimums strøm vi beregner om kablet kan bære kortslutningen.

$$t_{SMELTE} \leq \left( \frac{I_{K1S}}{I_{KF-N,MIN}} \right)^2 \quad I_{K1S} \text{ findes i tabellen på side 380 \#5}$$

## Overstrømsbeskyttelse og spændingsfald.

Overstrømsbeskyttelse: se valg af kabler.

Spændingsfald: (rekommendationer)

I forsyningspunktet målet over 10 min. +/- 6-10 % af 230V.  
Frekvensen målt over gennemsnit på 10 sek. 50Hz +/- 1 %

Der kan komme variationer på grund af ind og udkobling af brugsgenstande. Kan forvrænge sinuskurven i uacceptabel grad.

Sker der et spændings ændring til under 90 % af nominel spænding i kort tid betegnes det et spændingsdyk. Må ikke gå under 85 % af nominel spænding.

$$\Delta U_{\text{JDYK}} = 6,39 \cdot (0,083 \cdot a)^{-0,31} \Rightarrow$$
$$a = \left( \frac{1}{0,083} \right)^{0,31} \cdot \sqrt[0,31]{\frac{6,39}{\Delta U_{\text{JDYK}}}}$$

Sammenhængen mellem et acceptabelt spændingsdyk og antallet af spændingsdyk pr time.

## Fluktationer.

Hurtige spændingsændringer. Side 394 # 5

Antal ændringer pr minut er 0,1 til 10000. der kan accepteres flere fluktationer i området over 1000 ændringer pr minut da det ikke i samme grad påvirker elektronik. Ved lavere hyppighed af fluktationer kan fluktationerne ses som flimren fra lyskilder.

Fluktationer fremkommer ved ind og udkobling af transformatorer, motorer og punktsvejsere.



## Overharmoniske spændinger.

Fremkommer ved ulineære belastninger af nettet.

1.

$$\sqrt{\sum U_f^2} \leq 8\% \text{ ”kvadratroden af kvadratsummen af overharmoniske spændings effektivværdi”}$$

Dominerende overharmoniske	Overharmonisk effektivværdi i % af 50Hz
150 Hz	$\leq 5$
250 Hz	$\leq 6$
350 Hz	$\leq 5$
450 Hz	$\leq 1,5$
550 Hz	$\leq 3,5$
650 Hz	$\leq 4$
750 Hz	$\leq 0,5$

2.

$$\sqrt{\sum \left( \frac{f}{50} \cdot U_f \right)^2} \leq \frac{75}{100} \cdot 230$$

”Vægtes de enkelte overharmoniske spændinger skal kvadratroden af kvadratsummen af de vægtede effektivværdier være mindre eller lig 75 % af 50 Hz spændingens effektivværdi”

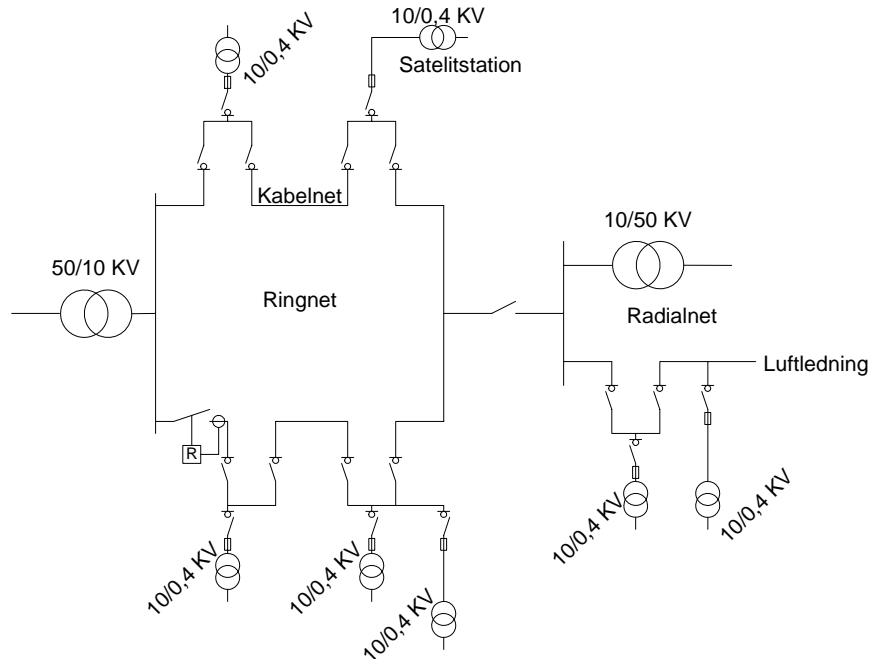
Dette beregnes ved at finde effektivværdien af de overharmoniske ved den pågældende frekvens.

## Spændingsusymmetri.

Skal være mindre end 2 % målt over 10 minutters gennemsnit.

$$\frac{U_{afvigelse \max}}{U} \cdot 100 \leq 2\%$$

## Dimensionering og udførelse af distributionsnet for 10 og 20kV.



### Distributionsnet typer:

- Radial med afgrening. (Redekam) (Max 6 transformator stationer)
- Ringnet. (Hvis drevet som radialnet, max 10 transformatorstationer)
- Ringnet med flere forsyningspunkter.
- (Radial) –Vel ikke egentlig distributions net, måske mere forsyningsnet....

Distributionsnet bliver ofte drevet som åbne ringnet, dvs. radialnet med afgreninger. Stor forsyningsikkerhed.

### Overførelsessevne:

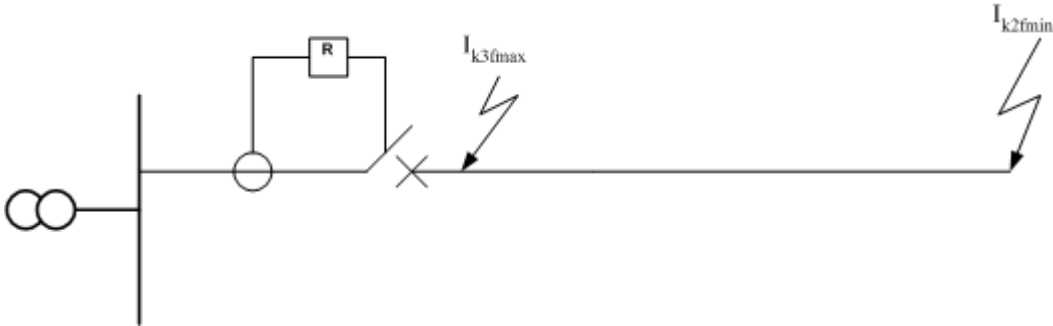
Overførelsessevne er et udtryk for den strøm et kable kan bære. Der tages højde for en tilladelig overbelastning. Fx kan 20 % overbelastning til tider tillades.

For luftledninger gælder det at der kan tillades en ledertemperatur på op til 80° C.

For kabler nedlagt i jord gælder det at der kan tillades en ledertemperatur på op til 250° C. i kort tid (Kortslutning)

## Relæ beskyttelse af radialnet: (konstanttidsrelæ)

Relæet skal bryde den mindste kortslutningsstrøm. I dette tilfælde den tofasede kortslutning ”længst væk” fra relæet.  
(Kriteriet for indstilling af kortslutningsafbryderen:  $I \gg$ )



$$I \gg: \frac{1}{I_N} \cdot \frac{1}{n_{mt}} \cdot 0,75 \cdot I_{k2f \min}$$

$$I \gg: I_N \cdot n_{mt} \cdot I \gg$$

$$I_{k3f \min} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot (Z_n + Z_k)}$$

$$I_{k2f \min} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k3f \min}$$

### Indstilling af afbrydetid ved kortslutning:

1)

$$I_{k1s} \geq I_{k3f \max} \cdot \sqrt{t \gg afb} \Rightarrow t \leq \left( \frac{I_{k1s}}{I_{k3f \max}} \right)^2$$

Skærmen skal kunne bære en kortslutning til skærm....

2)

$$I_{k1s,s} \geq I_{k2f,\max} \cdot \sqrt{t \gg +afb} \Rightarrow t \leq \left( \frac{I_{k1s,s}}{I_{k2f \max}} \right)^2$$

Den mest kritiske kortslutning findes og tiden indstilles på relæet. (Den kortslutning der kan bæres i kortest tid)

$t_{>}$ : indstilles som den beregnede tid minus  $t_{afb}$  ( $t_{afb} = 0,1$  sek)

### Beregning af $I_{>}$ :

$$I_{>} = \frac{1}{I_N} \cdot \frac{1}{n_{mt}} \cdot 1,2 \cdot I_z$$

$$I_{>} = I_N \cdot n_{mt} \cdot I_z$$

Når  $I_{>}$  er indstillet kan vi beregne tiden:  $t_{>}$

$$I_{k1s} \geq I_{OB} \cdot \sqrt{t_{>} + afb} \Rightarrow t_{>} \leq \left( \frac{I_{k1s}}{I_{OB}} \right)^2$$

$$I_{OB} = I_{>}$$

Bemærk: man behøver ikke at tage hensyn til tiden for afbryderen ved indstilling, da bryde tiden er meget kort i forhold til den samlede tid.

Det er kun lederne der skal overbelastningsbeskyttes... Man bruger normalt ikke skærmen til at føre belastningsstrømmen...

### Spændingsfald.

**Radiallinie:**



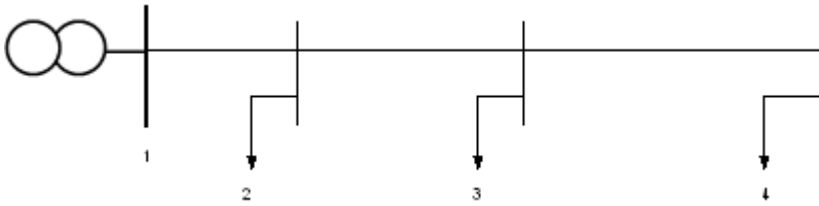
$$\Delta U_f = I \cdot R \cdot \cos \varphi + I \cdot X \cdot \sin \varphi$$

$$\Delta U_n = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_{n2}}$$

P & Q er forbrugeren,  $U_{n2}$  er spændingen ved forbrugeren.

$$U_{n2} = U_{n1} - \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_{n2}} \quad \text{Dette er normalt den i praksis acceptable beregning.}$$

Redekamlinie:

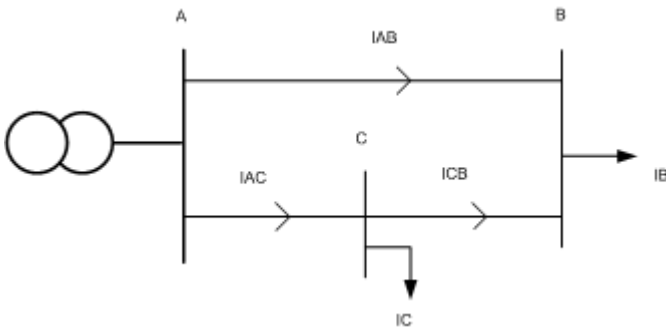


$$\Delta U_{12N} = \operatorname{Re} \sqrt{3} \cdot (\vec{Z}_{12} \cdot (\vec{I}_2 + \vec{I}_3 + \vec{I}_4))$$

$$\Delta U_{23N} = \operatorname{Re} \sqrt{3} \cdot (\vec{Z}_{23} \cdot (\vec{I}_3 + \vec{I}_4))$$

$$\Delta U_{34N} = \operatorname{Re} \sqrt{3} \cdot (\vec{Z}_{1234} \cdot (\vec{I}_4))$$

Ringnet:



Forudsætter ringnettet er opbygget af ens kabler dvs. samme materiale og tværsnit samt belastningernes effektfaktor er ens.

1)

$$\Delta U_{fAB} = \Delta U_{fACB}$$

2)

$$I_{AB} + I_{CB} = I_B$$

3)

$$I_{AC} - I_{CB} = I_C$$

Ved omskrivning bliver 1):

$$I_{AB} \cdot L_{AB} = I_{CB} \cdot L_{ACB} + I_C \cdot L_{AC}$$

Ved hjælp af snedig matematik eller en dygtig operatør med en moderne elektronhjerne kan 3 ligninger med 3 ubekendte løses..... Derved kan strømmene i de forskellige dele bestemmes.

$$\Delta U_{fAB} = I_{AB} \cdot R_{AB} \cdot \cos \varphi + I_{AB} \cdot X_{AB} \cdot \sin \varphi$$

$$\Delta U_{fAC} = I_{AC} \cdot R_{AC} \cdot \cos \varphi + I_{AC} \cdot X_{AC} \cdot \sin \varphi$$

$$\Delta U_{fCB} = I_{CB} \cdot R_{CB} \cdot \cos \varphi + I_{CB} \cdot X_{CB} \cdot \sin \varphi$$

## Skinner i LSP-Tavler.

s. 334 #5

### **Dimensionering.**

Skinnerne skal kunne bære:

- Strømbelastning. (Fuldlaststrømmen)
- Dynamisk påvirkning under kortslutning.
- Termisk påvirkning under kortslutning.

### **Strømbelastning.**

$I_B \geq I_{\frac{1}{1,2}}$  Transformatorens fuldlaststrøm skal kunne bæres af skinnerne.

Strømbelastningen for skinnerne kan findes på s. 335 # 5.

Ex. På skinne:

Bredde x tykkelse mm	Tværsnit mm <sup>2</sup>	Kobber, blank	Aluminium, blank
40 x 5	200	515 A.	385 A.

Højeste ledertemperatur er 65° C.

Bemærk at malede kobber skinner kan bære 10 % mere end blanke kobber skinner, malede aluminium skinner kan bære 15 % mere end blanke aluminium skinner.

### **Dynamisk påvirkning under kortslutning.**

Parallele ledere med samme strømretning vil tiltrækkes hinanden. s. 81 # 1.  
(Venstrehåndsreglen)



Skinnens modstandsmoment skal være større end det beregnede modstandsmoment for skinnen.

Den største kraftpåvirkning kommer ved kortslutningsstødstrømmen.  
Kortslutningsstødstrømmen beregnes som:

$$I_{STØD} = \sqrt{2} \cdot \kappa \cdot I_{K3f \max, 2}$$

$\kappa$  afhænger af R/X forholdet (Effektfaktoren)

Mundtlige prøvespørgsmål M5a. Forår 2004

$\kappa$  findes s. 65 # 6.

Kraftpåvirkningen beregnes som: s. 81 # 1.

$$F = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot l}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

Kraftpåvirkningen kan skrives som:

$$F = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot l}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

$$F = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot l}{2 \cdot \pi \cdot a} \Rightarrow$$

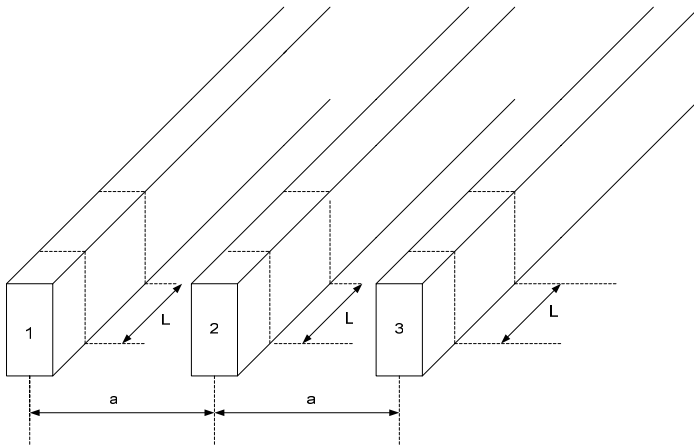
$$F = \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot l}{a} \Rightarrow$$

$$F = 2 \cdot 10^{-7} \cdot l \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{a}$$

$\mu_0$  for ledere anbragt i luft:  $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$

$a$  er afstanden mellem lederne i meter

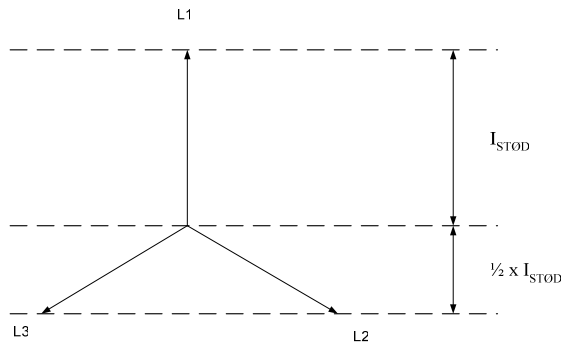
$l$  er længden af skinnen i meter (Mellem fastgøringspunkterne)



Det kan vises at den største kraftpåvirkning optræder på leder 2.

$$F_{L2} = \frac{1,73 \cdot 10^{-7} \cdot l}{a} \cdot I_{STØD}^2$$

Mundtlige prøvespørgsmål M5a. Forår 2004



Skinnerne regnes som indspændt.

Bøjningsmoment:

$$M = \frac{F_{L2} \cdot l}{12}$$

$$W_{NØDV.} = \frac{M}{\sigma_{TILL.}}$$

$\sigma_{TILL.}$  afhænger af materialet, profil og 0,2 spænding. Findes i tabel på s. 338 # 5.

$$M = \frac{F \cdot l}{12} \wedge W_{NØDV.} = \frac{M}{\sigma_{TILL.}}$$

$$W_{NØDV.} = \frac{F \cdot l}{12 \cdot \sigma_{TILL.}}$$

Skinnens modstandsmoment skal være større end det nødvendige moment.

$$F_{L2} = \frac{1,73 \cdot 10^{-7} \cdot l}{a} \cdot I_{STØD}^2 \wedge W_{NØDV.} = \frac{F \cdot l}{12 \cdot \sigma_{TILL.}}$$

$$W_{L2} = \frac{1,73 \cdot 10^{-7} \cdot l^2 \cdot I_{STØD}^2}{a \cdot 12 \cdot \sigma_{TILL.}}$$

Alle værdier indsættes i SI enheder.

$$W_{SKINNE} > W_{L2}$$

$W_{SKINNE}$  beregnes ud fra tabel s. 338 # 5.



### **Termisk påvirkning under kortslutning.**

Under kortslutningen vil skinnen blive tilført termisk energi pga effekt tabet i skinnerne.

Den tilførte energi beregnes som:

Tilført energi = Varme

$$I_K^2 \cdot R \cdot t = c \cdot V \cdot \gamma \cdot \Delta T$$

$$R = \frac{\rho \cdot l}{s} \quad \text{Skinnens resistans.}$$

t = Tiden hvor kortslutningsstrømmen optræder.

c = Varmefylde.

V = Volumen.

$\gamma$  = Massefylde.

$\Delta T$  = Temperaturstigning.

$\rho$  = Specifik modstand.

l = Længden af skinnen. (Meter)

s = Tværsnit areal af skinnen. (mm<sup>2</sup>)

$$I_K^2 \cdot R \cdot t = c \cdot V \cdot \gamma \cdot \Delta T \quad \wedge \quad R = \frac{\rho \cdot l}{s} \quad \wedge \quad V = l \cdot s$$

$$I_K^2 \cdot \frac{\rho \cdot l}{s} \cdot t = c \cdot l \cdot 10^{-6} \cdot s \cdot \gamma \cdot \Delta T \Rightarrow \quad \text{Hvor } \frac{\rho}{c \cdot \gamma} = K_{MAT} \text{ er en konstant for skinne materialet.}$$

$$\Delta T = \frac{\rho}{c \cdot \gamma \cdot 10^{-6}} \cdot \left( \frac{I_K}{s} \right)^2 \cdot t \quad (\text{Cu} = 5000 \text{ og Al} = 1120) \text{ Ved at indsætte } I_K \text{ i kA.}$$

Blanke kobber skinner må ikke blive varmere end 200° C. regnes begyndelsestemperaturen som 65° C. bliver  $\Delta T \geq 200 - 65 = 135$  må tiden eller tværsnittet ændres.

$$\Delta T = K_{MAT} \cdot \left( \frac{I_K}{s} \right)^2 \cdot t \Rightarrow$$

$$s = \sqrt{\frac{K_{MAT} \cdot t}{\Delta T}} \cdot I_K$$

Ved kobber skinne og 135° opvarmning:

$$s_{cu} = \sqrt{\frac{5000 \cdot t}{135}} \cdot I_K \Rightarrow$$

$$s_{cu} = 6,086 \cdot I_K \cdot \sqrt{t}$$