

PROJEKTERING AF LAVSPÆNDINGSINSTALLATIONER



INGENIØRHØJSKOLEN ODENSE TEKNIKUM

6. SEMESTER STÆRKSTRØM

(28.05.04)

AF:

Benjamin Nielsen

Daníel Sigurbjörnsson

Martin Todbjerg

Studie nr. 13050

Studie nr. 13924

Studie nr. 13034

Indledning

Formålet med denne opgave er at give kendskab til dimensionering af lavspændingsinstallationer. Ved dimensionering af lavspændingsinstallationer indgår bl.a. følgende fire hovedemner:

- Overbelastningsbeskyttelse (OB) og strømværdi I_Z .
- Kortslutningsbeskyttelse (KB).
- Beskyttelse mod indirekte berøring (BIB).
- Selektivitet.

Under bearbejdningen af projektet, ønskes ovenstående fire hovedemner beskrevet i form af en kortfattet redegørelse, for det teoretiske grundlag og de anvendte metoder.

Dimensioneringsgrundlaget anvendes derefter på en større virksomhed, hvor der tages udgangspunkt i projekteringen af specifikke dele af installationen.

I projektet skal vælges overbelastningsbeskyttelse (OB), strømværdien (I_Z), spændingsfaldet (ΔU) skal kontrolleres, kortslutningsstrømmerne skal findes (I_{Kmax} og I_{Kmin}), dermed skal kortslutningsbeskyttelse (KB) vælges, der skal kontrollere beskyttelse mod indirekte berøring (BIB) og til sidst skal der også kontrolleres om der er selektivitet i installationen.

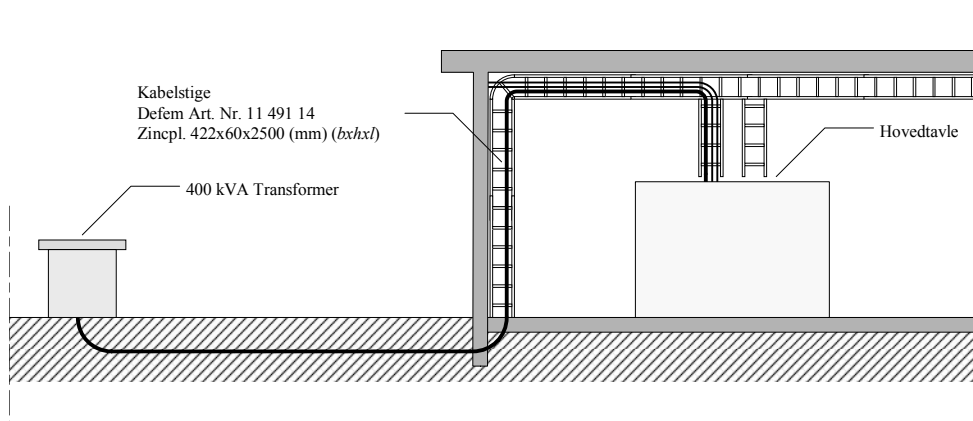
I projektet bliver der ikke taget hensyn til udvidelses faktorer. Men det kan ses på belastningsprocenten på de tre kabler, at der er en udvidelses mulighed der.

Indholdsfortegnelse

Installationsgrundlag	5
Nødvendigt tværsnit og overspændingsbeskyttelse	5
Valg af nødvendige tværsnit til S_{L3} og OB-udstyr for L3	7
Valg af nødvendige tværsnit til S_{L2} og OB-udstyr for L2	7
Valg af nødvendige tværsnit til S_{L1} og OB-udstyr for L1	8
<i>Grus og muldjord</i>	8
<i>I beton</i>	8
<i>I kabelstiger</i>	9
Kontrol af spændingsfald	9
Kortslutningsbeskyttelse	10
Den maksimale kortslutningsstrøm.....	13
Den mindste kortslutningsstrøm	14
Kortslutningsbeskyttelse af L3	14
Kortslutningsbeskyttelse af L2	15
Kortslutningsbeskyttelse af L1	15
Beskyttelse mod indirekte berøring	16
Kontrol til OB og KB af L2 (hovedstrømskreds) yder BIB ved AAF.....	17
Kontrol til OB og KB af L3 (gruppekreds) yder BIB ved AAF	17
Selektivitet	17
Konklusion	19
Litteraturliste	20
Disposition	21
Bilag A – Om valg af kabler til L1, L2 og L3	22
Bilag B – Beregninger af spændingsfald	23
Bilag C – Den mindste kortslutningsstrøm	24
Bilag D – Flowdiagram til valg af overbelastningsbeskyttelse	25

Installationsgrundlag

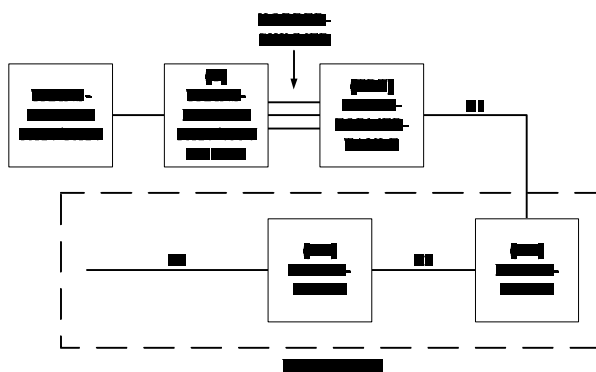
Installationen på fabrikken forsynes fra en 400 kVA transformer (T), der via kobberskinner er forbundet til transformertavlen (TRT). Fra TRT er en hovedledning/stikledning L1, ført frem til hovedtavlen (HT) (se Figur 1). HT forsyner bl.a. undertavlen (UT) via hovedledning L2. Fra UT udgår bl.a. gruppeledning L3. Transformeren er en del af en ringforbindelse og beskyttes på 10 kV siden vha. sikringer. I afgangen på 60/10 kV transformerstationen sidder et beskyttelsesrelæ af typen SPAJ 140C.



Figur 1 Transformere og kabel til hovedtavle i jord og på kabelstige.

I beregningseksemplet skal L1, L2 og L3 dimensioneres og beskyttes. Der skal kontrolleres, om der er selektivitet mellem de enkelte beskyttelsesforanstaltninger (fra 10 kV afgangen på transformerstationen til undertavlen på fabrikken).

Overalt kan omgivelsestemperaturen T_{omg} sættes til 35°C , jordtemperaturen sættes til $T_j = 15^{\circ}\text{C}$ og betontemperaturen sættes til $T_b = 25^{\circ}\text{C}$. Alle belastningsstrømme er trefasede symmetriske. Der anvendes alene PVC/Cu, 4- eller 5-leder kabler¹. Installationen skal udføres i henhold til IEC 603645-523.



Figur 2 Principskitse af installationen

Nødvendigt tværsnit og overspændingsbeskyttelse

Ved dimensionering og overbelastningsbeskyttelse (OB) af diverse installationer, findes der forskellige betingelser der skal overholdes. (OB) er en del af overstrømsbeskyttelse, som også består af kortslutningsbeskyttelse (KB). Spændingsførende ledere skal være beskyttet af udstyr, der

¹ Bilag A – Om valg af kabler til L1, L2 og L3

automatisk afbryder forsyningen i tilfælde af overbelastning. Følgende elementer kan anvendes, som overbelastningsbeskyttelsesudstyr:

- Smeltesikringer
- Automatsikringer
- Maksimalafbrydere med overbelastningsudløser
- Motorværn
- Kontakter med termorelæ

Den første betingelse er at $I_B \leq I_n \leq I_Z$ skal være opfyldt, hvor I_B er belastningsstrømmen i installationen, I_n er beskyttelsesudstyrets mærkestrøm og I_Z er lederens strømværdi. Den næste betingelse er at $I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z$, hvor I_2 er den strøm der sikre den rigtige udløsning af beskyttelsesudstyret. Ved dimensioneringen skal der tages hensyn til følgende forhold:

- **Maksimal driftstemperatur**
Temperaturgrænser for den valgte isolationstype på kablet. Dvs. hvilken driftstemperatur kablet kan klare. Temperaturgrænserne kan ses i kabelfabrikantens datablad.
- **Varmeafledningsforhold**
Hvilke muligheder kablet har for at komme af med varmen. Dvs. om det er gode eller dårlige varmeafledningsforhold. SB tabel 52-D2 viser forskellige måder et kabel kan lægge på. Dvs. om det eksempelvis ligger i isoleret væg eller i lukket kanal osv.
- **Omgivelsestemperatur**
Omgivelsestemperaturen er den temperatur kablet lægger i. Denne temperatur skal der korrigeres for. I SB tabel 52-F1 findes korrektionsfaktorerne for omgivende lufttemperaturer forskellig fra 30 °C. Tabel 52-F2 viser korrektionsfaktorer for omgivende jordtemperaturer forskellig for 20 °C. De nævnte tabeller gælder begge for flere typer kabler. Ledningssystemer skal vælges og installeres således, at de er egnede til den højeste omgivelsestemperatur.
- **Samlet fremføring**
Hvis en samlet fremføring er aktuel, skal strømværdien for hver strømkreds korrigeres. SB tabel 52-G1 indeholder reduktionsfaktorer for samlet fremføring af mere end en strømkreds eller af mere end et flerleder-kabel. Dog er der en undtagelse, som lyder på, at hvis en strømkreds ikke er belastet med mere end 30 % af strømværdien skal denne ikke korrigeres.
- **Samtidighedsfaktor**
En vurdering af hvor meget de forskellige belastninger bliver belastet. Hermed vil der skulle korrigeres med en faktor, samtidighedsfaktor ≤ 1 . Faktorerne kan bl.a. findes i Fællesregulativet.
- **Strøm i nulleleder**
En vurdering af om der løber strøm i nullederen.
- **Intimitterende drift**
Højere harmoniske
- **Udvidelsesmuligheder**
Der kan f.eks. efter at der er blevet korrigeret for samtidighed, tages højde for udvidelse. Dette kan gøres ved at gange med en udvidelsesfaktor der er større end 1.

De nævnte faktorer skal korrigere strømmen I_Z som er lederens strømværdi. Til simplificering er muligt at bruge flowdiagram² til bestemmelse af alle faktorer, til bestemmelse af I_Z .

² Bilag D – Flowdiagram til valg af overbelastningsbeskyttelse

Valg af nødvendige tværsnit til S_{L3} og OB-udstyr for L3

Strømkredse skal beskyttes af udstyr, som afbryder de overbelastningsstrømme der løber i lederne, før overbelastningsstrømmen medfører en temperaturstigning i lederen. Denne stigning af temperaturen kan ødelægge isolationen, sammenføringer eller afslutninger af lederen. Ved anvendelse af automatsikringer til overbelastningsbeskyttelse, vælges automatsikringens mærkestrøm efter tidligere beskrevet betingelse 1. Belastningsstrømmen er bestemt til 10 A, derfor vælges der en automatsikring af typen³ ABB STOTZ S 260 C 10 A.

L3 er bundet på væg sammen med 5 andre, som også er belastede med 10A. Ud fra denne betragtning vælges fremføringsfaktoren⁴ $k_s = 0,72$. Den omgivende lufttemperatur (35 °C) er højere end standardværdien, derfor korrigeres denne med temperaturfaktoren⁵ $k_t = 0,94$. I tabel⁶ 52-D2 vælges punkt 20, som reference til fremføringen. Dernæst ses i tabel⁷ 52-D1, at strømværdien og kvadratet af S_{L3} fastsættes til 17,5 A svarende til 1,5 mm² iht. Stærkstrømsbekendtgørelsen⁸. Kravet til mindste tværsnit⁹ er dermed overholdt. Herefter udregnes:

$$I'_z = I_z \cdot k_t \cdot k_s = 17,5 \cdot 0,94 \cdot 0,72 = 11,8 \text{ A} \quad \text{Ligning 1}$$

Altså er kravet fra betingelse 1 opfyldt

$$I_B \leq I_n \leq I'_z = 10 \leq 10 \leq 11,8 \quad \text{Ligning 2}$$

Angående betingelse to, er denne pr. automatik opfyldt da den valgte automatsikring opfylder EN60898. Til dokumentation ved videre dimensionering fastlægges belastningsgraden til.

$$BG = \frac{I_B}{I'_{zt}} \cdot 100 = \frac{10}{19,5 \cdot 0,94} \cdot 100 = 54,6 \quad \text{Ligning 3}$$

Valg af nødvendige tværsnit til S_{L2} og OB-udstyr for L2

Det vides at S_{L2} maksimalt bliver gennemløbet af $6 \cdot 10 \text{ A}$, dertil kommer at der er opgivet en samtidighedsfaktor på 60 %. Det medfører at kablets maksimale belastningsstrømføring ikke overstiger $I_{Bmax} = 60 \cdot 0,6 = 36 \text{ A}$. Der vælges en smeltesikring på 50 A af typen Siemens Neozed D02¹⁰ (dvs. $I_n = 50 \text{ A}$)

Fremføringen af S_{L2} sker sammen med to andre hovedledninger, hvoraf den ene har en belastningsgrad under 30 og den anden over 30. $BG \leq 30$ betyder, at der kun skal regnes med en hovedledning ved samlet fremføring. L2 ligger i kabelbakke, men da det ikke vides om kabelbakken er perforeret, vælges værst tænkelige tilfælde (enkelt lag i uopereret kabelbakke). Fremføringsfaktoren¹¹ k_s fastsættes til 0,85. Temperaturkorrektionen er magen til den fundne før ($k_t = 0,94$). Ud fra tabel¹² 52-D2 og tabel 52-D1 ses det at dimensionen findes i tabel 52-E3 kolonne C.

³ John E. Hansen. Bilag til PRT1, Projektering af Elektriske Anlæg, bilag 2. Side 4.

⁴ Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6. Tabel 52-G1 side 171. Række 2, kolonne 6.

⁵ Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6. Tabel 52-F1 side 169. Kolonnen til 35 °C for PVC.

⁶ Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6. Tabel 52-D2 side 152.

⁷ Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6. Tabel 52-D1 side 147.

⁸ Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6. Tabel 52-E3 side 159. Kolonne 6.

⁹ Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6. §524.3.

¹⁰ John Hansen. Bilag 2. Side 1.

¹¹ Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6. Tabel 52-G1 side 171. Række 2, kolonne 2.

¹² Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6. side 152. Punkt 30.

Lederen vælges således at lederens strømværdi bliver større end kablets maksimale strømføring, dog skal strømværdien vælges efter samlet reduktion

$$k_{res} = k_t \cdot k_s = 0,85 \cdot 0,94 = 0,799 \quad \text{Ligning 4}$$

Der vælges et 16 mm² kabel, som har strømværdien 76 A eller 60,73 A efter reduktionen. Dermed overholdes betingelse 1, $36 \leq 50 \leq 60,73$. Belastningsgraden udregnes til

$$BG = \frac{I_B}{I_z \cdot k_t} \cdot 100 = \frac{36}{76 \cdot 0,94} \cdot 100 = 50,4 \quad \text{Ligning 5}$$

Valg af nødvendige tværsnit til S_{L1} og OB-udstyr for L1

S_{L1} vil maksimalt belastes med $I_B = (50 + 100 + 36) \cdot 0,6 = 111,6$ A. Der vælges en maksimalafbryder af typen¹³ ABB SACE Modul SN125 med en nominal belastningsstrøm på 125 A. Der findes frem til den værste korrektionsfaktor for fremføringen af S_{L1}. Herefter beregnes I_z med korrigeret og valget af kvadratet tages, så det endelige valg kan tages. De to parallelle, som fremføres sammen med S_{L1} er begge belastet med mere end 30 % og skal derfor medregnes.

Grus og muldjord

Korrektionsfaktoren ved jordtemperatur¹⁴ (15 °C giver $k_t = 1,05$). Korrektionsfaktoren ved termisk modstand i jord¹⁵ ($1,5 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$ giver 1,1). Korrektionsfaktoren ved kabel direkte i jord med 3 strømkredse og en afstand mellem kablerne på en kabel diameter bliver 0,70 iht¹⁶. Den samlede korrektionsfaktor bliver hermed

$$k_{res} = k_t \cdot k_s = 1,05 \cdot (1,1 \cdot 0,70) = 0,8085 \quad \text{Ligning 6}$$

Ud fra tabel 52-D2, 52-D1 og derefter 52-E3 i Stærkstrømsbekendtgørelsen, afsnit 6, findes I_z

$$I_z = 179 \cdot 0,8085 = 144,72 \text{ A} \quad \text{Ligning 7}$$

svarende til Cu 95 mm².

I beton

Korrektionsfaktoren ved de tre kabler der er fremført sammen¹⁷ bliver 0,70. Når der skal vælges temperaturkorrektio, opstår her en lille konflikt. I SB tabel 52-D2 punkt 57, står der kabel direkte i murværk med en termisk modstand på højst $2 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$. I dette tilfælde korrigeres¹⁸ ved $2,5 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$, som er 1. Grunden til at den er 1 er at tabellen korrigerer forskellig fra 2,5. Det ses endvidere at korrektionsfaktoren kan være 5 % unøjagtig, hvilket medfører at den termiske modstand lige så godt kunne have været $2 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$. Ud fra den betragtning kan punkt 57 vælges.

¹³ John E. Hansen. Bilag til PRT1, Projektering af Elektriske Anlæg, bilag 3. Side 2 og 4.

¹⁴ Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6. Tabel 52-F2 side 170.

¹⁵ Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6. Tabel 52-F3 side 170.

¹⁶ Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6. Tabel 52-G2 side 172.

¹⁷ Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6. Tabel 52-G1 side 171 række 1, kolonne 3

¹⁸ Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6. Tabel 52-F3 side 170

Temperaturkorrektionen¹⁹ k_t for betonen på 25 °C vælges (i forhold til luft temperatur) bliver den 1,06. Den samlede korrektionsfaktor bliver hermed

$$k_{res} = k_t \cdot k_s = 1,06 \cdot (1 \cdot 0,70) = 0,742 \quad \text{Ligning 8}$$

Ud fra tabel 52-D2, 52-D1 i SB og derefter 52-E3 i Stærkstrømsbekendtgørelsen, afsnit 6, findes I_z

$$I_z = 184 \cdot 0,742 = 136,5 \text{ A} \quad \text{Ligning 9}$$

svarende til Cu 70 mm².

I kabelstiger

Korrektionsfaktoren ved fremføring af 3 kabler på kabelstiger²⁰ vælges 0,82. Korrektionsfaktoren²¹ k_t for omgivelsestemperaturen på 35 °C er 0,94. Den samlede korrektionsfaktor bliver hermed

$$k_{res} = k_t \cdot k_s = 0,94 \cdot 0,82 = 0,7708 \quad \text{Ligning 10}$$

Ud fra tabel 52-D2 punkt 34, tabel 52-D1 og derefter 52-E9 i Stærkstrømsbekendtgørelsen, afsnit 6, findes I_z

$$I_z = 196 \cdot 0,7708 = 151,077 \text{ A} \quad \text{Ligning 11}$$

svarende til Cu 70 mm².

Der vælges ud fra værste tænkelige tilfælde og derfor fastsættes S_{L1} til 95 mm², ud fra at kablet ligger i jord. Betingelse 1 er dermed opfyldt

$$I_B \leq I_n \leq I_z \Leftrightarrow 111,6 \leq 125 \leq 135 \quad \text{Ligning 12}$$

Belastningsgraden udregnes til

$$BG = \frac{I_B}{I_z \cdot k_t} \cdot 100 = \frac{111,6}{203 \cdot 0,95} \cdot 100 = 57,9 \quad \text{Ligning 13}$$

Kontrol af spændingsfald

Spændingsfaldet her defineres som spændingsfaldet i det kabel som ligger mellem forsyningspunkt og en fast installeret brugsgenstand eller stikkontakt. Stærkstrømsbekendtgørelsen²² siger at spændingsfaldet ikke må overstige 4 % af den nominelle spænding (her er $U_f = 230 \text{ V}$), dog accepteres større spændingsfald i startperioden af motorer, udstyr med høj indkoblingsstrøm og signal- og styrekredse og lignende. Ved beregninger af spændingsfaldet bruges impedansværdier for 20 °C. Til beregninger af spændingsfaldet bruges følgende udtryk

¹⁹ Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6. Tabel 52-F1 side 169

²⁰ Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6. Tabel 52-G1 side 171 række 5 kolonne 3.

²¹ Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6. Tabel 52-F1 side 169

²² Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6. §525.

$$\Delta U \approx I_B \cdot l \cdot (R_l \cdot \cos \varphi + X_l \cdot \sin \varphi) \quad \text{Ligning 14}$$

Hvor R_l er ledningens vekselstrømsmodstand²³ i Ω/km , X_l er ledningens reaktans²⁴ i Ω/km , l er længden i km. og I_b er belastningsstrømmen. Her antages det at $\cos(\varphi)$ går imod 1, for $R_l \gg X_l$. Disse antagelser kan bruges for tværsnit op til 240 mm². Dermed kan ligningen reduceres til

$$\Delta U \approx I_B \cdot l \cdot R_l \quad \text{Ligning 15}$$

Spændingsfaldet i procent kan så findes ved hjælp af

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U_{total} \cdot 100}{U_f} \quad \text{Ligning 16}$$

Hvor ΔU_{total} er det samlede spændingsfald fra forsyningspunktet til udtaget.

Ledere	Længde [m]	I_b [A]	R_l [Ω/km]	X_l [Ω/km]	mm ²	Kabeltype	ΔU [V]
L ₁	40	111,6	0,194	0,077	95	4 x PVIK-Cu	0,87
L ₂	50	36	1,150	0,093	16,0	5 x PVIKJ-Cu	2,1
L ₃	30	10	12,10	0,128	1,5	5 x PVIKJ-Cu	3,6

Tabel 1 giver op spændingsfaldet hhv. til forskellige ledere i procenttal²⁵

Hvis spændingsfaldet beregnes i forhold til forsyningsspændingen så fås

$$\Delta U_{\%} = \frac{(0,87 + 2,1 + 3,6) \cdot 100}{230} = 2,86 \% \quad \text{Ligning 17}$$

Ud fra ligningen kan det ses at kravet til spændingsfaldet på maksimalt 4 % er opfyldt ved valg af lederens tværsnit.

Kortslutningsbeskyttelse

Kortslutningsbeskyttelse er som nævnt i afsnittet om overbelastningsbeskyttelse, den anden del af overstrømsbeskyttelsen. Kortslutningsstrømme kan medføre termiske og mekaniske påvirkninger, af installationer og diverse udstyr. Derfor skal enhver installation være beskyttet af udstyr, som afbryder en tilstedeværende kortslutningsstrøm i lederne. Den mekaniske påvirkning under kortslutning har noget at sige ved forsyningskinner i tavler samt kanalskinnesystemer. Her er det nødvendigt at kontrollere om materiellet kan klare stødstrømmen I_S , som er et udtryk for den mekaniske påvirkning.

$$I_S = \sqrt{2} \cdot \kappa \cdot I_{K \max} \quad \text{Ligning 18}$$

²³ NKT Teknisk katalog tabel 13

²⁴ NKT Teknisk katalog tabel 16

²⁵ Beregninger til enkelte ledere findes i Bilag B – Beregninger af spændingsfald

Hvis ikke det er tilfældet skal skinnerne ændres til skinner af den rigtige dimension, eller også skal disse beskyttes af strømbegrænsende udstyr, der slår fra når materialets største øjebliksværdi er nået. Ved isolerede kabler samt andet materiel, vil det under normale omstændigheder ikke være nødvendigt at kontrollere den mekaniske påvirkning ved kortslutning.

Ved den termiske påvirkning bliver der afsat en energimængde, som kan udtrykkes ved

$$W = R \cdot I^2 \cdot t \quad \text{Ligning 19}$$

hvor R er komponentens resistans, I er effektivværdien af kortslutningsstrømmen og t er tiden hvor kortslutningen er til stede. Denne energi kan simplificeres ved at omregne den til den specifikke energi $I^2 \cdot t$, som er energi pr. ohm [J/Ω].

Grunden til at der her stiftes bekendtskab med disse to udtryk er, at der skal være kendskab til komponentens tilladelige specifikke energi og kortslutningsstrømmens størrelse og varighed for, at kunne sikre en kortslutningssikker installation. Ligeledes er det nødvendigt at have kendskab til den største og mindste prospektive kortslutningsstrøm. Ved større installationer kan det være nødvendigt at kende disse strømme, både i installationens forsynings og endepunkt. Ud fra det kan installationen dimensioneres. Dvs. KB udstyret skal have den nødvendige brydeevne, plus at det ikke må tillade en specifik energi at løbe, hvis denne er større end den, som materialet kan klare. Udstyret skal også afbryde inden for en bestemt tid, således at der ikke opstår termiske skader på installationens kabler. Det antages at I_{K3} , som er den trefasede kortslutningsstrøm, er den største prospektive kortslutningsstrøm. I_{K3} udtrykkes som,

$$I_{K3} = c_{\max} \cdot \frac{U_N}{(\sqrt{3} \cdot Z_m)} \quad \text{Ligning 20}$$

Hvor c_{\max} er 1,0 og U_N er 400 V. Resistansen i Z_m beregnes ved 20 °C og ændres herefter til $I_{K\max}$. $I_{K\max}$ kan nu skrives som

$$I_{K\max} = 1,0 \cdot \frac{U_N}{(\sqrt{3} \cdot Z_{K3})} \quad \text{Ligning 21}$$

$I_{K\max}$ bruges bl.a. til kontrol af kortslutningsstrømmens termiske påvirkning ved anvendelse af maksimalafbrydere og automatsikringer som KB udstyr. Det antages at I_{K1} , som er den enfasede kortslutningsstrøm, er den mindste prospektive kortslutningsstrøm. I_{K1} udtrykkes som

$$I_{K\min} = c_{\min} \cdot \frac{U_N}{(\sqrt{3} \cdot Z_m + Z_g + Z_o)} \quad \text{Ligning 22}$$

Hvor c_{\min} er 0,95 og U_N er 400V. $I_{K\min}$ bruges til kontrol af kortslutningsstrømmens termiske påvirkning ved brug af smeltesikringer som KB udstyr. Ligeledes bruges den til at tjekke kortslutningsudløserne på KB udstyret. Ved anvendelse af smeltesikringer som KB udstyr tages der udgangspunkt i dette udtryk

$$t = \left(\frac{k \cdot S}{I} \right)^2 \quad \text{Ligning 23}$$

Udtrykket dækker over den maksimale tid, som en given leder må udsættes for en kortslutning. Dvs. hvis denne tid overskrides skader man kablet ved, at dets maksimaltemperatur overskrides. Det nævnte udtryk kan omskrives til den specifikke energi

$$I^2 \cdot t = k^2 \cdot S^2 \quad \text{Ligning 24}$$

For at kortslutningsbeskyttelsen er tilstrækkelig, skal følgende gælde for sikringens brydetid t_B eller for sikringens specifikke brydeenergi $I^2 \cdot t_B$ skal $t_B \leq t$ og $I^2 \cdot t_B \leq I^2 \cdot t = k^2 \cdot S^2$. Smeltetiden t_S og lysbuetiden t_L er de faktorer som brydetiden består af. Dvs. $t_B = t_S + t_L$ og $I^2 \cdot t_B = I^2 \cdot t_S + I^2 \cdot t_L$. Disse 2 størrelser findes i fabrikantens datablad.

Ved automatsikringer som KB udstyr skal der ligesom ved smeltesikringerne tages udgangspunkt i det viste udtryk, ligning 23 og ligning 24. For at denne beskyttelse er tilstrækkelig skal det gælde at automatsikringens specifikke gennemløbsenergi $I^2 \cdot t_G \leq I^2 \cdot t = k^2 \cdot S^2$. Denne energi findes i sikringsfabrikantens datablad.

Maksimalafbrydere som KB udstyr skal have en nominal kortslutningsudløserstrøm I_N der er større eller lig med belastningsstrømmen I_B . Kombinationen af maksimalafbryder og kortslutningsudløser skal kunne overholde at maksimalafbryderen kan bryde den største prospektive kortslutningsstrøm I_{Kmax} . Ligeledes skal kortslutningsudløseren kunne aktiveres ved den mindste prospektive kortslutningsstrøm I_{Kmin} . Som der også er nævnt ved smeltesikringer og automatsikringer skal følgende udtryk overholdes ligning 23 og ligning 24. For at dette KB udstyr er tilstrækkeligt skal der også her gælde at

$$t_B \leq t = \left(\frac{k \cdot S}{I} \right)^2 \quad \text{Ligning 25}$$

og $I^2 \cdot t_G \leq I^2 \cdot t = k^2 \cdot S^2$. Her findes sikringselementets brydetid og specifikke gennemløbsenergi ligeledes i fabrikantens datablad.

Placeringen af OB og KB udstyr er en vigtig faktor for at opnå den rigtige beskyttelse. SB afsnit 473, § 473.1.1 beskriver placeringen af overbelastningsbeskyttelse og § 473.2.1 beskriver placeringen af kortslutningsbeskyttelse.

OB udstyret skal placeres et sted hvor en ændring medfører reduktion af installationens strømværdi I_Z . Dette kan være ved ændring af ledertværsnit, ledermateriale, lederisolation, varmeafledningsforhold eller samlet fremføring. Udstyret kan anbringes et vilkårligt sted på det kabel der skal beskyttes, så længe at der ikke er afgreninger til anden installation mellem beskyttelsesudstyret og kablets forsyningspunkt. OB udstyr er ligeledes anvendeligt til ”bag ud beskyttelse” af et kabel.

KB udstyret skal placeres efter det sted hvor der kan forekomme ændringer i installationen og dermed dens kortslutningsmæssige egenskaber, som f.eks. ændring i ledertværsnit, ledermateriale eller lederisolation.

Udføres der henholdsvis overbelastningsbeskyttelse og kortslutningsbeskyttelse af en installation vha. separat beskyttelsesudstyr, skal KB udstyret også kortslutningsbeskytte OB udstyret. Dette medfører at OB udstyret skal fungere som det gjorde før kortslutningen. Der må ikke forekomme klæbning eller svejsning af OB udstyrets kontaktplader. Dette gælder dog ikke smeltesikringer.

Den maksimale kortslutningsstrøm

Den maksimale kortslutningsstrøm I_{kmax} (trefaset kortslutning) beregnes i punkterne transformertavlen (TRT), hovedtavlen (HT) og undertavlen (UT). De forud givende oplysninger er:

- Transformeren er en Dyn-koblet 10/0,4 400kVA.
- Kablerne er uden koncentrisk nulleleder.

Først findes de karakteristiske impedanser for L1, L2 og L3, den ohmske værdi aflæses i tabel 13 NKT's tekniske katalog og reaktansen aflæses i tabel 16 i samme katalog.

- **L1** : 95 mm² PVC-Cu aflæses til $z_{L1} = 0,194 + j0,077 \Omega/\text{km}$
- **L2** : 16 mm² PVC-Cu aflæses til $z_{L2} = 1,15 + j0,093 \Omega/\text{km}$
- **L3** : 1,5 mm² PVC-Cu aflæses til $z_{L3} = 12,10 + j0,155 \Omega/\text{km}$

Det betyder at impedansen for hvert kabel bliver

$$Z_m = z_L \cdot l \quad \text{Ligning 26}$$

Hvor l er længden af kablet, værdierne ses i tabel 2. Z_m for transformerens findes ud fra formel²⁶

$$Z_{ot} = R_{kt} + j0,95 \cdot X_{kt} \quad \text{Ligning 27}$$

R_{kt} og X_{kt} tages fra tabel 12.3 side 107 i Noter til PRT1, da det vides at transformerens nominelle effekt S_{Nt} er 400 kVA. De findes til $R_{kt} = 3,6$ og $X_{kt} = 15$. Kortslutningsimpedanserne i punkterne findes ved at sammenlægge impedanserne frem til det givne punkt. I_{kmax} udregnes via formel²⁷

$$I_{kmax} = \frac{c_{max} \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot Z_m} \quad \text{Ligning 28}$$

Hvor $c_{max} = 1,0$ og $U_N = 400\text{V}$. Resultaterne heraf ses i tabel 2.

	Længde [m]	Linear impedans $z_L [\Omega/\text{km}]$	Impedans $Z_m [\text{m}\Omega]$	Impedans frem til punktet, $\Sigma Z_m [\text{m}\Omega]$	Punkt	I_{kmax} i punktet [kA]	I_{kmax} for Ledning
400 kVA			$3,6 + j14,25$	$3,6 + j14,25$	TRT	15,71	L1
L1	40	$0,194 + j0,077$	$7,76 + j3,08$	$11,36 + j17,33$	HT	11,15	L2
L2	50	$1,150 + j0,093$	$57,5 + j4,65$	$68,86 + j21,98$	UT	3,19	L3
L3	30	$12,10 + j0,128$	$363 + j3,84$				

Tabel 2 Fastlæggelse af I_{kmax} (den trefaset kortslutningsstrøm) for punkterne TRT, HT og UT

²⁶ John E. Hansen. Projektering af Elektriske Anlæg. Tabel 12.3 side 107

²⁷ John E. Hansen. Projektering af Elektriske Anlæg. Formel 12.35 side 124

Den mindste kortslutningsstrøm

Den mindste kortslutningsstrøm bestemmes med ligningen²⁸

$$I_{k\min} = \frac{c_{\min} \cdot \sqrt{3} \cdot U_N}{(Z_m + Z_g + Z_0)} \quad \text{Ligning 29}$$

Hvor c_{\min} sættes til 0,95 og U_N til 400 V. Z_m er impedansen som findes ved $R_m + jX_m$. Z_0 antages til at være fire gange Z_m og $Z_{km} = Z_g = 1,45 R_m + jX_m$. Dermed kan ligningen ændres til følgende

$$I_{k\min} = \frac{c_{\min} \cdot \sqrt{3} \cdot U_N}{R_m \cdot (2 \cdot Z_s + Z_0)} \quad \text{Ligning 30}$$

Hvor Z_s er den samlede impedans som regnes frem til punktet. R_m er faktor for temperaturpåvirkning²⁹. Den bestemmes for PVC-Cu kabel som 1,44, den skal ganges med impedansen ved 20 °C og tager hensyn til lederopvarmningen ved kortslutning. Resultaterne af den minimale kortslutningsstrøm per fase, vises i tabel 3.

	³⁰ Impedans Z_m [mΩ]	³¹ Z_{kM} [mΩ]	³² “Impedans” ved $I_{k\min}$ [mΩ]	Samlet “Impedans” frem til punktet [mΩ]	Punkt	$I_{k\min}$ i punktet [kA]	$I_{k\min}$ for Ledning
400 kVA	3,6 + j 14,25	3,6 + j 14,25	10,8 + j 42,75				
L1	7,76 + j 3,08	11,252 + j 3,08	67,512 + j 18,48	78,312 + j 61,23	HT	1,979	L1
L2	57,5 + j 4,65	83,375 + j 4,65	500,25 + j 27,9	578,562 + j 89,13	UT	0,326	L2
L3	363 + j 3,84	525,35 + j 3,84	3152,1 + j 23,04	3730,66 + j 112,17	“Udtag”	0,0513	L3

Tabel 3 Fastlæggelse af $I_{k\min}$ for punkterne HT, UT og Udtaget.³³

Kortslutningsbeskyttelse af L3

Det skal nu kontrolleres om det tidligere valgte overbelastningsudstyr også kan bruges til kortslutningsbeskyttelse. For at konstatere om brydeevnen er tilstrækkelig kontrolleres det om I_{cn} er større end $I_{k\max}$ i punktet UT 6 kA \geq 3,19 kA, som passer. Et andet kriterium for om KB er i orden, er om aktiveringsstrømmen I_5 er mindre end $I_{k\min}$ ved maskinenheden. $I_5 = 10 \cdot I_n = 10 \cdot 10 = 100$ A. Det betyder at 100 A \leq 51,3, som ikke passer. Det betyder at beskyttelsesudstyret vælges om. Hvis der i stedet for vælges en automatsikring af typen³⁴ ABB STOTZ S 260 D, bliver $I_5 = 5 \cdot I_n = 5 \cdot 10 = 50$ A og dermed overholdes kravet til kortslutningsbeskyttelse. Det skal nævnes at den nyvalgte automatsikring både overholder det tidligere stillede krav, plus overbelastningsbeskyttelsen. På baggrund af disse konstateringer arbejdes der videre med S 260 D automatsikringen. En tredje og sidste ting, som kontrolleres er om gennemløbsenergien $I^2 \cdot t_g$ er mindre end $k^2 \cdot S^2$ ved $I_{k\max}$ i punkt UT. Ud fra kurven i databladet³⁵ aflæses $I^2 \cdot t_g$ til 10750. k-faktoren kan findes i Stærkstrømsbekendtgørelsen³⁶, der bruges PVC kabel under 300 mm², derfor bliver k = 115. Altså skal

²⁸ John E. Hansen. Projektering af Elektriske Anlæg. Side 125

²⁹ John E. Hansen. Projektering af Elektriske Anlæg. Side 123

³⁰ Tages direkte fra Tabel 2

³¹ For L1, L2 og L3 er $Z_{kM} = 1,45 + jX_m$

³² For L1, L2 og L3 anvendes $6Z_m$. For transformerne anvendes $3Z_m$.

³³ Beregningsseksempel vises i Bilag C – Den mindste

³⁴ John E. Hansen. Bilag til PRT1, Projektering af Elektriske Anlæg, bilag 2. Side 4.

³⁵ John E. Hansen. Bilag til PRT1, Projektering af Elektriske Anlæg, bilag 1. Side 5.

³⁶ Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6. Tabel 43-B side73

$$I^2 \cdot t_g \leq k^2 \cdot S^2 \Rightarrow 10750 \leq 1152 \cdot 1,52 \Leftrightarrow 10750 \leq 26756,3 \quad \text{Ligning 31}$$

som passer. Hermed konstateres det, at både OB og KB er i orden for kablet L3.

Kortslutningsbeskyttelse af L2

Til kontrol af om den valgte 50 A NEOZED smeltesikring også kortslutningsbeskytter kablet, skal følgende opstillede krav opfyldes. Brydeevnen skal være større end I_{Kmax} i punktet HT. Det oplyses af vejleder at brydeevnen for en smeltesikring er 20 kA og da den maksimale kortslutningsstrøm når op på 11,15 kA er den nødvendige brydeevne overholdt. Gennemløbsenergien $I^2 \cdot t_B$ skal være mindre end $k^2 \cdot S^2$ ved I_{Kmin} i punkt UT. I_{Kmin} oplyses³⁷ til 326 A og ud fra denne aflæses smeltetiden³⁸ til 1,6 sekund. Det betyder dermed at kravet til at brydetiden skal være mindre end 5 sekunder er overholdt. Tilbage er nu kun kravet om gennemløbsenergien, som kablet skal kunne holde til.

$$I^2 \cdot t_B \leq k^2 \cdot S^2 \Rightarrow 326^2 \cdot 1,6 \leq 115^2 \cdot 16^2 \Leftrightarrow 170042 \leq 3385600 \quad \text{Ligning 32}$$

Som passer. Ud fra ovenstående beviser konkluderes at kortslutningsbeskyttelsen er i orden.

Kortslutningsbeskyttelse af L1

Den valgte maksimalafbryderen til overbelastningsbeskyttelse kontrolleres her om den også kan bruges til kortslutningsbeskyttelse. For at maksimal afbryderen kan bruges er den nød til at overholde de kommende krav. I_{cs} aflæses direkte i datablad. Ligesom i kontrollen af om smeltesikringens og automatsikringens brydeevne er større end I_{Kmax} , skal der også her, kontrolleres for dette. I_{cs} aflæses i datablad³⁹ til 200 kA og I_{Kmax} oplyses⁴⁰ til at være 15,71 kA i punktet TRT, altså er kravet overholdt. Et andet krav der stilles til maksimalafbryderen, er at aktiveringsstrømmen $I_m + 20\%$ skal være mindre end I_{Kmin} i punkt HT⁴¹. I_m findes i datablad⁴².

$$I_m + 20\% \leq 1,979 \text{ kA} \Rightarrow 1500 \leq 1979 \quad \text{Ligning 33}$$

Som passer fint. Gennemløbsenergien $I^2 \cdot t_g$ skal være mindre end $k^2 \cdot S^2$ ved I_{Kmax} i punkt TRT. Tidligere nævnt er k opgivet til 115 og ved valget af maksimalafbryderen, blev kvadratet oplyst til 95 mm². Databladet til maksimalafbryderen LN160⁴³ aflæses $I^2 \cdot t_g$ til knap 0,4 million. Kravet stilles op herunder

$$I^2 \cdot t_g \leq k^2 \cdot S^2 \Rightarrow 397000 \leq 119,355 \cdot 10^6 \quad \text{Ligning 34}$$

Som passer fint. Maksimalafbryderen godkendes hermed til kortslutningsbeskyttelse i det givne tilfælde.

³⁷ Tabel 3.

³⁸ John E. Hansen. Bilag til PRT1, Projektering af Elektriske Anlæg, bilag 1. Side 1.

³⁹ John E. Hansen. Bilag til PRT1, Projektering af Elektriske Anlæg, bilag 3. Side 12.

⁴⁰ Tabel 2.

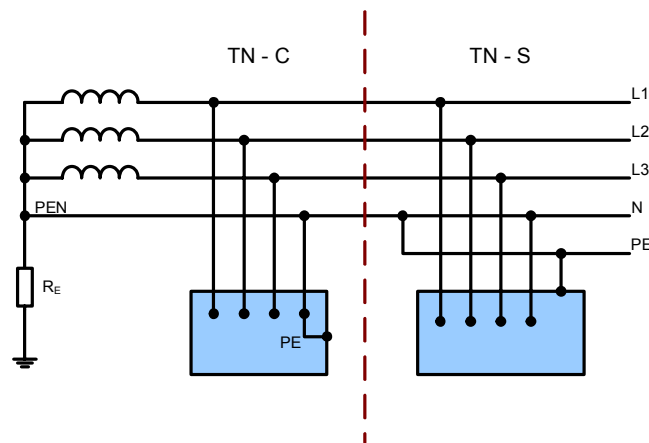
⁴¹ Tabel 3.

⁴² John E. Hansen. Bilag til PRT1, Projektering af Elektriske Anlæg, bilag 3. Side 124

⁴³ John E. Hansen. Bilag til PRT1, Projektering af Elektriske Anlæg, kurve i bilag 3. Side 18.

Beskyttelse mod indirekte berøring

Beskyttelse mod indirekte berøring (BIB), går ud på at beskytte personer og husdyr mod elektrisk stød ved berøring af udsatte dele i tilfælde af fejl. Beskyttelsen kan laves ved at sikre at der ikke løber en fejlstrøm gennem personen eller ved at begrænse den. Ifølge afsnit 413 i SB skal der forefindes beskyttelsesudstyr som automatisk afbryder forsyningen (AAF) til det udstyr der skal beskyttes mod indirekte berøring. Afbrydelsen skal her ske inden 0,4 sekunder, dog op til 5 sekunder afhængig af om det er en hovedstrømkreds eller en gruppekreds. Dette kræver som nævnt en fejlstrøm. Fejlen skal enten opstå mellem en spændingsførende del og en udsat del eller en beskyttelsesleder i installationen. Beskyttelsesudstyret der kan anvendes til automatisk afbrydelse af forsyningen er fejlstrømsafbrydere, fejlspændingsafbrydere, smeltesikringer, automatsikringer og maksimalafbrydere.



Figur 3 viser skitse af TN-C-S system princippet. TN-C-S system er kombination af TN-C system og TN-S system.

Beskyttelsens virkning afhænger meget af systemjordingen. Der er ligeledes krav om beskyttelsesledere. Alle udsatte dele som kan berøres samtidigt skal være forbundet til det samme jordingssystem. Hvis der bliver anvendt fejlstrømsafbryder i det anvendte jordingssystem må der ikke anvendes PEN leder på belastningssiden af afbryderen. Dvs. at tilslutningen af beskyttelseslederen til PEN lederen skal foretages på forsyningssiden af afbryderen.

I alle bygninger skal hovedbeskyttelseslederen, hovedjordlederen og hovedjordklemmen tilsluttes til hovedudligningsforbindelsen. Ligeledes skal alle metalliske rørledninger, metalliske konstruktionsdele samt armeringsjern tilsluttes hovedudligningsforbindelsen. Supplerende udligningsforbindelser skal have forbindelse til alle ledende dele og til de anvendte beskyttelsesledere i bygningen. Når det skal kontrolleres om de supplerende udligningsforbindelserne er acceptable skal modstanden mellem de udsatte dele og de fremmede ledende dele kunne opfylde følgende krav

$$R \leq \frac{50V}{I_a} \quad \text{Ligning 35}$$

hvor I_a er beskyttelsesudstyrets udløsestrøm. Beskyttelseslederens mindste tværsnit er bestemt af følgende udtryk

$$S = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{k} \quad \text{Ligning 36}$$

hvor I er den strøm der løber gennem beskyttelsesudstyret ved fejl og t er udstyrets udkoblingstid. k er en faktor der afhænger af beskyttelseslederens materiale, isolationen samt start og sluttemperatur. k kan findes i tabel 54 B til 54 E i Stærkstrømsbekendtgørelsen, afsnit 6. Beskyttelseslederens mindste tværsnit skal ifølge tabel 54 i Stærkstrømsbekendtgørelsen, afsnit 6, hvis den er fremført sammen med faseledere være minimum $0,5 \text{ mm}^2$. Hvis beskyttelseslederen er fremført alene, skal den være minimum $2,5 \text{ mm}^2$.

Kontrol til OB og KB af L2 (hovedstrømskreds) yder BIB ved AAF

Det anvendte forsyningssystem er et TN-C-S system. Dvs. at nulleder og beskyttelsesleder er kombineret (PEN-leder) frem til hovedtavlen HT. Efter HT adskilles nul og beskyttelseslederen. Efter adskillelse af PEN lederen betragtes nullederen (N), som en spændingsførende leder og må ikke forbindes til PE lederen senere i installationen. Fra hovedtavlen forsyner L2 undertavlen UT. Alle ledere i kablet L2 har samme dimension. For at kontrollere at den anvendte 50A D02 sikring til OB og KB af L2 kan anvendes til BIB ved AAF, skal udstyret sikre AAF inden for 5 sekunder da dette er en hovedstrømskreds. En fejlstrøm til jord vil her svare til en enfaset kortslutning, som medfører at der kan tages udgangspunkt i I_{Kmin} . Ud fra I_{Kmin} tjekkes det så om den anvendte sikring afbryder inden for 5 sekunder. Da I_{Kmin} ved UT er 326A kan det aflæses på Siemens datablad⁴⁴ over NEOZED-sikringer (DO1, DO2, DO3), at en 50A sikring bryder ved lidt under 2 sekunder. Dermed er BIB ved AAF opfyldt og derfor behøves der ikke fejlstrømsrelæ på dette punkt i installationen.

Udsatte dele skal beskyttes ifølge de bestemmelser der er fastsat for det anvendte jordingsystem, som i dette tilfælde er valgt til et TN-C-S system. TN-C-S systemer bør ellers undgås da det kan medføre, at der forekommer driftsstrømme i nullederen og dermed i den kombinerede nulleder og beskyttelsesleder. Det kan eksempelvis medføre, at der under normal drift kan forekomme vagabonderende strømme i dele, der er tilsluttet beskyttelseslederen. Det kan også medføre at der opstår spændingsforskelle mellem beskyttelseslederne, som dog er ufarlige for personer og husdyr. Dette kan bevirke at der opstår støj på elektronisk udstyr og i værste fald kan det brænde af. Der kræves tilladelse fra elforsyningen, at udføre installationen som et TN-system.

Kontrol til OB og KB af L3 (gruppekreds) yder BIB ved AAF

Der skal som ved L2 også kontrolleres at beskyttelsen af L3 yder BIB ved AAF. Alle ledere har også her samme dimensioner. Der kontrolleres om den valgte automatsikring af typen ABB stotz s 260C 10A, som i forvejen beskytter mod KB og OB også vil yde BIB ved AAF. L3 er en såkaldt gruppeledning og tilhører derfor kategorien, gruppekreds som kræver at automatsikringen afbryder under 0,4 sekunder ved en fejlstrøm. Det kan nu aflæses i tabellen for automatsikringens udløsekarakteristik på side 4 i bilag 2, at denne ikke udløser hurtigt nok (under 0,4 sekunder) til at yde AAF. Det er derfor nødvendigt med et fejlstrømsrelæ. Hvilken type fejlstrømsrelæ er dog uvist da det ikke vides hvilket behov, der er nødvendigt i den anden ende af gruppeledningen.

Selektivitet

Selektivitet er nødvendigt i seriekoblet overbelastningsbeskyttelsesudstyr (afbrydere og sikringer), som medfører gradvis udkobling af systemet. Selektivitet består i at de enkelte afbrydere og sikringer i systemet kobles ud, fra mindste mærkestrøm og op efter. Dette minimerer at overstrømme i systemet opstår. Dvs. det er nødvendigt at tage hensyn til alle afbrydere og sikringer, som er i serie fra forsyningen til det udstyr som skal beskyttes.

Undersøgelsen af om systemet har selektivitet eller ej foregår ved sammenligning af karakteristikker, eller ved at lave test af udstyret. Den sidste metode er dyr, så normalt vælges den

⁴⁴ John E. Hansen. Bilag til PRT1, Projektering af Elektriske Anlæg, bilag 2. Side 4.

første. Ved sammenligning af karakteristikker kan det gøres på to måder, det er muligt at kigge på strøm – tids kurver eller med $I^2 \cdot t$ kurver. Her skal det nævnes, at hvis alt udstyr er valgt fra samme fabrikant så er der i de fleste tilfælde selektivitet mellem afbryderne. Det er nogle gange svært at finde alt udstyr fra samme fabrikant, for eksempel laver ABB ikke smeltesikringer længere, dermed bliver det nødvendigt med undersøgelse af selektivitet.

Her er det bestemt at sammenligne karakteristikkerne af det valgte udstyr. Den simpleste metode til dette er, at optegne en kurve med strøm – tids karakteristikkerne fra de enkelte beskyttelseskomponenter og tjekke om kurverne skærer hinanden. Hvis de skærer hinanden så er der ikke selektivitet mellem udstyret. En tommelfingerregel er at vælge udstyret så dette er to strømniveauer højere end det foran siddende udstyr. Det viser sig at det meste udstyr (dog ikke smeltesikringer) afbryder før, hvis de er ”driftsvarme”, dvs. udstyret har været i drift et styk tid, før overstrømmen indtræffer.

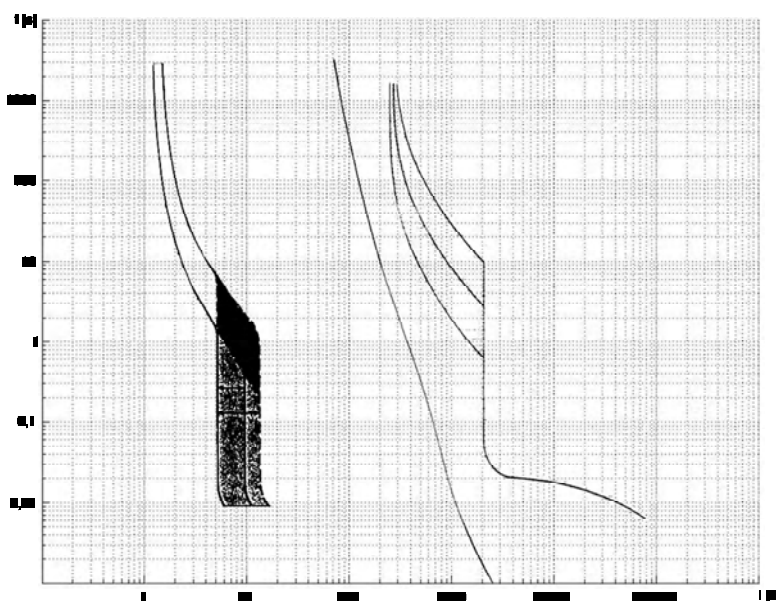
Det første udkoblingsudstyr som skal tjekkes for selektivitet i installationen er maksimalafbryderen og smeltesikringen. Tommelfingerregelen for disse, er at afbryderen indstilles lavere end I_{kmin} , men højere end smeltesikringens mærkeværdi. Til simplificering kan dette beskrives som

$$I_{sikring} \leq I \leq I_{afbryder} \quad \text{Ligning 37}$$

Næst i linien er så smeltesikringen og automatsikringen. For at der bliver selektivitet mellem smeltesikringen og automatsikringen, skal smelteenergien for sikringen være højere end bryderenergien for automatsikringen. Der skal altid regnes med en ”sikkerhedsmargin” på 20 % af disse to energier. Til at finde ud af om der er selektivitet mellem beskyttelsesudstyret bruges følgende udtryk

$$I^2 \cdot t_{automat} \leq I^2 \cdot t_{sikring} \cdot 0,8 \quad \text{Ligning 38}$$

Her er kun valgt at kigge på selektivitet på lavspændingssiden af 10/0,4 kV transformeren. Derfor er relæbeskyttelsen SPAJ 14 C ikke taget med i selektivitetskurven.



Figur 4 viser selektivitetskurve for valgte udstyr. Her kan det ses at selektivitet upholdes. Kurven til venstre er til 10 A automatsikring, den i midten er til 50 A smeltesikring og den til højre er til 160 A maksimalafbryder.

Konklusion

Ved nærmere undersøgelse kan det ses, at flere af grundlagene bag opgaven ikke er ajourført med tiden. Nærmere beskrevet, så er det i dag ikke muligt at fremskaffe de valgte kabel størrelser af PVC kabel, plus at reaktansen for 95 mm^2 ikke findes i NKT's data katalog. Det vides også at ABB ikke længere laver smeltesikringer.'

Det har ikke været muligt at fastsætte hvilket fejlstrømsrelæ der skal anvendes på L3 da belastningstypen ikke kendes.

Ses der bort fra disse betragtninger, har projektet været utroligt lærerigt. Der er blevet opbygget en god forståelse af baggrunden for valg af OB og KB udstyr, samt valg af kabler.

Litteraturliste.

Günter G. Seip

Electrical Installations Handbook. John Wiley & Sons 3. 2000.
ISBN 3-8957-061-8

John E. Hansen

Noter til PRT1, Projektering af Elektriske Anlæg. Lavspændingsinstallationer. Januar 2000

John E. Hansen

Bilag til PRT1, Projektering af Elektriske Anlæg. Bilag 1, 2, og 3. Januar 2000

NKT Cables

Produktkatalog, Kabler og ledninger 2004

NKT Cables

Teknisk katalog 2002

Poul Erik Petersen

Elektroteknik 8: El-Installationsmateriel. Bogfondens Forlag A/S 4. udg. København 2001.
ISBN 87-7463-269-8

Stærkstrømsbekendtgørelsen.

Afsnit 6 Elektriske installations. 1. udgave Juni 2001.
ISBN 87-90360-30-3

Disposition

- Om valg af tværsnit
- Overbelastningsbeskyttelse (OB)
 - Smeltesikringer
 - Automatsikringer
 - Maksimalafbryder
- Kortslutningsbeskyttelse (KB).
 - Smeltesikringer
 - Automatsikringer
 - Maksimalafbryder
- Beskyttelse mod indirekte berøring (BIB)
 - Definition
 - Potentialudligning
 - AAF
- Selektivitet
 - Definition
 - Sikringer

Bilag A – Om valg af kabler til L1, L2 og L3

I installationsgrundlaget til projektet nævnes det, at der alene anvendes PVC/Cu, 4- eller 5-leder kabler. I forsøg på at finde værdier til spændingsfaldberegningerne bruges det tekniske katalog fra NKT. I tabel 13 kan vekselstrømsmodstanden findes og i tabel 16 kan synkronreaktansen findes, begge to i enheden per kilometer. Dog skal det nævnes at NKT sætter grænser til brug af tabel 16. Det er kun muligt at tage værdier fra 1,5 - 16 mm² for PVIK kabletyperne (dvs. PVC kabler fra NKT). I John Hansens Noter til PRT side 111 er tabel 12.7, denne tabel giver ikke nogen begrænsninger for brug af denne. Så data bruges kun fra NKT's tekniske katalog, for de tre kabler, L1, L2 og L3.

Det skal også nævnes at PVC-Cu kabler i NKT produktion katalog kun findes op til 2,5 mm². Men her bruges data fra NKT tekniske katalog til at bestemme nødvendige værdier til beregninger. På grund af at NKT ikke er den eneste fabrikant af kabler og der kan godt findes nogen fabrikanter som producerer PVC-Cu kabler i størrelser over 2,5 mm², det kan også være at dette katalog ikke er NKT's eneste katalog.

Bilag B – Beregninger af spændingsfald

Her vises beregningerne til spændingsfald over hver leder for sig. Teknisk katalog fra NKT er brugt til at finde linerresistansen R_l , tabel 13, og liniereaktansen X_l , tabel 16. Dog bruges reaktansen ikke i beregninger til spændingsfaldene.

Spændingsfald i L1

L₁ er 40 meter og er PVIK kabel med ledertværsnit på 95 mm². R_l for 95 mm² kobber findes til 0,194 Ω/km (fundet ved 50 Hz), strømmen vælges til den forventede belastningsstrøm, som her er 111,6 A.

$$\Delta U \approx 111,6 \cdot 40 \cdot \frac{0,194}{1000} = 0,87 \text{ V}$$

Spændingsfald i L2

L₂ er 50 meter og er et 5 leder PVIKJ kabel med ledertværsnit på 16 mm². R_l for 16 mm² kobber findes til 1,150 Ω/km (fundet ved 50 Hz), strømmen vælges til den forventede belastningsstrøm, som her er 36 A.

$$\Delta U \approx 36 \cdot 50 \cdot \frac{1,150}{1000} = 2,1 \text{ V}$$

Spændingsfald i L3

L₃ er 30 meter og er et 5 leder PVIKJ kabel med ledertværsnit på 1,5 mm². R_l for 1,5 mm² kobber findes til 12,10 Ω/km (fundet ved 50 Hz), strømmen vælges til den forventede belastningsstrøm, som her er 10 A.

$$\Delta U \approx 10 \cdot 30 \cdot \frac{12,10}{1000} = 3,63 \text{ V}$$

Bilag C – Den mindste kortslutningsstrøm

Her vises eksempel af beregninger til bestemmelse af den minimale kortslutningsstrøm. Der er valgt at vise beregninger til punktet udtag, hvor der forventes at komme den højeste impedans og dermed den laveste kortslutningsstrøm. Ligningen som bruges til beregningerne er

$$I_{k\min} = \frac{c_{\min} \cdot \sqrt{3} \cdot U_N}{Rm \cdot (2 \cdot Z_s + Z_0)}$$

Her vælges c_{\min} til 0,95, U_N til 400 V, Rm til 1,44. Z_s tages fra tabel 3 i kolonnen med samlet impedans frem til punktet og aflæses til $3730,66 + j112,17 \text{ m}\Omega$ og Z_0 vælges til fire gange Z_m og dermed Z_0 $1452 + j14,36$. Amplitudenværdien af kortslutningsstrømmen bestemmes ved absolut værdien af impedanserne. $I_{k\min}$ bestemmes

$$I_{k\min} = \frac{0,95 \cdot \sqrt{3} \cdot 400}{1,44 \cdot (2 \cdot |3730,66 + j112,17| \cdot 10^{-3} + |1452 + j14,36| \cdot 10^{-3})}$$
$$I_{k\min} = \frac{0,95 \cdot \sqrt{3} \cdot 400}{1,44 \cdot (7,465 + 1,452) \cdot 10^{-3}}$$
$$I_{k\min} = 0,0513 \text{ kA}$$

Bilag D – Flowdiagram til valg af overbelastningsbeskyttelse

