



KABLER

Teknisk kabelkompendium

Forord

Dette kompendium henvender sig til alle, der beskæftiger sig med dimensionering, indkøb og installation af lavspændingskabler, og indeholder svar på en række af de spørgsmål, vi som el-grossist bliver konfronteret med i dagligdagen i vores samhandel med el-installatører, industrikunder, OEM-kunder og tavlebyggere.

Det er således målet at forsøge at forklare samt afmystificere en del af de normer og begreber, der ofte henvises til i diverse udbudsmaterialer og på datablade med kabelspecifikationer. Samtidig skal kompendiet kunne bruges som et opslagsværk til informationssøgning af bl.a. strømværdier, farvekodning og visse dele af stærkstrømsbekendtgørelsens afsnit 6.

Udover uddrag af tabeller fra diverse internationale normer og stærkstrømsbekendtgørelsen indeholder kompendiet nogle generelle betragtninger omkring de faktorer, der har direkte indflydelse på kablets elektriske data, som f.eks. strømværdi, induktans, kapacitet og kortslutningsstrøm.

Ved hjælp af relativ simpel kredsløbsteori, elektrofysik og kendskab til grundlæggende modeller for termiske systemer forklares det bl.a., hvordan isolationsmaterialet har indflydelse på kablets strømværdi, samt at en meget stor del af ovennævnte data udelukkende er geometrisk og materialebestemt og derfor ikke afhængig af kabelproducenten, men snarere efter hvilke normer kablet er produceret.

Vi håber med dette kompendium, ved anvendelse af relativt simple metoder, at give vore kunder og samarbejdspartnere et indblik i, hvilke faktorer der i praksis har betydning for kablers anvendelsesmuligheder og funktionalitet i dagligdagen.

Matematik handler udelukkende om begrebernes forhold til hinanden, uden hensyn til deres forhold til virkeligheden (*Albert Einstein*)

Vi håber med dette at bidrage til et større kendskab til virkeligheden.

Mikael Kristensen
Produktchef - Kabler

Oktober 2004

"Alle værdier, formler, dimensioner samt uddrag af diverse standarder og normer er alene vejledende og kun bindende, såfremt de særskilt er skriftligt bekræftet af Otra Danmark A/S"

Indhold

Indledning/forord.....	2
Lederopbygning.....	4
Ledermodstand	5
Isolations- & kappematerialer.....	7
Ledningssystemer og installationsmåder	8
Bøjelige ledninger i fast installation	8
Gnaverbeskyttelse	10
Lette installationskabler	11
Reference installationsmåder	12
Kabler i jord.....	16
Termiske systemer.....	17
Termisk modstand.	18
Forskell i strømværdi for 70 og 90°C kabel.....	18
Strømværdier for kobber og aluminium kabler.....	19
Strømværdier efter forenkede danske regler	20
Strømværdier for gummikabler	24
Strømværdier for skibskabler.....	25
Brandhæmmende kabler	27
Brandsikre kabler.....	29
Røgudvikling	30
Halogenindhold og korrosivitet	31
Nødbelysning og varslingsanlæg.....	31
Kredsløbsteori.....	32
Erstatningsstrømsskema	35
Mærkespænding.....	36
Spændingsfald i kabler.	36
Effekttab i kabler.	38
Induktans & Reaktans	40
Kapacitet.....	42
Kortslutningsbeskyttelse.....	45
Harmoniserede kabler efter CENELEC HD361	47
Forsyningskabler efter DIN / VDE 0276.....	48
Styre- og signalkabler efter DIN/VDE 0815/16	49
HD 308 farvekodning.....	50
DIN 47100 farvekodning.....	51
PT-HF og PTS-HF farvekodning.....	52
PTK-HF og PTR-F farvekodning.....	52
Kobberregulering	53
CE-mærkning af kabler.....	54
Håndtering af kabler	55
Konstruktion af standardtromler	55
Kabellængde pr. tromle.....	56
Tilladelige trækværdier	58
Bøjningsradius	59

Lederopbygning

Der skelnes almindeligvis mellem 3 forskellige ledertyper, som er :

- Stive ledere / Enkeltrådede
- Fleksible ledere / Flertrådede
- Ekstra fleksible ledere / Mangetrådede

Endvidere findes der forskellige varianter af ekstra fleksible ledere, som f.eks. anvendes til svejse- og robotkabler. Nedenfor er gengivet de hyppigst forekommende konstruktioner af stive ledere, der ofte omtales ved betegnelserne RE, SE, RM og SM.



Class 1



Class 2



Valget af ledertype afhænger typisk af anvendelsesformål, standarder eller kunde-specifikationer. Hver ledertype har, afhængigt af anvendelsen, fordele og ulemper, som skematisk kunne summeres på følgende måde:

	Enkeltrådede Cl. 1	Flertrådede Cl. 2	Mangetrådede Cl. 5 & 6
Normal anvendelse	<ul style="list-style-type: none"> • crimpning • lodning • klemrække • wire wrap 	<ul style="list-style-type: none"> • crimpning • lodning • klemrække • skæreklemmer 	<ul style="list-style-type: none"> • lodning • kabelsko • crimpning
Bøjningsegenskaber	<ul style="list-style-type: none"> • stor bøjningsradius 	<ul style="list-style-type: none"> • lille bøjningsradius 	<ul style="list-style-type: none"> • meget lille bøjningsradius
Anvendelsesområder	<ul style="list-style-type: none"> • fast installation • ikke beregnet for kabler til bevægelig drift 	<ul style="list-style-type: none"> • fast installation • ikke beregnet for kabler til bevægelig drift 	<ul style="list-style-type: none"> • kabler til bevægelig drift

I IEC 60228 er det specificeret, hvorledes kabler bestående af flere tråde skal opbygges, enten anført som det mindst tilladte antal tråde eller den maksimale diameter pr. tråd, som anført i omstående tabel. For Class 1 (massiv) er antallet naturligvis 1.

Tværsnit [mm²]	Class 1	Class 2				Class 5	Class 6
		Antal tråde (rund) Cu Al		Antal tråde (sektor) Cu Al		Maksimal tråddiameter [mm]	Maksimal tråddiameter [mm]
0,5	1	7		-	-	0,21	0,16
0,75	1	7		-	-	0,21	0,16
1,0	1	7		-	-	0,21	0,16
1,5	1	7		-	-	0,26	0,16
2,5	1	7		-	-	0,26	0,16
4	1	7	7 ¹⁾	-	-	0,31	0,16
6	1	7	7 ¹⁾	-	-	0,31	0,21
10	1	7	7	-	-	0,41	0,21
16	1	7	7	-	-	0,41	0,21
25	1	7	7	6	6	0,41	0,21
35	1	7	7	6	6	0,41	0,21
50	1	19	19	6	6	0,41	0,31
70	1	19	19	12	12	0,51	0,31
95	1	19	19	15	15	0,51	0,31
120	1	37	37	18	18	0,51	0,31
150	1	37	37	18	18	0,51	0,31
185	1	37	37	30	30	0,51	0,41
240	1	61	61	34	34	0,51	0,41
300	1	61	61	34	34	0,51	0,41
400	1	61	61	53	53	0,51	-
500	1	61	61	53	53	0,51	-

1) Aluminiumsledere skal normalt have et tværsnit større end 10 mm², men 4 ... 6 mm² kan tillades i specielle tilfælde.

Ledermodstand

Metallers elektriske modstand kan bestemmes ud fra kendskabet til de fysiske dimensioner, samt deres materialeegenskab udtrykt ved resistiviteten (specifikke modstand) ρ_e efter følgende formel, hvor S er lederens tværsnitsareal og L dens længde:

$$R = \frac{\rho_e \cdot L}{S}$$

Ifølge IEC sættes $\rho_e = 17,241 \, \Omega\text{mm}^2/\text{km}$ for udglødet kobber og $28,264 \, \Omega\text{mm}^2/\text{km}$ for aluminium, ved 20°C.

I praksis bør der dog tages højde for modstandsændringer ved forarbejdning af materialet og IEC har derfor i IEC 60228 vedtaget omstående tabel, der angiver den maksimalt tilladte ledermotstand ved jævnstrøm, for kobber- og aluminiumsleder konstrueret efter Cl. 1, 2 og 5.

Tværsnit [mm ²]	Class 1			Class 2			Class 5	
	Rund kobber		Alu.	Kobber		Alu.	Kobber	
		Fortinnet [Ω/km]	[Ω/km]	Ufortinnet [Ω/km]	Fortinnet [Ω/km]	[Ω/km]	Ufortinnet [Ω/km]	Fortinnet [Ω/km]
0,5	36,0	36,7	-	36,0	36,7	-	39,0	40,1
0,75	24,5	24,8	-	24,5	24,8	-	26,0	26,7
1,0	18,1	18,2	-	18,1	18,2	-	19,5	20,0
1,5	12,1	12,2	18,1 ²⁾	12,1	12,2	-	13,3	13,7
2,5	7,41	7,56	12,1 ²⁾	7,41	7,56	-	7,98	8,21
4	4,61	4,70	7,41 ²⁾	4,61	4,70	7,41	4,95	5,09
6	3,08	3,11	4,61 ²⁾	3,08	3,11	4,61	3,30	3,39
10	1,83	1,84	3,08 ²⁾	1,83	1,84	3,08	1,91	1,95
16	1,15	1,16	1,91 ²⁾	1,15	1,16	1,91	1,21	1,24
25	0,727 ¹⁾	-	1,20	0,727	0,734	1,20	0,780	0,795
35	0,524 ¹⁾	-	0,868	0,524	0,529	0,868	0,554	0,565
50	0,387 ¹⁾	-	0,641	0,387	0,391	0,641	0,386	0,393
70	0,268 ¹⁾	-	0,443	0,268	0,270	0,443	0,272	0,277
95	0,193 ¹⁾	-	0,320	0,193	0,195	0,320	0,206	0,210
120	0,153 ¹⁾	-	2,53	0,153	0,154	0,253	0,161	0,164
150	0,124 ¹⁾	-	0,206	0,124	0,126	0,206	0,129	0,132
185	-	-	0,164	0,0991	0,100	0,164	0,106	0,108
240	-	-	0,125	0,0754	0,0762	0,125	0,0801	0,0817
300	-	-	0,100	0,0601	0,0607	0,100	0,0641	0,0654
400	-	-	-	0,0470	0,0475	0,0778	0,0486	0,0495
500	-	-	-	0,0366	0,0369	0,0605	0,0287	0,0391

1) Kobberledere med diameter >25 mm² er kun tilladt i rund udførelse (anvendes ikke i praksis).

2) Aluminiumsledere med tværsnit 1,5 ... 16 mm² er kun tilladt i rund udførelse.

De anførte ledermodstande er gældende ved 20°C. For ledertemperatur afvigende fra 20°C kan ovenstående værdier korrigeres til modstanden R_t ved temperaturen t , efter følgende formel:

$$R_t = R_{20} \cdot (1 + a \cdot (t - 20^\circ\text{C}))$$

hvor a ifølge IEC er fastsat til :

Kobber 0,00393°C⁻¹
 Aluminium 0,00403°C⁻¹

Udover lederens elektriske egenskaber, udtrykt ved dennes modstand, er den fysiske opbygning som regel også af interesse bl.a. af hensyn til kablets fleksibilitet.

Isolations- & kappematerialer

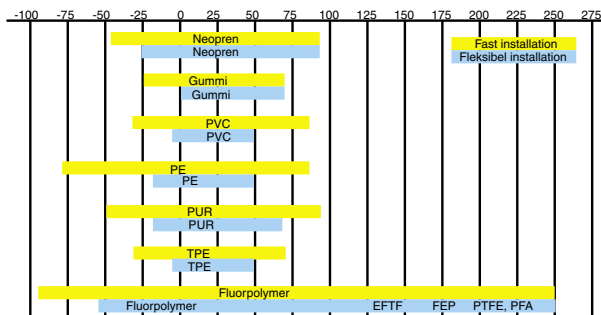
Ved valg af isolationsmaterialer bør der tages hensyn til materialets egenskaber for f.eks. isolationsmodstand, mekanisk styrke, brandbarhed, termiske egenskaber etc. I nedenstående tabel er gengivet nogle almindeligt forekommende materialer og nogle af deres egenskaber:

	Type	Beskrivelse	VDE- Betegnelse	CENELEC - Betegnelse	Max. temperatur	Brand- hæmmende	Halogenfri
Termoplastiske materialer	PVC	Polyvinylchlorid	Y	V	+70°C	Ja	Nej
	PVC	Varmebestandig PVC	Yw	V2	+90°C	Ja	Nej
	PVC	Varmebestandig PVC (UL-type)	Yw		+105°C	Ja	Nej
	PE	Polyethylen	2Y	E	+70°C	Nej	Ja
	PE	Polyethylen, cellestruktur	02Y		+90°C	Nej	Ja
	PA	Polyamid	4Y	Q4	+105°C	Nej	*
	PTFE	Polytetrafluoretylen (teflon)	5Y	E4	+250°C	Ja	Nej
	FEP	Fluoretylenpropylen	6Y	E5	+180°C	Ja	Nej
	ETFE		7Y	E6	+130°C	Ja	Nej
	PP	Polypropylen	9Y	E7	+100°C	Nej	Ja
	PUR	Polyurethan	11Y	Q	+80°C	Nej	Ja
	TPE-E	Polyester elastomer	12Y	Q2	+100°C	Nej	Ja
Gummi & elastomer	PEX	Tværbunden polyethylen	2X	X	+90°C	Nej	Ja
	NR	Naturgummi	G	R	+60°C	Nej	Nej
	SIR	Silikonegummi	2G	S	+180°C	Ja	Ja
	EPDM	Ethylen-Propylen	3G	B	+90°C	Nej	Ja
	EVA	Ethylen-Vinylacetat	4G	G	+110°C	Nej	Ja
	CR	Chloropren	5G	N	+100°C	Ja	Nej
	CSM	Hypalon	6G	N4	+80°C	Ja	Nej
Halogenfri		Halogenfri polymer	H		+70°C	Ja	Ja
		Tværbunden halogenfri polymer	HX		+90°C	Ja	Ja

*) afhængig af compound typen

Betegnelsen "termoplast" stammer fra, at materialerne smelter, bliver plastiske, når de tilføres varme og hærdet og bliver faste igen, når de afkøler. Dette betyder også, at disse sammen med affald og gamle produkter kan smeltes og genanvendes.

Materialernes temperaturområde kan også angives ved nedenstående figur, der viser hvilke materialetyper, der er anvendelige i de angivne temperaturområder.



Betragtes isolationsmaterialets maksimale kontinuerte driftstemperatur, har denne også direkte indflydelse på kablets strømværdi.

Ledningssystemer og installationsmåder

Valget af ledningssystem og installationsmåde afhænger af:

- Områdets art
- Arten af vægge og andre bygningsdele, som bærer ledningssystemet
- Ledningssystemets tilgængelighed for personer og husdyr
- Spænding
- De elektromekaniske påvirkninger, der kan opstå ved kortslutninger
- Andre påvirkninger, som ledningssystemet kan blive udsat for under udførelsen af installationen eller under drift

Ved ledningssystem forstås en eller flere ledninger eller skinner med fastgørelsesmateriel og eventuel kapsling.

Bøjelige ledninger i fast installation

For bøjelige ledninger anvendt til fast installation gælder nedenstående bestemmelser, jvf. Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6, kap. 521.7. Bestemmelserne gælder dog kun for effekt kredse og ikke for strømkredse til f.eks. styring, måling, signalering, telekommunikation, datatransmission samt transmission af billeder og lyd o.l.

Det er vigtigt at bemærke, at man jvf. Elektricitetsrådet kan skelne mellem stive og bøjelige ledninger med reference til IEC 60228, hvoraf det fremgår, at klasse 1 og 2

er for fast installation, og implicit at klasse 5 og 6 er bøjelige ledninger for bevægelig installation.

Anvendelse

Bøjelige 1-leder ledninger må anvendes som fast installation på samme måde som stive 1-leder ledninger, og de må således fremføres i rør, i ledningskanalsystemer eller i lukket ledningskanal.

Bøjelige flerleder ledninger, også benævnt kappeledninger, må anvendes som fast installation

- hvis ledningerne anbringes uden for rækkevidde, eller
- hvis ledningerne anbringes i rør, i ledningskanalsystemer, lukkede ledningskanaler eller lignende, eller
- hvis det er nødvendigt af hensyn til bevægelighed eller vibration

Kappeledninger må ikke indmures eller indstøbes direkte, og de må kun anbringes i jord i midlertidig installation og i byggepladsinstallationer.

Oplægning

Kappeledninger, der anbringes uden for rækkevidde i synlige installationer, herunder kappeledninger over let nedtagelige hængeløfter, skal slutte sig til og fastgøres solidt til bygningsdele, barduner eller lignende, eller de skal anbringes i kabelbakker. Kappeledninger kan dog hænge frit over kortere afstande, f.eks. mellem belysningsarmaturer o.lign. Kappeledninger, der anbringes inden for rækkevidde i rør, lukkede ledningskanaler eller lignende, kan dog ved retningsændringer eller ved tilslutning føres uden rør, kanal eller lignende.

Hvor kappeledninger føres skjult i bygningshulrum (f.eks. over faste nedhængte lofter) eller i kabelbakker, skal der udvises særlig påpasselighed for at sikre, at ledningerne ikke skades af skarpe kanter o.lign.

Montering

Kappeledninger som faste installationer skal afsluttes

- enten i en dåse, roset, afbryder, stikkontakt eller lignende
- eller i et stykke fastmonteret materiel (f.eks. en brugsgenstand)

Klemmer m.v. skal være egnede til forbindelse af bøjelige ledere, og ledningerne skal være aflastet for træk.

Ledningstyper

Bøjelige 1-leder ledninger skal mindst være type H07... Hvor der er behov for varmebestandig ledning, kan der dog anvendes siliconegummiisoleret monteringsledning type H05SJ-K. Bøjelige flerleder ledninger skal mindst være almindelig kappeledning type H05...

Gnaverbeskyttelse

Generelt

Stærkstrømsbekendtgørelsens afsnit 6, kapitel 522 omhandler; "valg af installation i forhold til ydre påvirkninger" og herunder af speciel interesse for armerede plast-installationskabler som type NYBY (PAP) specifikt i kapitel 522.10 "forekomst af dyr" med følgende ordlyd:

Hvor forholdene erfaringsmæssigt eller forventeligt indebærer risiko for skadelig påvirkning fra dyr, skal ledningssystemet være valgt i overensstemmelse hermed, eller der skal være anvendt specielle beskyttelsesforanstaltninger, f.eks. ved

- ledningssystemets mekaniske egenskaber, eller
- den valgte placering, eller
- brug af en ekstra lokal eller generel mekanisk beskyttelse, eller
- en kombination af ovenstående

Foranstående skal være opfyldt f.eks. for landbrugets driftsbygninger, pelsdyrfarme, frørenserier, møllerier, korn- og foderstoflagre.

Landbrug og gartneri

Fokuseres der specielt på kapitel 705 i bekendtgørelsens afsnit 6, som gælder for installationer i landbrug, gartneri og bygninger for husdyrhold som f.eks. stalde, hønsehuse, svinestier, rum for fodertilberedning, opbevaringsrum for hø, halm og gødning, skal ovenstående generelle krav være opfyldt for alle dele af faste installationer.

Bemærk her, at der kun omtales faste installationer!

Det betyder således, at tilledninger overordnet er fritaget for denne beskyttelse, ligesom telefoninstallationer og ledningssystemer, der kun overfører signaler i dataanlæg, eller som kun overfører måleresultater heller ikke er omfattet af reglerne om gnaverbekendtgørelse (kap. 705.522.10).

Opbygning

Kabler af typen NYBY 0/J er designet til at give den nødvendige beskyttelse til opfyldelse af ovenstående krav.



Opbygningen er som udgangspunkt et traditionelt plastinstallationskabel med lederisolation og fyldkappe af ekstruderet blyfri PVC omviklet med et galvaniseret stålband for mekanisk beskyttelse samt en yderkappe af lysegrå ekstruderet blyfri PVC.

Lette installationskabler

Historie

Den 1. januar 1997 kom der nye standarder for plastinstallationskabler (DS 2393-serien). Disse dækker de oprindelige kabeltyper med mærkespænding 450/750V, samt en ny let kabeltype med tyndere isolation og kappe, med en mærkespænding på 300/500V.

De almindelige plastinstallationskabler mrk. 450/750V kunne anvendes som tidligere, d.v.s. i synlige eller skjulte installationer, indendørs eller i det fri. De kan indstøbes eller indmures direkte eller anbringes i jord, alt under overholdelse af reglerne for de forskellige oplægningsmåder.

For de lette kabler blev indført nogle begrænsninger i anvendelsesområdet. De måtte bruges indendørs i synlige og skjulte installationer, men de måtte ikke indmures eller indstøbes direkte, heller ikke ved gennemføringer. De lette kabler skulle beskyttes mod direkte sollys (UV-stråling), hvis de brugtes i det fri eller andre steder f.eks. i drivhuse, og kablerne måtte slet ikke anbringes i jorden, heller ikke hvis de var trukket i rør.

Herudover kan fabrikanten have meddelt særlige krav til brugen af kablerne.

Gældende regler

Ovenstående begrænsninger var beskrevet i Elråd-Medddelse Installationer 4/96 "installationskabler og deres anvendelse". Denne Elråd-Medddelse er imidlertid udgået, bl.a. på grund af at begrænsningerne var rent danske og derfor ikke kunne fastholdes over for lignende kabeltyper udført iht. andre nationale standarder.

De af fabrikanten evt. særlige krav til brugen af kablerne er naturligvis stadig gældende.

REKA type NYY-LJ

Reka anvender samme kappemateriale i både de oprindelige og de lette installationskabler, som indeholder TiO_2 (titandioxid), der i sig selv giver en UV-beskyttelse, så begge typer har samme egenskaber, når det drejer sig om UV-stråling. Reka har ingen egentlige testresultater på UV-beskyttelsen, men har anvendt denne materialetype på kabler, der har været installeret udendørs i Finland, siden Reka startede produktionen i 60'erne. Dette uden at bemærke andet end en farveændring fra hvid til gullig.

Endvidere kan kablerne indstøbes eller indmures direkte, selv om vi nok ikke bør anbefale at gøre dette, med de risici der er for, at kablet senere bliver beskadiget af et evt. søm eller bor i forbindelse med ophæng på f.eks. en væg.









Konklusion

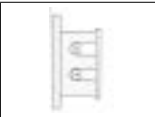






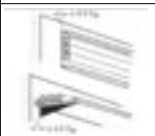
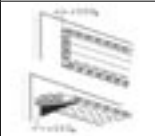
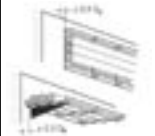

Reka's lette PVC-holdige installationskabler kan installeres i synlige eller skjulte installationer, indendørs eller i det fri, de kan indstøbes eller indmures direkte, alt under overholdelse af reglerne for de forskellige installationsmåder, men må ikke anbringes i jord og i vibreret beton.




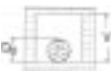









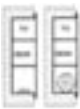
Såfremt kablet skal anbringes i jord kræves det, at der anvendes REKA type NHH-LJ, som er den halogenfrie version af det lette kabel. Dette kabel har ingen begrænsninger i dets anvendelse, bortset fra indstøbning i vibreret beton.









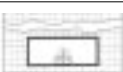



Reference installationsmåder

Strømværdierne for kabler er fastlagt ved beregning eller prøvning, på baggrund af en række reference installationsmåder som anført nedenfor.

Nummer	Installationsmåde	Beskrivelse
1		Isolerede ledere eller 1-leder kabler i rør eller i en termisk isoleret væg.
2		Flerleder kabel i rør i en termisk isoleret væg.
3		Flerleder kabel direkte i en termisk isoleret væg.
4		Isolerede ledere eller 1-leder kabler i rør eller på en væg af træ eller af murværk eller placeret i en afstand mindre end 0,3 gange rørdiameteren fra den.
5		Flerleder kabler i rør på en væg af træ eller af murværk eller placeret i en afstand mindre end 0,3 gange rørdiameteren fra den.
6 7		Isolerede ledere eller 1-leder kabler i ledningskanal på en væg af træ.
8 9		Flerleder kabler i ledningskanal på en væg af træ.
10 11		Isolerede ledere, 1-leder eller flerleder kabler i ophængt ledningskanalsystem.

12		Isolerede ledere eller 1-leder kabler i profilliste.
13 14		Isolerede ledere, 1-leder eller flerleder kabler i ledningskanalsystem som f.eks. fodpanelliste
15		Isolerede ledere i rør, 1-leder eller flerleder kabel i dørfatning.
16		Isolerede ledere i rør, 1-leder eller flerleder kabel i vinduesramme.
20		1-leder eller flerleder kabler fastgjort direkte på eller placeret i en afstand mindre end 0,3 gange kabeldiameteren fra en væg af træ.
21		1-leder eller flerleder kabler fastgjort direkte under loft af træ.
22		1-leder eller flerleder kabel fastgjort i en afstand fra et loft.
30		1-leder eller flerleder kabel på uperforeret kabelbakke.
31		1-leder eller flerleder kabel på perforeret kabelbakke.
32		1-leder eller flerleder kabel på knægte eller trådnæt.
33		1-leder eller flerleder kabler fastgjort direkte i en afstand på mere end 0,3 gange kabeldiameteren fra væg.

34		1-leder eller flerleder kabel på kabelstige.
35		1-leder eller flerleder kabel nedhængt fra eller bygget sammen med en bæretråd.
36		Uisolerede eller isolerede ledere på isolatorer.
40		1-leder eller flerleder kabel i et bygningshulrum.
41		Isolerede ledere i rør i bygningshulrum.
42		1-leder eller flerleder kabel i rør i bygningshulrum
43		Isolerede ledere i lukket ledningskanal i et bygningshulrum
44		1-leder eller flerleder kabel i lukket ledningskanal i bygningshulrum.
45		Isolerede ledere i lukket ledningskanal i murværk med en termisk modstand på højst 2 K·m/W.
46		1-leder eller flerleder kabel i lukket ledningskanal i murværk med en termisk modstand på højst 2 K·m/W.
47		1-leder eller flerleder kabel i et loft hulrum eller i et hult gulv.
50		Isolerede ledere eller 1-leder kabel i planforsænket gulvareal.
51		Flerleder kabel i planforsænket gulvareal.
52 53		Isolerede ledere, 1-leder eller flerleder kabel i indstøbt ledningskanal.

54		Isolerede ledere eller 1-leder kabler i rør i en uventileret kabelkanal fremført vandret eller lodret.
55		Isolerede ledere i rør i åben eller ventileret kabelkanal i gulv.
56		1-leder eller flerleder kabel i rør i åben eller ventileret kabelkanal i gulv.
57		1-leder eller flerleder kabel direkte i murværk med en termisk modstand mindre på højst $2 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$, uden supplerende mekanisk beskyttelse.
58		1-leder eller flerleder kabel direkte i murværk med en termisk modstand mindre på højst $2 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$, med supplerende mekanisk beskyttelse.
59		Isolerede ledere eller 1-leder kabler i rør i væg eller murværk.
60		Flerleder kabler i rør i væg eller murværk.
70		Flerleder kabel i rør eller lukket kanal i jord.
71		1-leder kabel i rør eller i lukket kanal i jord.
72		1-leder eller flerleder kabler direkte i jord uden supplerende mekanisk beskyttelse.
73		1-leder eller flerleder kabler direkte i jord med supplerende mekanisk beskyttelse.
80		1-leder eller flerleder kabel nedsænket i vand.

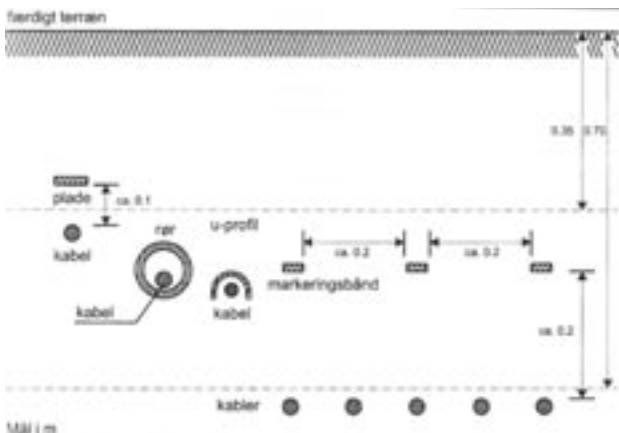
Kabler i jord

Bestemmelserne i Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6, kap. 522.8.2 gælder for kabler, som indeholder strømkredse med en nominel spænding, der overstiger 50V vekselspænding eller 120V jævnspænding.

- Kabler skal lægges i mindst 0,35 m dybde under færdigt terræn. El-leverandøren kan dog stille særlige krav vedrørende tracé og nedlægningsdybde for ledninger, der fører umålt strøm.
- Kabler i mindre end 0,7 meters dybde under færdigt terræn skal beskyttes med rør, U-profiler eller plader.
- Kabler i mindst 0,7 meters dybde under færdigt terræn kan lægges uden kabelbeskyttelse, når der ca. 0,2 meter over hvert kabel anbringes et markeringsbånd.

Ved lægning af flere sideløbende kabler i samme kabelgrav kræves kun anbragt ét markeringsbånd midt over kablerne, såfremt afstanden mellem de yderste kabler er højst 0,2 meter.

Er afstanden mellem de yderste kabler større end 0,2 meter, skal der anbringes markeringsbånd over hvert af de yderste kabler og i øvrigt i et sådant omfang, at den indbyrdes afstand mellem båndene er højst 0,2 meter.



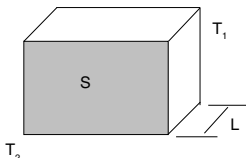
På omstående figur vises til venstre kabler med mekanisk beskyttelse i 0,35 til 0,7 meters dybde under færdigt terræn. Til højre kabler uden beskyttelse i 0,7 meter eller større dybde under færdigt terræn markeret med markeringsbånd.

Ved opføring fra jord til det fri skal kabler i fornøden udstrækning beskyttes mod mekanisk beskadigelse såvel over som under jordoverfladen. Til beskyttelse af kabler ved opføring fra jord til det fri kan anvendes forzinkede jernrør, stålrør, kabeljern eller plastvandrør af polyætylen efter DS 2119 for et arbejdsstryk på mindst 0,6 MPa (6 kp/cm²). Almindelige installationsrør har ikke den fornødne styrke.

Termiske systemer

Termiske systemer er ofte meget komplekse at regne på, da de ofte har ulineære egenskaber, og der samtidig er flere faktorer, der spiller ind, som f.eks. varmeledning og varmestråling samt varmetransport (konvektion).

I den termiske verden opererer man typisk med to grundlæggende faktorer, som er temperaturen (T) og varmetransporten P samt en række materiale- og dimensionskonstanter.



På ovenstående figur vises et emne med tykkelsen L og arealet S, hvor temperaturen på den ene side er T₁ og på den anden T₂. Følgende udtryk for varmetransporten P kan nu opstilles med kendskab til materialets varmeledningsevne k:

$$P = \frac{k \cdot S}{L} \cdot (T_1 - T_2) = \frac{T_1 - T_2}{R_{TH}} \text{ [J/sek]}$$

Her betegner R_{TH} den termiske modstand for emnet, og det fremgår, at denne er defineret meget analogt til udtrykket for elektrisk modstand.

Gives emnet en masse M, vil det af almindelig logik fremgå, at massen samt visse materialeegenskaber er afgørende for, hvilken temperaturstigning dT emnet får, når det tilføres en varmemængde P i tiden dt.

$$P = C_p \cdot M \cdot \frac{dT(t)}{dt} = C \cdot \frac{dT(t)}{dt}$$

Hvor C_p er materialets specifikke varmekapacitet, og C betegnes som den termiske kapacitet (varmekapaciteten [J/(g · °C)]).

I lighed med udtrykket for den termiske modstand ses en lighed til udtrykket for elektrisk kapacitet, når man ækvivalerer T med spænding og P med strøm.

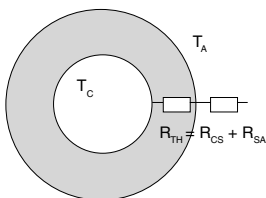
Termisk modstand

Nedenstående termiske resistivitet er de almindeligt forekommende værdier for typiske materialer og er specificeret i IEC 60287-2-1, tabel 1.

Isolationsmaterialer	Termisk resistivitet ρ_r [K m/W]
PVC (≤ 3 kV labler)	5,0
PVC (> 3 kV labler)	6,0
PE	3,5
PEX	3,5
EPR (≤ 3 kV labler)	3,5
EPR (> 3 kV labler)	5,0
Gummi	5,0
Kappematerialer	
PVC (≤ 35 kV labler)	5,0
PVC (> 35 kV labler)	6,0
PE	3,5
Gummi sandwich konstruktion	6,0
Andre materialer	
Cement	1,0

Forskel i strømværdi for 70 og 90°C kabel

Termiske beregninger på kabler kan foretages ved hjælp af nedenstående simplificerede repræsentation af de termiske modstande mellem lederen og omgivelserne.



Hvor:

T_C = Ledertemperaturen

T_A = Omgivelsestemperaturen

R_{CS} = Den termiske modstand mellem leder og kappe

R_{SA} = Den termiske modstand mellem kappe og omgivelser

Forudsætningen er proportionalitet mellem lederens temperatur og den afsatte effekt i lederen. Når I er kablets strømværdi (den maksimale kontinuere strøm) fås:

$$T_C - T_A = P \cdot R_{TH} = I^2 \cdot R_C \cdot R_{TH}$$

$$\Delta T = I^2 \cdot R_C \cdot R_{TH}$$

$$I^2 = \frac{\Delta T}{R_C \cdot R_{TH}}$$

Hvor ΔT angiver forskellen mellem den maksimale ledertemperatur og omgivelsestemperaturen. Opstilles nu forholdet mellem strømværdien I_{70} ved 70°C og I_{90} ved 90°C fås følgende forhold:

$$\frac{I_{90}}{I_{70}} \approx \sqrt{\frac{\Delta T_{90}}{\Delta T_{70}}}$$

Af ovenstående formel fremgår det, at materialekonstanterne R_{TH} og R_C ikke har indflydelse på ændringen i strømværdien, når det forudsættes, at de er uafhængige af temperaturen.

Som eksempel kunne indsættes en værdi for omgivelsestemperaturen T_A på 30°C og T_C som den maksimale ledertemperatur, på hhv. 70°C og 90°C, hvilket ville give følgende resultat:

$$\frac{I_{90}}{I_{70}} = \sqrt{\frac{90^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}}{70^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}}} = 1,2$$

Konklusionen er, at en ca. 20% højere strømværdi kan opnås ved at vælge et 90°C kabel fremfor et 70°C kabel, når alle andre forhold er identiske.

Strømværdier for kobber og aluminium kabler

Nedenstående strømværdier er baseret på reference-installationsmåder 33 gældende for flerleder kabler i fri luft ved en omgivelsestemperatur på 30°C.

Kablet er anbragt således, at varmeafgivelsen og den naturlige luftcirkulation ikke er forhindret. I praksis er det tilstrækkeligt med en afstand mellem kablet og enhver nærliggende overflade på mindst 0,3 gange kablets udvendige diameter for at tillade anvendelse af strømværdierne for fri luft.

Værdierne vil naturligvis ændre sig, hvis kablet er udsat for opvarmning p.g.a. solbestråling eller andre kilder.



Leder- tværsnit [mm ²]	Kobber ledere				Aluminium ledere			
	70°C ¹⁾		90°C ²⁾		70°C ³⁾		90°C ⁴⁾	
	2- ledere [A]	3- ledere [A]	2- ledere [A]	3- ledere [A]	2- ledere [A]	3- ledere [A]	2- ledere [A]	3- ledere [A]
1,5	22	18,5	26	23	-	-	-	-
2,5	30	25	36	32	23	19,5	28	24
4	40	34	49	42	31	26	38	32
6	51	43	63	54	39	33	49	42
10	70	60	86	75	54	46	67	58
16	94	80	115	100	73	61	91	77
25	119	101	149	127	89	78	108	97
35	148	126	185	158	111	96	135	120
50	180	153	225	192	135	117	164	146
70	232	196	289	246	173	150	211	187
95	282	238	352	298	201	183	257	227
120	328	276	410	346	244	212	300	263
150	379	319	473	399	282	245	346	304
185	434	364	542	456	322	280	397	347
240	514	430	641	538	380	330	470	409
300	593	497	741	621	439	381	543	471

¹⁾ Stærkstrømsbekendtgørelsens afsnit 6 tabel 52-E9

²⁾ Stærkstrømsbekendtgørelsens afsnit 6 tabel 52-E11

³⁾ Stærkstrømsbekendtgørelsens afsnit 6 tabel 52-E10

⁴⁾ Stærkstrømsbekendtgørelsens afsnit 6 tabel 52-E12

Ovenstående værdier er baseret på PVC-isolation (Polyvinylchlorid) for 70°C ledertemperatur og PEX (Tværbunden Polyethylen) eller EPR (Ethylen Propylen) for 90°C ledertemperatur.

Strømværdier efter forenklede danske regler

Følgende bestemmelser, angivet i Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6, bilag A til kap. 52, kan i Danmark anvendes i stedet for de internationale bestemmelser fastsat i IEC 60364-5-523. De er baseret på disse, men er bearbejdet til en mere enkel form, som er egnet til daglig brug.

Bestemmelserne kan anvendes

- enten for en hel installation
- eller for en del af en installation, hvor den øvrige del af installationen følger bestemmelserne i IEC, forudsat at de to installationsdele fremføres fysisk adskilt, så der ikke kan ske en sammenblanding f.eks. i kabelbakker eller andre fremføringsveje

De angivne strømværdier vil for de fleste almindelige installationsmåder føre til en udnyttelse af lederne, der ligger tæt på det optimale.

Det gælder dog ikke, hvis der anvendes mineraliserede ledere eller specielle installationsmåder, såsom 1-leder kabler i fri luft. I sådanne tilfælde anbefales det at anvende strømværdierne fastsat af IEC for at opnå optimal udnyttelse.

PVC-isolerede ledere og -kabler ved omgivelsestemperatur på 30°C

	Mindre gode varmeafledningsforhold		Normale varmeafledningsforhold		Særligt gode varmeafledningsforhold
	1, 3, 12, 15, 16	2	4, 6, 7, 10, 13, 20, 21, 30, 50, 51, 52, 53, 55, 56, 57, 58, 59, 60	5, 8, 9, 11, 14, 40 til 47, 54	22, 31, 32, 33, 34, 35, 36
Leder [mm²]	Strømværdier				
	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]
Kobber					
0,196 ¹⁾	2	2	2,5	2,5	2,7
0,283 ²⁾	3	3	3,5	3,5	3,8
0,5	5	5	6	6	6,5
0,75	7,5	7,5	9	9	10
1	10,5	10,5	12	12	14,5
1,5	13,5	13	15,5	15	18,5
2,5	18	17,5	21	20	25
4	24	23	28	27	34
6	31	29	36	34	43
10	42	39	50	46	60
16	56	52	68	62	80
25	73	68	89	80	101
35	89	83	111	99	126
50	108	99	134	118	153
70	136	125	171	149	196
95	164	150	207	179	238
120	188	172	239	206	276
150	216	196	299	-	319
185	248	223	341	-	364
240	286	261	403	-	430
300	328	298	464	-	497
Aluminium					
16	43	41	53	48	61
25	57	53	70	62	78
35	70	65	86	77	96
50	84	78	104	92	117
70	107	98	133	116	150
95	129	118	161	139	183
120	149	135	186	160	212
150	170	155	227	-	245
185	194	176	259	-	280
240	227	207	305	-	330
300	261	237	351	-	381

1) Nominel diameter 0,5 mm.

2) Nominel diameter 0,6 mm

XLPE (PEX) isolerede ledere og -kabler ved omgivelsestemperatur på 30°C

	Mindre gode varmeafledningsforhold		Normale varmeafledningsforhold		Særligt gode varmeaflednings- forhold
	1, 3, 12, 15, 16	2	4, 6, 7, 10, 13, 20, 21, 30, 50, 51, 52, 53, 55, 56, 57, 58, 59, 60	5, 8, 9, 11, 14, 40 til 47, 54	22, 31, 32, 33, 34, 35, 36
Leder [mm²]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]
Kobber					
1,5	17	16,5	20	19,5	23
2,5	23	22	28	26	32
4	31	30	37	35	42
6	40	38	48	44	54
10	54	51	66	60	75
16	73	68	88	80	100
25	95	89	117	105	127
35	117	109	144	128	158
50	141	130	175	154	192
70	179	164	222	194	246
95	216	197	269	233	298
120	249	227	312	268	346
150	285	259	371	-	399
185	324	295	424	-	456
240	380	346	500	-	538
300	435	396	570	-	621
Aluminium					
16	58	55	71	64	77
25	76	71	93	84	97
35	94	87	116	103	120
50	113	104	140	124	146
70	142	131	179	156	187
95	171	157	217	188	227
120	197	180	251	216	263
150	226	206	283	-	304
185	256	233	323	-	347
240	300	273	382	-	409
300	344	313	440	-	471

Korrektionsfaktorer for omgivelsestemperatur forskellig fra 30°C

Omgivelsestemperatur [°C]	Korrektionsfaktor for PVC-isolerede kabler	Korrektionsfaktor for XLPE-isolerede kabler
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71

Korrektionsfaktorer for samlet fremføring af flere strømkredse eller flere flerleder kabler

Fremføring	Antal strømkredse eller flerleder kabler								
	1	2	3	4	6	9	12	16	20
Forsænket eller kapslet ¹⁾	1,00	0,80	0,70	0,70	0,55	0,50	0,45	0,40	0,40
Enkelt lag på væg, på gulve eller på upeforeret kabelbakke ²⁾	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	Hvis der fremføres mere end 9 sideløbende strømkredse, anvendes korrektionsfaktoren for 9 strømkredse uanset det aktuelle antal		
Enkelt lag fastgjort direkte på loft ²⁾	0,95	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60			
Enkelt lag på perforeret vandret eller lodret kabelbakke ²⁾	1,00	0,90	0,80	0,75	0,75	0,70			
Enkelt lag på kabelstige eller holdere ²⁾	1,00	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80			

1)	Ved ledningskanalsystemer, der internt er opdelt i flere sektioner, bestemmes korrektionsfaktoren ud fra det samlede antal strømkredse i systemet.
2)	Hvis afstanden mellem sideløbende rør eller kabler er større end to gange den største diameter, er det ikke nødvendigt at anvende korrektionsfaktor.
3)	Hvis en strømkreds består af flere kabler eller ledere (f.eks. parallelforbundne kabler), hvor antallet n af samtidigt belastede ledere er større end 3, regnes denne som n/3 strømkredse.
4)	For strømkredse, der forventes at føre en strøm, som ikke overstiger 75% af strømværdien evt. korrigeret for temperaturen, tillades følgende: <ul style="list-style-type: none"> • Strømværdien for den pågældende strømkreds behøver ikke korrigeres for samlet fremføring • Der kan ses bort fra den pågældende strømkreds ved bestemmelse af korrektionsfaktoren for de øvrige strømkredse i den samlede fremføring • Hvis 75%-reglen er opfyldt for samtlige strømkredse, behøves der ikke korrigeres for samlet fremføring. • Benyttes korrektionsfaktorerne for samlet fremføring, er den forventede levetid for kablet 20 år. Benyttes 75%-reglen, kan levetiden blive kortere.

Strømværdier for gummikabler

Nedenstående værdier er baseret på kontinuerlig drift, ved konstant belastning og omgivelsestemperatur på +30°C, for 1, 2, 3, 4 og 5-lederkabler med 2 eller 3 belastede ledere som anført og en ledertemperatur på 60°C.

Leder- tværsnit [mm ²]	1-leder		2-leder	3-leder		4-leder	5-leder
	2* [A]	3* [A]	2* [A]	2* [A]	3* [A]	3* [A]	3* [A]
0,75			6	6	6	6	6
1			10	10	10	10	10
1,5			16	16	16	16	16
2,5			25	25	20	20	20
4	34	30	34	35	29	30	30
6	43	38	43	44	36	37	38
10	60	53	60	62	51	52	54
16	79	71	79	82	67	69	71
25	104	94	105	109	89	92	94
35	129	117	-	135	110	114	-
50	162	148	-	169	138	143	-
70	202	185	-	211	172	178	-
95	240	222	-	250	204	210	-
120	280	260	-	292	238	246	-
150	321	300	-	335	273	282	-
185	363	341	-	378	309	319	-
240	433	407	-	447	365	377	-
300	497	468	-	509	415	430	-

* Det anførte ciffer angiver antallet af belastede ledere i kablet

Ved en omgivelsestemperatur forskellig fra +30°C skal strømværdierne for gummikabler korrigeres med nedenstående faktorer.

Leder- temperatur	Korrektionsfaktor ved følgende omgivelsestemperaturer									
	[°C]	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C			
60		1,0	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41			

Ovenstående værdier er hentet fra HD 516, der er en vejledning i anvendelse af harmoniserede ledninger.

Strømværdier for skibskabler

Nedenstående værdier er baseret på kontinuerlig drift, ved konstant belastning og omgivelsestemperatur på +45°C, for 1-leder kabler med isolationsmaterialer og ledertemperatur som angivet.

Leder- tværsnit [mm ²]	PVC	Varmefast PVC	Butyl gummi	EPR og PEX (Pirelli-typer)	Silikone og mineralsk isolation
	60°C* [A]	75°C* [A]	80°C* [A]	85°C* [A]	95°C* [A]
1	8	13	15	16	20
1,5	12	17	19	20	24
2,5	17	24	26	28	32
4	22	32	35	38	42
6	29	41	45	48	55
10	40	57	63	67	75
16	54	76	84	90	100
25	71	100	110	120	135
35	87	125	140	145	165
50	105	150	165	180	200
70	135	190	215	225	255
95	165	230	260	275	310
120	190	270	300	320	360
150	220	310	340	365	410
185	250	350	390	415	470
240	290	415	460	490	
300	335	475	530	560	

* Maksimalt tilladelige ledertemperatur

For 2-, 3- og 4-leder anvendes følgende tilnærmede korrektionsfaktorer som tillæg til ovenstående tabel.

2-ledere: 0,85
 3 og 4-ledere: 0,70

Ovenfor anførte strømværdier og heraf afledte kan betragtes som værende gældende ved samlet fremføring af kabler i bundter i f.eks. kabelbakker, kanaler eller rør. Hvis antallet af kabler overstiger 6 stk., der alle er fuldt og samtidigt belastet, og disse er oplagt således, at en fri luftstrømning rundt om og mellem kabler er forhindret, anvendes en yderligere korrektionsfaktor på 0,85.

Ved strømme større end angivet i ovenstående tabel anvendes flere parallelle ledere. Ved parallelle ledere regnes strømværdien for alle ledere som summen af strømværdien for hver enkelt leder, under forudsætning af at hver leder har samme impedans, tværsnit og maksimalt tilladte ledertemperatur. Parallelle ledere tillades kun for dimensioner på 10 mm² og større.

En omgivelsestemperatur på 45°C betragtes som en generel anvendelig temperatur under alle klimatiske forhold. Med kendskab til andre forhold, der taler for det, kan omgivelsestemperaturen dog korrigeres til andre værdier forskelligt fra 45°C efter nedenstående tabel.

Leder- temperatur [°C]	Korrektionsfaktor ved følgende omgivelsestemperaturer										
	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C	65°C	70°C	75°C	80°C	85°C
60	1,29	1,15	1,00	0,82	-	-	-	-	-	-	-
65	1,22	1,12	1,00	0,87	0,71	-	-	-	-	-	-
70	1,18	1,10	1,00	0,89	0,77	0,63	-	-	-	-	-
75	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82	0,71	0,58	-	-	-	-
80	1,13	1,07	1,00	0,93	0,85	0,76	0,65	0,53	-	-	-
85	1,12	1,06	1,00	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61	0,50	-	-
90	1,10	1,05	1,00	0,94	0,88	0,82	0,74	0,67	0,58	0,47	-
95	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63	0,55	0,45

Dimensionering udfra ovenstående medfører ikke overholdelse af IEC 60092-352 i sin helhed, men skal betragtes som vejledning til valg af kabeldimension.

Brandhæmmende kabler

Risikoen for brandspredning skal reduceres mest muligt ved valg af egnede materialer og ved udførelse af installationen i overensstemmelse med Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6, kapitel 527. Betegnelse brandhæmmende kabler benyttes bredt om kabler med den egenskab, at de er selvslukkende og dermed hæmmer spredningen / udviklingen af brand.

Kabler og ledninger, der opfylder EN 50265-1 og EN 50265-2-1, kan installeres uden særlige forholdsregler. I Danmark sidestilles kabler efter den danske standard DS 2393 med kabler efter EN 50265-1 og EN 50265-2-1. Bemærk at EN 50265-1 ikke nødvendigvis er nævnt i kablernes datablad, men kravet til brandhæmmende egenskaber er beskrevet ved den i EN 50265-2-1 anvendte testopstilling

I forlængelse af ovenstående skal det understreges, at kabler med en PE (Polyethylen) yderkappe ikke er brandhæmmende, da materialet fortsætter med at brænde og dryppe, selv når den omgivende ild er slukket.

Selvslukkende egenskaber IEC 60332-1

Almindeligvis refereres der i forbindelse med kabelspecifikationer til IEC 60332-1 (samme norm som EN 50265-2 og HD 405.1) hvor det nøjagtigt er beskrevet, hvordan brandtest for en enkelt leder eller et kabel skal udføres.

Ved testen ophænges en kabelprøve med en længde på 610 mm vertikalt med en afstand på 550 mm mellem ophængspunkterne.



IEC 60332-1

Kabelprøven påvirkes med en gasbrænder, placeret i en vinkel på 45° og en nærmere defineret afstand til kablet, i en tid afhængig af kablets diameter som angivet i nedenstående tabel.

Kabeldiameter [mm]	Testperiode [s]
D < 25	60
25 < D < 50	120
50 < D < 75	240
75 < D	480

Ved testperiodens ophør verificeres det, om branden har bredt sig nærmere end 50 mm under øverste ophængspunkt og længere end 540 mm nedad derfra.

Bemærk, at testen af praktiske årsager ikke kan udføres på kabler med en lederdiameter på under 0,8 mm ~ 0,5 mm²

Kabelbundters brandspredning IEC 60332-3

IEC 60332 del 1 og 2 omhandler testmetoder til bestemmelse af et enkelt vertikalt ophængt kabel, men det kan desværre ikke antages, at et bundt af kabler, der eksempelvis overholder IEC 60332-1, opfører sig på samme måde som et enkelt kabel. Dette skyldes bl.a. nedenstående faktorer:

- Mængden (rumfanget) af materiale, der udsættes for brand eller flammer fra andet brændende materiale.
- Kablets geometriske egenskaber.
- Temperaturen, hvor gasser får materialet til at antændes.
- Mængden af brandbare gasser, der frigives fra kablet ved en given temperatur.
- Mængden af luft som passerer installationen.
- Kabelkonstruktionen, f.eks. armeret, skærmet, 1- eller flerleder.

Testen udføres efter forskellige kategorier, som for den generelle anvendelse af kabler benævnes A, B, C og D. Disse kategorier er ikke nødvendigvis udtryk for forskellige sikkerhedsniveauer, men snarere et udtryk for den faktiske installationsmetode samt mængden af ikke metallisk materiale og varigheden af testen.

Testen udføres ved at udtage et antal kabelstykker med hver en mindstelængde på 3,5 m. Antallet af kabelstykker bestemmes således, at mængden af ikke metallisk materiale er i overensstemmelse med nedenstående tabel.

Standard	Kategori	Materiale [l/m]	Testperiode [min.]
IEC 60332-3-21	A F/R*	7,0	40
IEC 60332-3-22	A	7,0	40
IEC 60332-3-23	B	3,5	40
IEC 60332-3-24	C	1,5	20
IEC 60332-3-25	D	0,5	20

* Omhandler et specialtilfælde med kabler (>35 mm²) placeret på både for- og bagside af en vertikalt monteret kabelstige.

Materiemængden bestemmes ud fra en kabelprøve på mindst 0,3 m, hvorfra hvert ikke metallisk materiale vejes enkeltvis, hvorefter volumen bestemmes ud fra materialets massefylde. IEC 60811-1-3 kan f.eks. anvendes ved denne fastsættelse.



IEC 60332-3

Kabelprøverne, der er ophængt vertikalt, påvirkes med en gasbrænder, placeret i en defineret afstand til kablet, i en tid som anført ovenfor. Kablernes indbyrdes placering, med eller uden afstand til hinanden, og antallet af lag afhænger bl.a. af kablets tværsnit, 35 mm² eller > 35 mm².

Ved testperiodens ophør verificeres det, om branden har bredt sig mere end 2,5 m over brænderens nederste punkt.

Brandsikre kabler

Brandsikre kabler er en betegnelse, der benyttes om kabler med den egenskab, at de er i stand til at opretholde en funktion, selv under og efter en brand.

Testmetoden, der benyttes til afprøvning af brandsikre kabler, er nøje beskrevet i IEC 60331.



IEC 60331

En kabelprøve på 1200 mm ophænges vandret over en brandkilde, placeret i en afstand på 7,5 cm under kablet.

Kablet skal under testen være påtrykt sin nominelle spænding, og under brandpåvirkningen ved 750°C skal det kunne vedholde sin funktion uden nedbrud i minimum 90 minutter plus en 15 minutters afkølingsperiode. Såfremt kablet er mærket med normen, vil en angivelse af testperioden kunne forekomme, f.eks. IEC 60331-21(90)" for en 90 minutters testperiode.

Under branden må der naturligvis ikke opstå kortslutning eller afbrydelser af strømmen, hvilket heller ikke må være tilfældet, når der efter 12 timer atter påtrykkes spænding.

For brandsikre kabler, der anvendes til specielle formål, kan der være angivet andre testperioder end de i IEC 60331 angivne. Elektricitetsrådet foreskriver f.eks. at kabler der anvendes til nød- og panikbelysningsanlæg skal have en funktionstid på minimum 30 min.

Røgudvikling

Test af kablens røgudvikling udføres efter IEC 61034 i et specielt rum, der måler 3x3x3 meter, svarende til et rumfang på 27 m³. På hver side af rummet er opsat fotometrisk udstyr, som måler en lyskildes evne til at gennemtrænge den røg, der udvikles i rummet.

Kablens røgudvikling er af yderste vigtighed i forbindelse med evakuering af personer og deres mulighed for at identificere nødudgange, samt brandvæsenets mulighed for at bekæmpe ilden i et lokale.



Testen udføres ved at afbrænde 1 liter sprit under et antal kabelprøver på hver 1 meters længde, placeret i et veldefineret indbyrdes forhold. Under afbrændingen cirkuleres luften i rummet ved hjælp af en ventilator for at give en ensartet fordeling af den udviklede røg.

Testperioden slutter, når der over en periode på 5 min. ikke sker en yderligere forringelse af sigtbarheden, eller når testperioden har pågået i 40 minutter.

Afhængig af antallet af kabelprøver må sigtbarheden ikke være reduceret til mindre end 50%, 60% eller 70% af den oprindelige under hele testperioden.

Ved test af et halogenfrit kabel opnås f.eks. 70% sigtbarhed, hvorimod et tilsvarende traditionelt PVC kabel kun giver en sigtbarhed på 10% efter samme testtid.

Halogenindhold og korrosivitet

Halogenindhold (IEC 60754-1)

Kablets indhold af korrosiv saltsyre (HCl) og andre halogenholdige stoffer som flour (F), brom (Br) og jod (J) bestemmes ved afbrænding af kablet.

Ifølge normen må der ved afbrænding ikke udvikles nogen af disse stoffer.

Korrosivitet (IEC 60754-2)

I denne test undersøges pH-værdien for kablets brandgasser. Testen udføres ved, at man afbrænder en nærmere defineret mængde materiale og derefter måler pH-værdien for det vand, som røggassen ledes igennem.

For at kablet kan betragtes som ikke korrosivt, kræves det, at pH-værdien er $>3,5$. Normalt ligger halogenfri compound med en pH-værdi på 5, hvor PVC typisk er 2,5. Som reference er almindeligt drikkevand pH-neutralt med en pH-værdi på 7.

Nødbelysning og varslingsanlæg

Kun følgende ledningssystemer må ifølge Stærkstrømsbekendtgørelsens afsnit 6 kapitel 805 anvendes:

- Brandsikre kabler som opfylder IEC 60331
- Mineraliserede kabler
- Varmebestandig siliconegummiisoleret monteringsledning type H05SJ-K i rør. I skjult installation i brændbare bygningsdele og overalt i synlig installation skal der anvendes metalrør
- Andre egnede ledninger eller kabler efter særlig tilladelse fra Elektricitetsrådet

Ledningssystemerne skal anbringes således, at de under en brand kan opretholde strømforsyningen så længe som muligt. Af hensyn til risikoen for trækbelastninger i ledningssystemet i løbet af den krævede funktionstid må ledninger ikke fastgøres til bygningsdele af brændbart materiale.

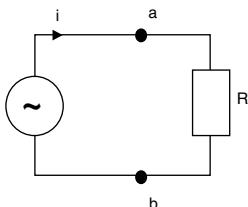
Ved samling af brandsikre kabler i dåser af plast o.lign. skal der anvendes klemmer med hus af porcelæn. Hvis inderlederne i det brandsikre kabel ikke er brandsikre, skal de forsynes med en brandsikker strømpe eller med brandsikkert tape.

Til forsyning af et enkelt fastmonteret nødbelysningsarmatur eller et apparat kan massive, flertrådede eller mangetrådede ledninger med et tværsnit på mindst $0,75 \text{ mm}^2$ anvendes. I forbindelsen mellem et selvstændigt hovedarmatur for nødbelysning og et satellitarmatur må der højst være et spændingsfald på 3%. Den største ledningslængde, som begrænser spændingsfaldet til 3%, er angivet i den brugsanvisning, der følger med armaturet.

Kredsløbsteori

Impedans og admittans

Når en ohmsk modstand R tilsluttes en vekselstrømsforsyning, vil øjebliksspændingen mellem punkterne a og b kunne bestemmes som $v_{ab} = V \cdot \cos(\omega t)$, og øjebliksstrømmen gennem modstanden i kan umiddelbart bestemmes, jvf. ohms lov som angivet nedenfor.



$$i = \frac{v_{ab}}{R} = \frac{V}{R} \cos(\omega t) = I \cdot \cos(\omega t)$$

I ovenstående formel angiver V vekselstrømsgeneratorens amplitude (maksimalværdi) og I på tilsvarende vis strømmens amplitude. Fra udtrykket fremgår det ligeledes, at både strøm og spænding er proportionale med $\cos(\omega t)$ og siges således at være i fase.

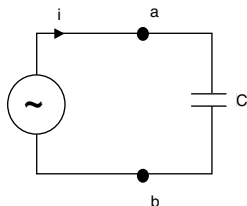
I næste eksempel er der i stedet for ovenstående ohmske modstand forbundet en kondensator C mellem punkterne a og b . For at kunne regne på dette eksempel er det væsentligt at se på følgende grundliggende definitioner og egenskaber for en kondensator C :

$$C = \frac{Q}{V} \qquad i = \frac{dq}{dt}$$

Det første matematiske udtryk beskriver definitionen for en kondensator C som forholdet mellem størrelsen af ladningen Q og potentialeforskellen (spændingen) V mellem kondensatorpladerne.

Andet udtryk beskriver øjebliksstrømmen i i en kondensator som ændringen af ladning pr. tidsenhed eller matematisk udtrykt som differentialkvotienten.

Ved at bruge samme fremgangsmåde som for ovenfor ved en ohmsk modstand og kombinere denne med kondensator definitionerne fås nedenstående formler:



$$q = C \cdot v_{ab} = C \cdot V \cdot \cos(\omega t)$$



$$i = \frac{dq}{dt} = -\omega \cdot C \cdot V \cdot \sin(\omega t)$$

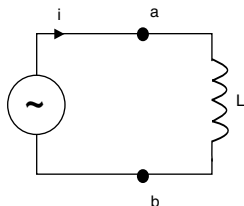
Af udtrykkene fremgår det, at når vekselspændingen er beskrevet som en cosinus funktion, er vekselstrømmen udtrykt ved en negativ sinusfunktion. Spændingen og strømmen er altså ikke i fase som for en ohmsk modstand, men forskudt med $\frac{1}{4}$ periode. For kondensatoren beskriver udtrykket generelt, at strømmen er foran spændingen.

Som sidste eksempel af interesse for kabler, betragtes igen det samme kredsløb hvor der mellem punkterne a og b er tilsluttet en spole (selvinduktion). For at regne på dette eksempel anvendes nedenstående grundliggende egenskab for en spole:

$$v = L \frac{di}{dt}$$

Dette udtryk beskriver øjebliksværdien af potentialeforskellen (spændingen) for en spole med selvinduktionen L, hvori der løber en strøm med en given ændring pr. tidsenhed.

Som i de tidligere eksempler opstilles nu en formel, på baggrund af ovenstående for sammenhængen mellem strøm og spænding i kredsløbet. I modsætning til ovenfor startes her med den afledte funktion (differentialkvotienten), hvis stamfunktion findes ved hjælp af integration.



$$L \cdot di = V \cdot \cos(\omega t) \cdot dt$$



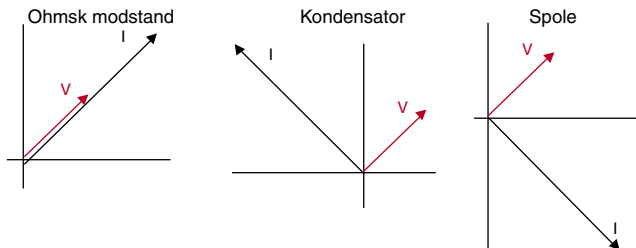
$$di = \frac{V}{L} \cos(\omega t) \cdot dt$$



$$i = \frac{V}{\omega \cdot L} \sin(\omega t)$$

Som det fremgår, lidt analogt til kondensatoren, er strømmen i spolen en sinusfunktion, når udgangspunktet er en cosinus. Det skal dog bemærkes, at der her er tale om en positiv sinusfunktion og for en spole er strømmen tidsmæssigt efter spændingen med $\frac{1}{4}$ periode.

På vektorform kan de tre basis eksempler gives som vist nedenfor:



Når der er tale om en vektorrepræsentation kan signalerne naturligvis også beskrives som komplekse tal f.eks. $V = \text{Re} + j \cdot \text{Im}$.

Ohms lov der er almindeligt kendt for at gælde for statiske signaler er ovenfor blevet anvendt for tidsvarierende signaler og vil kunne udtrykkes enten som spændingen forårsaget af en strøm eller strømmen forårsaget af en spænding ud fra nedenstående sammenhænge:

$$v(t) = R \cdot i(t) \text{ eller } i(t) = G \cdot v(t)$$

hvor G betegner modstandes konduktans.

I mange tilfælde er det formålstjenligt at anvende den komplekse notation, hvorved ovenstående ligninger omskrives til:

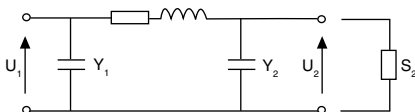
$$V = Z \cdot I \text{ eller } I = Y \cdot V$$

Her betegner Z elementets impedans (modstand) og Y betegner dens admittans (ledningsevne), hvor de nye betegnelser Z og Y er indført, da man med fordel kan beskrive dynamiske kredsløbskomponenter som kondensator og selvinduktion ved brug af disse.

	Tidsdomæne	Kompleks notation	Impedans	Admittans
Modstand	$v = R \cdot i$	$V = R \cdot I$	R	G
Kondensator	$i = C \cdot dv/dt$	$I = j\omega C \cdot V$	$1/j\omega C$	$j\omega C$
Selvinduktion	$v = L \cdot di/dt$	$V = j\omega L \cdot I$	$j\omega L$	$1/j\omega L$

Erstatningsstrømsskema

Det mest anvendte erstatningsstrømsskema for kabler er det nominelle π -led, der angiver et simplificeret 1-faset strømsskema for et 3-faset kabel.



I erstatningsstrømsskemaet kan værdierne for de anførte faktorer, som er bestemmende for kablets elektriske egenskaber, bestemmes ud fra følgende formler:

$$Z = R + jX = l \cdot (r + jx)$$

$$Y_1 = Y_2 = \frac{1}{2} \cdot jB = \frac{1}{2} \cdot l \cdot jb$$

Hvor nedenstående anvendte betegnelser er gældende pr. leder:

- l = er ledningens længde
- r = ledningens resistans, pr. meter
- x = reaktans, pr. meter
- b = susceptans, pr. meter

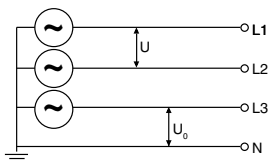
Som eksempel kan 250 m NAYY-0-T 4x150mm² beskrives ved følgende værdier:

$$\begin{aligned} l &= 250 \text{ m} \\ r &= 0,206 \, \Omega/\text{km} \\ x &= 2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 216 \, \mu\text{H}/\text{km} \\ &= 0,068 \, \Omega/\text{km} \\ b &= 2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 0,48 \, \mu\text{F}/\text{km} \\ &= 150,8 \, \mu\text{S}/\text{km} \\ Z &= 0,25 \text{ km} \cdot (0,026 \, \Omega/\text{km} + j0,068 \, \Omega/\text{km}) \\ &= 0,065 \, \Omega + j0,017 \, \Omega \\ Y_1 = Y_2 &= \frac{1}{2} \cdot 0,25 \text{ km} \cdot j150,8 \, \mu\text{S}/\text{km} \\ &= j18,85 \, \mu\text{S} \end{aligned}$$

Mærkespænding

Kablets mærkespænding udtrykkes ved to værdier U_0/U for vekselspænding, regnet i volt, hvor:

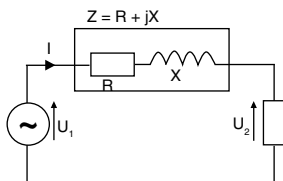
- U_0 : Spænding mellem fase og jord eller chassis
- U : Spænding mellem fase og fase
- U_0 : $U/\sqrt{3}$ for 3-fasede installationer



For mellemspændingskabler angiver man ofte - udover mærkespændingen - også maksimalspændingen, der skrives i parentes som f.eks. 6/10 (12) kV.

Spændingsfald i kabler

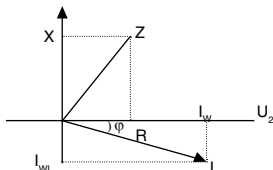
Ved beregning af spændingsfald benyttes almindeligvis en simplificeret udgave af erstatningsstrømskemaet for et kabel (det nominelle π -led). I denne model forudsættes 1-fasede eller symmetriske 3-fasede strømme og spændinger, samt at kablets længde er så kort, at der kan ses bort fra kapacitansen.



Som for almindelige DC-kredsløb kan man opstille følgende sammenhæng mellem U_1 og U_2 .

$$U_1 = U_2 + I \cdot Z$$

Ligningen er udgangspunktet for beregning af spændingsfald, og det bemærkes at U_1 , U_2 , Z og I er komplekse tal (tidsvektorer). På samme måde som værdien for Z er konstrueret og beskrevet ud fra komponenterne R og X , jvf. ovenstående strømskema, kan også strømmen opløses i komponenterne I_w og I_{wl} , hvor I_w er wattstrøm og I_{wl} er wattløs strøm.



Ud fra almindelig geometri fremgår det at værdierne for I_w og I_{wl} bestemmes som:

$$I_w = |I| \cdot \cos(\varphi)$$

$$I_{wl} = |I| \cdot \sin(\varphi)$$

I ovenstående vektordiagram er I tegnet som en induktiv belastning, hvilket tages for givet, hvis ikke andet er specificeret, og værdien for φ er altså den vinkel, som I ligger efter U_2 .

På samme måde som impedansen Z kan beskrives ved et komplekst tal, kan strømmen også beskrives på kompleks form som angivet nedenfor. Bemærk fortegnet for imaginærdele i strømmen I , der er negativ, som følge af en induktiv belastning:

$$Z = R + jX$$

$$I = I_w - jI_{wl}$$

Ved brug af de almindelige regneregler for komplekse tal kan følgende sammenhæng opstilles:

$$U_1 = U_2 + I \cdot Z = U_2 + (I_w - jI_{wl}) \cdot (R + jX) = (U_2 + I_w \cdot R + I_{wl} \cdot X) + j(I_{wl} \cdot X - I_w \cdot R)$$

$$|U_1| = \sqrt{(U_2 + I_w \cdot R + I_{wl} \cdot X)^2 + (I_{wl} \cdot X - I_w \cdot R)^2}$$

Da det sidste led under kvadratrodstegent ofte er lille i forhold til første led, kan der ses bort fra dette, og udtrykket for den numeriske værdi af U_1 kan skrives som:

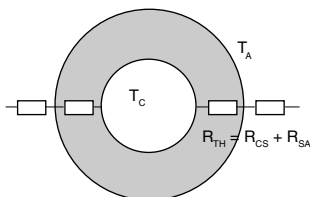
$$|U_1| \approx |U_2| + I_w \cdot R + I_{wl} \cdot X = |U_2| + |I| \cdot \cos(\varphi) \cdot R + |I| \cdot \sin(\varphi) \cdot X$$

Spændingsfaldet i kablet (pr. fase) ΔU kan altså udtrykkes tilnærmet ved kendskabet til kablets resistans (R), reaktans (X), samt belastningsstrømmens værdi (I) og dennes fasevinkel (φ) i forhold til belastningsspændingen U_2 .

$$\Delta U \approx I_w \cdot R + I_{wl} \cdot X$$

Effekttab i kabler

Udgangspunktet er den termiske model af et kabel:



Hvor:

T_C = Ledertemperaturen

T_A = Omgivelsestemperaturen

R_{CS} = Den termiske modstand mellem leder og kappe

R_{SA} = Den termiske modstand mellem kappe og omgivelser

Hvis forudsætningen er proportionalitet mellem lederens temperatur og den afsatte effekt i lederen, kan temperaturforskellen ΔT mellem lederens temperatur T_C og omgivelsestemperaturen T_A bestemmes som:

$$\Delta T = T_C - T_A = P \cdot R_{TH} = I^2 \cdot R_C \cdot R_{TH}$$

Lederens modstand R_C ændrer sig med stigende ledertemperatur efter nedenstående kendte sammenhæng:

$$R_C = R_{20} \cdot (1 + a \cdot (T_C - 20^\circ\text{C}))$$

hvor a er temperaturkoefficienten for det pågældende ledermateriale. Dette giver indsat i formlen for temperaturforskellen ΔT :

$$T_C - T_A = I^2 \cdot R_{20} \cdot (1 + a \cdot (T_C - 20^\circ\text{C})) \cdot R_{TH}$$

Hvis R_{TH} er oplyst, er alle værdier i dette udtryk kendte konstanter, med undtagelse af T_C , der kan isoleres. Herefter kan T_C bestemmes ved nedenstående udtryk:

$$T_C = \frac{I^2 \cdot R_{20} \cdot R_{TH} \cdot (1 - a \cdot 20^\circ\text{C}) + T_A}{1 - I^2 \cdot R_{20} \cdot R_{TH} \cdot a}$$

Effekttabet i lederen bestemmes herefter, ganske simpelt som

$$P = I^2 \cdot R_{20} \cdot (1 + a \cdot (T_C - 20^\circ\text{C})).$$

Da R_{TH} ikke almindeligvis er kendt eller oplyst fra kabelproducenten, kan T_C sættes til den maksimalt tilladte ledertemperatur, f.eks. 70°C eller 90°C , for at bestemme det maksimale effekttab i lederen

Vekselstrømsmodstand

Vekselstrømsmodstanden pr. længdeenhed kan ifølge IEC 287-1-1 beregnes ved den maksimale kontinuere ledertemperatur ud fra nedenstående formel:

$$R = R' \cdot (1 + y_s + y_p)$$

hvor:

R = vekselstrømsmodstanden ved driftstemperatur

R' = DC-ledermodstanden ved driftstemperatur

y_s = skineffekt faktoren

y_p = næreffekt faktoren

Ledermodstanden R' beregnes ud fra retningsliniene i IEC 60228, som:

$$R' = R_{20} \cdot (1 + a \cdot (t - 20^\circ\text{C}))$$

hvor a ifølge IEC 287-1-1 er fastsat til $0,00393^\circ\text{C}^{-1}$ for kobber og $0,00403^\circ\text{C}^{-1}$ for aluminium, R_{20} er lederens modstand ved 20°C , og t er ledertemperaturen.

Skineffekt er en følge af, at strømtætheden for en leder, der gennemløbes af en AC-strøm, ikke er jævnt fordelt over hele lederens areal, men størst ved dennes overflade. Skineffekten øges med lederdiameteren og frekvensen. Faktoren y_s beregnes som:

$$Y_s = \frac{X_s^4}{192 + 0,8 \cdot X_s^4} \quad \text{hvor } X_s^2 = \frac{8 \cdot \pi \cdot f}{R'} \cdot 10^{-7} \cdot k_s$$

Værdien for k_s er eksperimentelt fastsat og er anført i IEC 287-1-1 (tabel 2) og kan som regel sættes til 1.

Næreffekt er den modstandsforøgelse, der opstår i parallelle vekselstrømsledere på de sider af lederen, der vender mod hinanden. Næreffekten øges med lederdiameteren og frekvensen, men mindskes med afstanden mellem lederne. Faktoren y_p beregnes for et 3-leder kabel som:

$$Y_p = \frac{X_p^4}{192 + 0,8 \cdot X_p^4} \left(\frac{d_c}{s} \right)^2 \left(0,312 \cdot \left(\frac{d_c}{s} \right)^2 + \frac{1,18}{\frac{X_p^4}{192 + 0,8 \cdot X_p^4} + 0,27} \right)$$

hvor

$$X_p^2 = \frac{8 \cdot \pi \cdot f}{R'} \cdot 10^{-7} \cdot K_p$$

I ovenstående udtryk angiver d_c ledernes diameter (i mm) og s centerafstanden (i mm) mellem lederne.

Værdien for k_p er eksperimentelt fastsat og er anført i IEC 287-1-1 tabel 2, og kan som regel sættes til 1.

Induktans & Reaktans

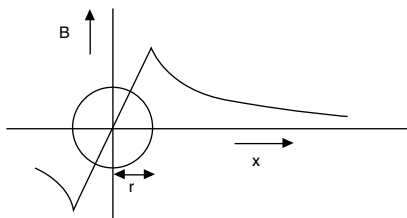
Feltstyrken i afstanden x omkring en lang lige (rund) leder, der gennemløbes af en strøm I , kan beskrives ved hjælp af Amperes lov (integrationsvej vælges som en cirkel, med radius x). Er lederen omgivet af umagnetisk materiale kan den magnetiske induktion i afstanden x tillige beskrives ved nedenstående formel når $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ og $x > r$:

$$B = \mu_0 \cdot H = \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot I}{x}$$

Ved $x > r$ forstås det område, der ligger uden for lederen. For at gøre udtrykket komplet kræves også kendskab til området inde i lederen, samt strømfordelingen over dennes areal. Ved at forudsætte at strømmens fordeling er jævn over hele tværsnittet kan der opstilles et tilsvarende udtryk for $x < r$, når ledermaterialets permabilitet betegnes μ/μ_0 og $r < x$.

$$B = \mu_0 \cdot H = \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot I \cdot x}{r^2} \cdot \frac{\mu}{\mu_0}$$

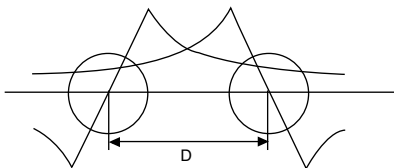
For umagnetiske ledere ($\mu/\mu_0 = 1$) kan kombinationen af ovenstående udtryk vises grafisk som gengivet i følgende figur:



I ovenstående tilfælde er udelukkende betragtet én leder, hvilket almindeligvis ikke forekommer i praksis, og det vil derfor være naturligt at udvide betragtningerne til at indeholde to parallelle ledere, hvori strømmen I løber i hver sin retning.

Felterne om hver af de to ledere kan naturligvis beskrives som angivet ovenfor, og nedenstående figur viser et tværsnit af de to ledere, hvor strømmen er modsat rettede med tilhørende magnetisk induktion for hver leder.

Det resulterende felt kan groft sagt beregnes som summen af de to felter.



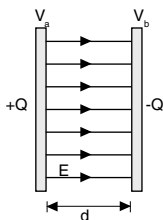
Uden at gå nærmere i detaljer med beregningsmetoden til bestemmelse af induktansen pr. leder, fremgår det implicit, at lederens induktans i langt overvejende grad er geometrisk bestemt, og at de bestemmende faktorer er hhv. D (centerafstanden mellem lederne) og r (lederens radius). Desuden vil det i beregningerne fremgå, at strømmen I forsvinder i udtrykket for ledernes induktans.

Med kendskab til lederens induktans L , typisk målt i H/km, kan lederens reaktans bestemmes som :

$$X = \omega \cdot L = 2\pi \cdot f \cdot L$$

Kapacitet

Den mest almindelige og simple form for kondensator er en pladekondensator, som i princippet er opbygget af to parallelle, ledende plader, som er placeret i en afstand d fra hinanden som vist nedenfor.

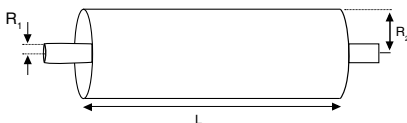


Hvis pladernes lineære areal er stort sammenlignet med afstanden mellem dem, kan feltet mellem pladerne betragtes som homogent, og følgende formel kan opstilles for kapaciteten, når pladerne er i vakuum.

$$C = \frac{Q}{V_{ab}} = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

I denne formel angiver A pladernes areal og ϵ_0 permittiviteten i vakuum. For andre stoffer mellem pladerne end luft (vakuum), defineres disses relative permittivitet (dielektricitetskonstant) ϵ_r . Stoffets relative permittivitet defineres som forholdet mellem kapaciteten af en pladekondensator med det pågældende stof som dielektrikum og kapaciteten af den samme kondensator i vakuum. Den relative permittivitet varierer normalt med frekvensen og temperaturen.

Et andet tilfælde, som er mere relevant for kabler, ville være en cylinder-kondensator, der er opbygget som et koaksialkabel og vist på nedenstående figur.



Dette kables kapacitet viser sig, præcis som forpladekondensatorens, kun at være afhængig af de fysiske dimensioner samt materialets dielektricitetskonstant. Til

bestemmelse af kapaciteten anvendes ovenstående definition på kapacitet ($C = Q/V_{ab}$) samt, Gauss' lov:

$$E \cdot A = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

hvor E er det elektriske felt, A er arealet af en lukket flade, der omslutter feltet, og som afhænger af afstanden til centrum. Q er ladningen og som ovenfor ϵ_0 permittivitet i vakuum. For cylinderkondensatoren gælder, at det elektriske felt fra "centerlederen" altid står vinkelret på den yderste leders areal, der anvendes som den lukkede flade i Gauss' Lov, hvilket simplificerer beregningerne betragteligt.

$$E = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot L \cdot \epsilon_0}$$

Potentialeforskellen mellem centerlederen og yderlederen bestemmes nu ud fra nedenstående sammenhæng, baseret på det ovenfor fastsatte:

$$V = \int_{R_1}^{R_2} E \cdot dr = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot \epsilon_0} \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)$$

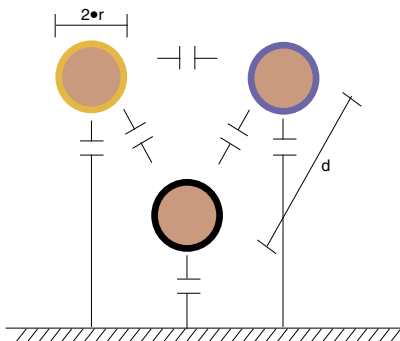
Ved at indsætte udtrykket i definitionen for kapacitet opnås nedenstående resultat for en cylinderkondensator:

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot \epsilon_0}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}$$

Dette viser endnu engang udelukkende en sammenhæng mellem de fysiske dimensioner og materialet.

For kondensatorer fokuserer man naturligvis på at opnå så stor en forøgelse af kapaciteten ved at anvende et dielektrikum, hvorimod det selvfølgelig for kabler er et mål at skabe så lille kapacitet som muligt.

For et kabel gælder naturligvis samme grundlæggende egenskaber som for de ovenfor viste kondensatorer, dog er der tale om nogle lidt mere komplekse forhold omkring bestemmelsen af kapaciteten, og et kabel indeholder også flere kapaciteter som illustreret på omstående figur for et 3-leder kabel, hvor lederne er uden skærm.



Kapaciteterne til jord skal dog betragtes som også at kunne være til en evt. skærm, hvilket naturligvis gør disse kapaciteter mere veldefinerede. For kabler med individuelt skærmede ledere har de enkelte ledere ingen indbyrdes kapaciteter.

Den væsentligste konklusion på ovenstående betragtninger er, at kapaciteten for et kabel afhænger af ledernes fysiske inbyrdes placering, samt dielektricitetskonstant for isolationsmaterialet, hvorfor kabler designet efter samme normer i samme materiale i langt ovevejende grad har samme kapacitet uafhængig af producenten.

I denne sammenhæng bør man også påpege, at kapaciteten for PVC kabler er stærkt temperaturafhængig. Dielektricitetskonstanten stiger med temperaturen, hvilket naturligvis medfører en stigende kapacitet. Denne lidt uheldige temperaturafhængighed er langt mindre for halogenfrie materialer som f.eks. PE og PEX.

Dog skal man være opmærksom på, at en PEX-isolation ofte er tyndere end en tilsvarende PVC isolation og bidrager til en større kapacitet, jvf. den generelle formel for en pladekondensator.

Kortslutningsbeskyttelse

Energiafsættelsen i et kabel under drift kan generelt beregnes efter nedenstående formel:

$$E = P \cdot t = R \cdot I^2 \cdot t = \frac{\rho_e \cdot L}{S} \cdot I^2 \cdot t$$

Hvor ρ_e er resistiviteten for hhv. kobber og aluminium, I er strømmen i lederen, S lederens tværsnitsareal, L er længden, og t er tiden, hvor strømmen løber.

Ovenstående energiafsættelse medfører en efterfølgende temperaturstigning for lederen, som bl.a. er bestemt af ledermaterialets specifikke varmekapacitet (C_p) massefylden (ρ) og kan udregnes efter nedenstående formel:

$$\Delta T = \frac{E}{C_p \cdot m} = \frac{E}{C_p \cdot \rho \cdot L \cdot S}$$

Ved en kombination af ovenstående to udtryk kan temperaturstigningen beregnes for en vilkårlig kabelleder, når der ses bort fra varmeafledning til omgivelserne:

$$\Delta T = \frac{\rho_e}{C_p \cdot \rho} = \frac{I^2 \cdot t}{S^2}$$

Dette udtryk giver en direkte relation mellem temperaturstigningen og materialeegenskaberne (C_p , ρ , ρ_e), energiafsættelsen udtrykt ved $I^2 \cdot t$ og tværsnitsarealet for lederen.

Kortslutningstemperaturgrænsen for lavspændingskabler er f.eks. 250°C iht. IEC 60724, hvilket i ovenstående giver en temperaturstigning $\Delta T = 160^\circ\text{C}$ for et 90°C kabel. Ved en omskrivning af ovenstående samt indsættelse af en fast temperaturgrænse fra f.eks. IEC 60724 fås følgende udtryk:

$$I^2 \cdot t = k^2 \cdot S^2$$

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

Denne formel kan genfindes i f.eks. stærkstrømsbekendtgørelsens afsnit 6 kapitel 434.3 og kan for udkoblingstider 0,1 ... 5s anvendes til at beregne den tid, som lederens temperatur er om at stige fra den maksimale kontinuere driftstemperatur til kortslutningstemperaturen.

For at anvende formelen kræves kendskab til faktoren k , der jvf. ovenstående bl.a. indeholder materialekonstanter for ledermaterialet, samt begyndelses- og sluttemperatur. Ifølge IEC 60724 antager k nedenstående værdier.

	Lederisolation			
	PVC ($\leq 300\text{mm}^2$)	PVC ($> 300\text{mm}^2$)	EPR / PEX	Gummi
Begyndelsestemperatur	70°C	70°C	90°C	60°C
Sluttemperatur	160°C	140°C	250°C	200°C
Kobber	115	103	143	141
Aluminium	76	68	94	93

I stærkstrømsbekendtgørelsens afsnit 6 findes endvidere et bilag til kapitel 43, der direkte angiver specielle forhold for tilledninger / bøjelige ledninger.

For tilledninger, der tilsluttes udløbsrosetter og lignende, skal der være følgende forhold mellem tværsnit for tilledningen og nærmeste foresiddende kortslutningsbeskyttelse i den faste installation.

Ledertværsnit [mm ²]	Størst tilladte mærkestrøm for kortslutningsbeskyttelsen [A]
$\leq 0,5$	10
0,75	20
1	25
1,5	32
2,5	40
4	50
6	80
10	100
16	160
25	200
35	250
50	315
70	400
95	500

Harmoniserede kabler efter CENELEC HD361

Harmoniserede kabler og ledninger benævnes efter følgende retningslinier.

H Pos. 1	03 Pos. 2	V Pos. 3	V Pos. 4	V Pos. 5	- Pos. 6	F Pos. 7	3 Pos. 8	G Pos. 9	1,5 Pos. 10
Pos. 1 Standard									
H CENELEC standard A National type									
Pos. 2 Mærkespænding									
01 100/100V < U ₀ /U < 300/300V 03 300/300V 05 300/500V 07 450/750V									
Pos. 3 Isolationsmateriale									
V PVC V2 Varmebestandig PVC (90°C) V3 Kuldebestandig PVC V4 Tværbunden PVC V5 Olieresistent PVC B EP-gummi Q Polyurethan (PUR) R Naturgummi S Silikonegummi Z Tværbunden polyolefine (Halogenfri) X Tværbunden Polyethylen (PEX)									
Pos. 4 Skærm									
C Konsentrisk kobberskærm C4 Kobberflelskærm									
Pos. 5 Kappemateriale									
V PVC V2 Varmebestandig PVC (90°C) V3 Kuldebestandig PVC V5 Olieresistent PVC R Naturgummi N Polychloropren-gummi J Glasfiberflet T Tekstilstillet -H Fladledning – delelig -H2 Fladledning – ikke delelig -H6 Fladledning – med mere end 3 ledere									
Pos. 6 Ledermateriale									
- Kobber (udelades) -A Aluminium									
Pos. 7 Ledertype									
D Højfleksibel for svejsekabler (~cl. 5) E Højfleksibel for svejsekabler (~cl. 6) F Mankokort – fleksibel (cl.5) H Finkort (cl. 6) K Mankokort for fast installation R Flertrådet rund leder (cl. 2) S Flertrådet sektorformet U Enkeltrådet massiv (cl. 1) Y Litze									
Pos. 8 Lederantal									
Selvforklarende									
Pos. 9 Beskyttelsesleder									
G Med beskyttelsesleder X Uden beskyttelsesleder									
Pos. 10 Ledertværsnit i mm²									
Selvforklarende									

Forsyningskabler efter DIN / VDE 0276

Forsyningskabler efter DIN / VDE- bestemmelser benævnes efter følgende retningslinier.

N Pos. 1 **A** Pos. 2 **Y** Pos. 3 **C** Pos. 4 **B** Pos. 5 **Y** Pos. 6 **-** Pos. 7 **-** Pos. 7a **T** Pos. 8 **4** Pos. 8 **X** Pos. 9 **50** Pos. 9 **SE** Pos. 10

Pos. 1 Standard N DIN / VDE Standard (N) Svarende til DIN VDE standard - Kan udelades	Pos. 7a Fyldkappe (Ikke efter DIN VDE) E Fyldkappe T Tapebevikling
Pos. 2 Ledermateriale A Aluminium - Kobber (udelades)	Pos. 8 Lederantal Selvforklarende
Pos. 3 Isolationsmateriale Y PVC isolation 2X PEX Isolation (XLPE)	Pos. 9 Ledertværsnit i mm² Selvforklarende
Pos. 4 Skærm C Koncentrisk kobberleder CW Bølgeformet, koncentrisk kobberleder CE Enkeltrådet, koncentrisk kobberleder S Kobberskærm SE Kobber- og halvlederskærm H Halvlederskærm (F) Langsgående vandtæt	Pos. 10 Ledertype R.. Runde ledere S.. Sektorformede ledere O.. Ovale ledere ..E Enkeltrådet, massiv ..M Flertrådet, leder ..H Rørformet leder (hul)
Pos. 5 Armering B Ståldbåndsarmering F Flade ståltråde, forzinkede R Runde ståltråde, forzinkede Gb Ståltråde i modspiral	
Pos. 6 Kappemateriale Y PVC kappe 2Y PE kappe K Blykappe KL Aluminiumkappe	
Pos. 7 Beskyttelsesleder 0 Uden beskyttelsesleder J Med beskyttelsesleder (PE)	

Styre- og signalkabler efter DIN/VDE 0815/16

L Pos. 1	I Pos. 2	Y Pos. 3	C Pos. 4	Y Pos. 5	- Pos. 5a	2 Pos. 6	x Pos. 7	1 Pos. 7	x Pos. 8	0,5 Pos. 8	Pos. 9	Pos. 10
Pos. 1 Grundtype					Pos. 5 Kappemateriale							
A Udendørskabel G Jordkabel J Installationskabel L Kappelledning 2L Parsnoet kappeledning S Manøvrerkabel					Samme forkortelser som for position 3.							
Pos. 2 Tillægsbetegnelse til pos. 1					Pos. 5a Beskyttelsesleder							
I Litzekabel B Lynaflederkabel J Induktionsbeskyttet kabel E Elektronikkabel					-J.. Med beskyttelsesleder -0.. Uden beskyttelsesleder ..Z Talmærkning							
Pos. 3 Lederisolation					Pos. 6 Antal ledere eller par							
G Naturgummi (NR) 2G Silikonegummi (SIR) 3G Ethylen-Propylen (EPR) 4G Ethylen-Vinylacetat (EVA) 5G Chloropren (CR) Y PVC 2Y PE 02Y Polyethylen, cellestruktur 4Y Polyamid 5Y Polytetrafluoretylen (teflon) 6Y Fluoretylenpropylen 7Y Ethylentetrafluoretylen 9Y Polypropylen (PP) 11Y Polyurethan (PUR) Yu PVC, flammehæmmende Yv Forstærket PVC Yw PVC, varmebestandig (90°C) 2X Tværbunden polyethylen (PEX) P Papir					Selvforklarende							
					Pos. 7 Snoning							
					2 Parsnoning							
					Pos. 8 Ledertværsnit i mm eller mm²							
					Selvforklarende							
					Pos. 9 Specialsnoning							
					F Stjernesnoning (jernbanekabel) St Stjernesnoning (phantom-snoning) St 1 Stjernesnoning (fjernstyringskabel) Still Stjernesnoning TF Styrekabel S Signalkabel PiMF Parvis skærmet							
Pos. 4 Opbygning					Pos. 9 Specialsnoning							
GL Glastrådsomflettet F Folieskærm L Aluminiumsskærm (folie) LD Aluminiumsskærm (bølgeformet) (L) Aluminiumsfolie, bevikling (St) Metalfolieskærm C Kobbertrådflet (K) Kobberbåndskærm (Z) Ståltrådsfletskærm W Stålskærm bølgeformet M Blyskærm Mz Blyskærm speciel b Armeret c Jutebevikling, imprægneret E Indstøbning					Lg Parsnoning Bd Firesnoning							

HD 308 farvekodning

I HD 308 er lederfarverne og farverækkefølgen fastlagt som angivet i nedenstående tabeller:

Kabler og ledninger med beskyttelsesleder

Lederantal	Lederfarver ^b				
		Andre ledere			
3	Gul/Grøn	Blå	Brun		
4	Gul/Grøn	-	Brun	Sort	Grå
4 ^a	Gul/Grøn	Blå	Brun	Sort	
5	Gul/Grøn	Blå	Brun	Sort	Grå

Kabler og ledninger uden beskyttelsesleder

Lederantal	Lederfarver ^b				
2	Blå	Brun			
3	-	Brun	Sort	Grå	
3 ^a	Blå	Brun	Sort		
4	Blå	Brun	Sort	Grå	
5	Blå	Brun	Sort	Grå	Sort

^a Tillades i specielle applikationer.

^b I tabellerne betragtes en uisoleret koncentrisk leder eller skærm ikke som en leder, da denne identificeres alene ved sin placering og ikke ved en lederfarve.

Bemærk at ovenstående ikke gælder for fleksible fladkabler.

DIN 47100 farvekodning

Lederne tælles fortløbende og i samme retning i alle lag, idet der begyndes med det ydre lag ledere.

Leder nr.	Farve	Leder nr.	Farve	Leder nr.	Farve
1	Hvid	22	Brun/Blå	43	Blå/Sort
2	Brun	23	Hvid/Rød	44	Rød/Sort
3	Grøn	24	Brun/Rød	45	Hvid/Brun/Sort
4	Gul	25	Hvid/Sort	46	Gul/Grøn/Sort
5	Grå	26	Brun/Sort	47	Grå/Rosa/Sort
6	Rosa	27	Grå/Grøn	48	Blå/Rød/Sort
7	Blå	28	Gul/Grå	49	Hvid/Grøn/Sort
8	Rød	29	Rosa/Grøn	50	Grøn/Brun/Sort
9	Sort	30	Gul/Rosa	51	Hvid/Gul/Sort
10	Violet	31	Grøn/Blå	52	Gul/Brun/Sort
11	Grå/Rosa	32	Gul/Blå	53	Hvid/Grå/Sort
12	Rød/Blå	33	Grøn/Rød	54	Grå/Brun/Sort
13	Hvid/Grøn	34	Gul/Rød	55	Hvid/Rosa/Sort
14	Brun/Grøn	35	Grøn/Sort	56	Rosa/Brun/Sort
15	Hvid/Gul	36	Gul/Sort	57	Hvid/Blå/Sort
16	Gul/Brun	37	Grå/Blå	58	Brun/Blå/Sort
17	Hvid/Grå	38	Rosa/Blå	59	Hvid/Rød/Sort
18	Grå/Brun	39	Grå/Rød	60	Brun/Sort/Rød
19	Hvid/Rosa	40	Rosa/Rød	61	Sort/Hvid
20	Rosa/Brun	41	Grå/Sort		
21	Hvid/Blå	42	Rosa/Sort		

Parrene tælles fortløbende og i samme retning i alle lag, idet der begyndes med det ydre lag ledere. Hvis kabler har mere end 22 par, gentages farvekoden.

Par nr.	Farve	Par nr.	Farve
1	Hvid+Brun	12	Hvid/Rød+Brun/rød
2	Grøn+Gul	13	Hvid/Sort+Brun/Sort
3	Grå+Pink	14	Grå/Grøn+Gul/Grå
4	Blå+Rød	15	Pink/Grøn+Gul/Pink
5	Sort+Violet	16	Grøn/Blå+Gul/Blå
6	Grå/Pink+Rød/Blå	17	Grøn/Rød+Gul/Rød
7	Hvid/Grøn+Brun/grøn	18	Grøn/Sort+Gul/Sort
8	Hvid/Gul+Gul/Brun	19	Grå/Blå+Pink/Blå
9	Hvid/Grå+Grå/Brun	20	Grå/Rød+Pink/Rød
10	Hvid/Pink+Pink/Brun	21	Grå/Sort+Pink/Sort
11	Hvid/Blå+Brun/Blå	22	Blå/Sort+Rød/Sort

PT-HF og PTS-HF farvekodning

Par nr.	Farve	Par nr.	Farve
1	Sort + Blå	26	Hvid + Gul
2	Sort + Orange	27	Hvid + Violet
3	Sort + Grøn	28	Blå + Rød
4	Sort + Brun	29	Blå + Gul
5	Sort + Grå	30	Blå + Violet
6	Blå + Hvid	31	Grøn + Rød
7	Blå + Orange	32	Grøn + Gul
8	Blå + Grøn	33	Grøn + Violet
9	Blå + Brun	34	Rød + Grå
10	Blå + Grå	35	Rød + Orange
11	Orange + Hvid	36	Rød + Gul
12	Orange + Grøn	37	Rød + Brun
13	Orange + Brun	38	Rød + Violet
14	Orange + Grå	39	Grå + Gul
15	Grøn + Hvid	40	Grå + Violet
16	Grøn + Brun	41	Orange + Gul
17	Grøn + Grå	42	Orange + Violet
18	Brun + Hvid	43	Gul + Brun
19	Brun + Grå	44	Gul + Violet
20	Grå + Hvid	45	Brun + Violet
21	Sort + Hvid	46	Lys Brun + Sort
22	Sort + Rød	47	Lys Brun + Blå
23	Sort + Gul	48	Lys Brun + Rød
24	Sort + Violet	49	Lys Brun + Orange
25	Hvid + Rød	50	Lys Brun + Gul

PTK-HF og PTR-F farvekodning

Leder nr.	Farve	Leder nr.	Farve	Leder nr.	Farve
1	Rød	8	Brun	15	Hvid/Sort
2	Blå	9	Violet	16	Lysegrøn/Sort
3	Gul	10	Orange	17	Grå/Rød
4	Hvid	11	Rosa	18	Brun/Sort
5	Grøn	12	Lyserød	19	Orange/Sort
6	Sort	13	Rød/Sort	20	Gul/Rød
7	Grå	14	Hvid/Grøn		

Kobberregulering

Kabelpriser angives i mange tilfælde som prisen baseret på en kobberpris på f.eks. 150,00 EUR/km, hvortil producenten forbeholder sig ret til at fakturere et tillæg for gældende kobbernotering i forhold til EUR 150,00.

Nedenstående angiver almindelige anvendte værdier for kobbervægt, som anvendes ved regulering af kabelpriser for installationskabler, monteringsledning og gummikabler.

Dimension [mm²]	1-leder [kg/km]	2-leder [kg/km]	3-leder [kg/km]	4-leder [kg/km]	5-leder [kg/km]
0,14	1,4	2,7	4,1	5,4	6,8
0,25	2,4	4,8	7,2	9,6	12,0
0,34	3,3	6,6	9,9	13,2	16,5
0,50	4,8	9,6	14,4	19,2	24,0
0,75	7,2	14,4	21,6	28,8	36,0
1,0	9,6	19	29	38	48
1,5	14,4	28,8	43,2	57,6	72,0
2,5	24	48	72	96	120
4,0	38	76	114	152	190
6,0	58	116	174	232	290
10	96	192	288	384	480
16	154	308	462	616	770
25	240	480	720	960	1200
35	336	672	1008	1344	1680
50	480	960	1440	1920	2400
70	672	1344	2016	2688	3360
95	912	1824	2736	3648	4560
120	1152	2304	3456	4608	5760
150	1440	2880	4320	5760	7200
185	1776	3552	5328	7104	8880
240	2304	4608	6912	9216	11520
300	2880	5760	8640	11520	14400

Kobberreguleringen ved gældende notering beregnes pr. km efter nedenstående formel:

$$\text{Kobberregulering [EUR/km]} = \text{Kobbermængde [kg/km]} \cdot \frac{\text{Notering [EUR/100kg]} - \text{Kobberbasis [EUR/100kg]}}{100}$$

I visse tilfælde kan kobberbasis være angivet til 0,00 EUR/100kg og den anførte kabelpris inkluderer således ikke kobber.

Oftes reguleres efter den officielle metalkurs på London Metal Exchange (LME-kursen). På www.LME.com oplyses daglige metalpriser i USD/tons.

CE-mærkning af kabler

Installationskabler, der er omfattet af Lavspændingsdirektivet, skal være CE-mærkede, og der skal kunne fremvises en EU-overensstemmelseserklæring. Overensstemmelsen kan være erklæret på baggrund af en international (IEC) eller national standard, da der ikke findes harmoniserede Europa Normer (EN'er) på området.

CE-mærkning er således et krav for at kunne markedsføre produkterne som synligt bevis på, at de overholder et eller flere af de såkaldte CE-mærkningsdirektiver. Udover Lavspændingsdirektivet kan andre direktiver af interesse være EMC-direktivet eller Maskindirektivet, der dog jvf. Elektricitetsrådet ikke er påkrævet for installationskabler.

Lavspændingsdirektivet eller forkortet LVD (Low Voltage Directive) gælder med få undtagelser alle elektriske produkter til både privat og professionelt brug, som forsynes med en nominel spænding i området $50 \dots 1000V_{ac}$ eller $75 \dots 1500V_{dc}$.

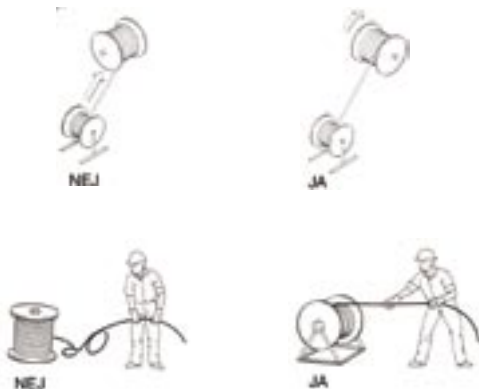
For alle apparater, herunder kabler, skal der således minimum udformes en overensstemmelseserklæring, hvormed fabrikanten eller den ansvarlige importør erklærer, at det pågældende apparat er i overensstemmelse med Lavspændingsdirektivets bestemmelser. Overensstemmelseserklæringen skal indeholde:

- Identifikation af produktet
- Navn og adresse på fabrikanten eller dennes repræsentant i EU
- De anvendte standarder
- Erklæring om hvornår CE-mærkningen er blevet anbragt
- Erklæring om at direktivet er overholdt
- Underskrift fra fabrikanten eller dennes repræsentant i EU

Det kan i forlængelse af ovenstående også påpeges, at såfremt en producent anfører, at deres kabler overholder EMC-direktivet, er det således uden bund i virkeligheden

Håndtering af kabler

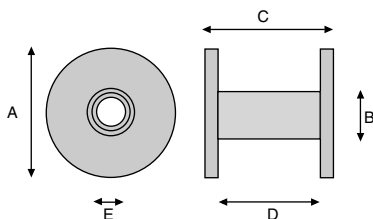
For at undgå permanent beskadigelse af kablet er det vigtigt, at dette håndteres korrekt ved udrulningen, således at unødige træk og vrid forekommer:



Nogle kabelproducenter har på deres tromler angivet den retning, som tromlerne skal rulles, såfremt de flyttes på denne måde. Retningen er angivet ved en pil på siden af tromlen.

Konstruktion af standardtromler

Tromle	K4	K6	K7	K8	K9	K11	K12	K14	K16	K18	K20	K22	K24	K26	K28	K30
A [mm]	400	600	700	800	900	1100	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
B [mm]	175	250	325	375	425	575	675	800	950	1100	1300	1400	1400	1500	1500	1500
C [mm]	330	468	580	580	630	762	982	982	1018	1075	1188	1188	1200	1448	1650	1800
D [mm]	300	400	500	500	550	650	850	850	850	850	1000	1000	1000	1200	1350	1500
E [mm]	75	75	75	75	75	104	104	104	104	132	132	132	132	132	132	132
Vægt [kg]	2	12	20	25	34	55	90	115	195	230	340	410	450	900	1180	1500



Kabellængde pr. tromle

Nedenstående tabel viser sammenhængen mellem et kables yderdiameter og den mængde, angivet i meter, som der kan opspoles på en standardtromle.

	K4	K6	K7	K8	K9	K11	K12	K14	K16	K18	K20	K22	K24	K26	K28	K30
Ø																
3	2371	8132	13370	18003	25216	37964	52327	70276	90237		145707	188823	252823	366322	527329	721419
3,5	1759	6028	9752	13231	18623	27696	38349	50976	65675	82139	107559	138300	185845	269255	384828	529318
4	1369	4557	7429	10084	14129	21144	29671	39383	50569	63074	82306	105447	142213	206056	295066	404721
4,5	1048	3614	5996	7810	11207	16768	23419	30936	39478	49929	64861	83600	112049	162596	233070	318080
5	854	2996	4824	6405	8987	13510	18791	25237	32554	40757	52787	68120	91208	132574	189690	260219
6	587	1978	3262	4501	6304	9445	13033	17504	22475	28033	35967	47206	63206	91580	131523	178920
7	434	1507	2352	3204	4624	6784	9587	12744	16153	20535	26790	34447	46290	67107	96207	131101
8	318	1127	1797	2521	3532	5164	7209	9797	12579	15690	20490	26251	34989	50791	73766	100389
9	258	904	1431	1934	2802	4053	5669	7513	9814	12412	16138	20463	27511	40488	58063	79520
10	210	716	1145	1584	2177	3350	4669	6270	7903	10126	13197	17030	22802	33144	47423	64826
11	165	604	992	1290	1778	2796	3850	4963	6679	8260	10633	14015	18655	26651	38286	52496
12		460	766	1111	1558	2280	3144	4376	5619	7008	8992	11547	15801	22895	32288	44018
13		394	652	881	1272	1997	2750	3623	4711	5936	7572	9885	13320	19354	27245	37756
14		377	546	750	1107	1627	2376	3158	3872	4940	6648	8332	11487	16467	23545	32166
15		314	525	648	949	1415	2062	2769	3409	4379	5590	7529	10081	14537	20994	28350
16		256	442	620	827	1215	1802	2449	3029	3922	4951	6373	8747	12698	18112	24703
17			365	524	711	1170	1557	2145	2668	3485	4344	5654	7494	11128	16017	21985
18			358	453	700	1013	1327	1857	2325	3068	3845	5067	6812	10122	14223	19880
19			300	444	591	867	1282	1627	2052	2740	3442	4599	6279	8844	13065	17845
20			280	361	510	824	1099	1567	1976	2427	3264	4061	5641	8068	11591	15891
21			228	351	479	715	1056	1353	1721	2130	2889	3635	5143	7319	10690	14028
22				291	405	699	888	1153	1647	2037	2534	3504	4664	6598	9334	13022
23				281	393	575	872	1132	1454	1815	2435	3104	4204	6031	8505	12037
24				271	380	559	719	1078	1384	1726	2107	2725	3764	5485	7854	10744
25					314	467	703	927	1206	1520	2067	2676	3436	4960	7222	10005
26					318	452	688	906	1178	1484	1763	2322	3284	4783	6611	9114
27					306	437	551	740	978	1248	1725	2274	2976	4392	6406	8614
28					246	373	536	720	951	1213	1637	1947	2829	3915	5822	7742
29						359	521	700	924	1178	1412	1900	2541	3848	5384	7669
30						345	506	679	777	1007	1375	1852	2480	3490	5187	7013
31						331	422	581	782	1013	1339	1611	2208	3332	4769	6383
32						275	408	563	757	981	1134	1566	2150	2997	4364	5913
33						262	395	544	732	822	1100	1521	1895	2932	4181	5833
34						264	381	525	601	793	1066	1302	1839	2616	3800	5249
35						251	383	438	604	797	1072	1309	1852	2554	3726	5167
36						253	295	421	581	767	887	1267	1613	2490	3363	4735
37						240	284	404	558	627	857	1065	1560	2197	3291	4652
38						192	285	407	466	631	861	1070	1570	2211	3217	4238
39							273	390	446	604	830	1032	1349	2150	2878	4157
40							275	392	448	607	799	994	1300	1876	2898	3763
41							263	300	428	579	670	998	1307	1819	2573	3683
42							264	301	430	484	643	819	1257	1830	2506	3311
43							191	287	410	461	646	823	1111	1576	2437	3334
44							192	288	412	463	619	788	1066	1523	2216	3256
45								274	314	439	621	792	1071	1531	2152	2903
46								275	315	441	594	757	1025	1477	2088	2828
47								276	316	443	482	760	892	1485	2100	2846
48								261	299	418	459	604	851	1256	1821	2514
49								200	300	338	461	606	855	1262	1831	2530

	K4	K6	K7	K8	K9	K11	K12	K14	K16	K18	K20	K22	K24	K26	K28	K30
Ø																
50								201	301	339	462	609	859	1212	1770	2457
51								189	284	319	439	579	818	1218	1780	2384
52								190	285	320	441	581	821	1168	1522	2161
53								191	286	321	418	550	662	1015	1530	2093
54									205	301	419	552	664	1019	1473	2104
55									206	302	420	554	667	975	1481	2035
56									206	303	397	422	630	979	1423	1827
57									207	304	307	423	633	983	1430	1837
58									193	284	308	425	635	937	1257	1772
59									194	218	309	426	638	799	1205	1781
60									194	219	290	400	600	802	1211	1716
61									195	219	291	402	499	762	1216	1524
62									196	220	292	403	501	765	1163	1464
63									181	204	292	404	502	768	1168	1471
64										204	274	378	471	728	1011	1478
65										205	274	379	472	731	964	1418
66										206	275	380	474	733	968	1424
67										206	276	293	475	736	972	1431
68										190	257	273	443	575	924	1194
69										190	257	274	444	577	928	1199
70										191	258	274	446	579	931	1204
71										191	185	275	358	581	935	1209
72										192	186	276	359	546	749	1153
73										137	186	276	360	548	751	1158
74											172	256	333	549	754	1163
75											172	256	334	551	757	1002
76											173	257	335	553	715	953
77											173	257	336	517	717	957
78											173	258	337	519	720	960
79											174	259	338	417	722	964
80											160	238	311	418	724	914
81											160	238	312	419	681	917
82											160	239	313	390	563	921
83											161	171	313	391	565	924
84											161	171	314	392	566	734
85											161	171	240	393	568	737
86											161	172	241	394	532	739
87												156	220	395	533	742
88												157	220	365	535	744
89												157	221	366	536	747
90												157	221	367	538	702

Tilladelige trækverdier

Ved træk direkte i kablederne er det maksimalt tilladelige træk følgende:

For kobberledere:	50 N/mm ² totalt ledertværsnit
For aluminiumsledere:	20 N/mm ² totalt ledertværsnit

Eksempel:

Maksimalt tilladeligt træk i 4 x 16 mm² NYY (PVIKS):

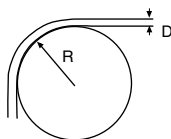
$$4 \times 16 \times 50 = 3200 \text{ N}$$

10 Newton modsvarer 1 kp - 1 kp = tyngden af 1 kg

NB! Selv om ovenstående regneregler for store tværsnit kan føre til meget høje trækverdier, må det maksimalt tilladelige træk dog aldrig overstige 20.000 N.

Bøjningsradius

I betragtningerne omkring valg af kabeltype bør der tages hensyn til de fysiske forhold omkring installationen. Her skal der bl.a også tages hensyn til kablets bøjningsradius, som bør overholdes. En skarpere bøjning (mindre radius) kan medføre deformation af kablet med deraf risiko for forøget varmeudvikling i bøjningen.



Nedenfor er angivet den mindste tilladelige bøjningsradius for REKA lavspændingskabler, hvor D betegner kablets yderdiameter målt over kappen. Bøjningsradius er normalt beregnet ved laveste udlægningstemperatur og angives som et multipla af kablets diameter.

Nedenstående tabel angiver almindelige retningslinier for REKA kabler:

	Min. Bøjningsradius
Installationskabler (450/750V)	10 x D
1-leder forsyningskabler (0,6/1kV)	15 x D
Flerleder forsyningskabler (0,6/1kV)	12 x D
Brandsikre kabler	12 x D

Ved sidste bøjning af kablet for den endelige installation kan radius almindeligvis reduceres ved én enkelt bøjning. For nærmere detaljer henvises til databladet for de enkelte typer.

Bøjningsradius har ikke bare betydning ved installation, men bør normalt også indgå i overvejelserne hos producenten om, hvilken mindste tromlestørrelse der kan anvendes til et givet kabel.



Sonepar

Otra Danmark A/S er en del af Europas største elgrossist Sonepar, som er en privatejet koncern med hovedsæde i Paris.

Sonepar beskæftiger 19.500 medarbejdere og er repræsenteret i 29 lande med i alt 1.105 afdelinger fordelt i Europa, Nord- og Sydamerika samt Asien. Ca. 70% af omsætningen på omkring DKK 50 milliarder aftages af de autoriserede el-installatører. En meget væsentlig del af de resterende 30% aftages af industrivirksomheder. Den økonomiske styrke og et solidt aktionærfundament giver selskabet de bedste betingelser for yderligere ekspansion og dermed fortsat at være markedsledende aktør i elbranchen.

Reka Kaapeli OY (Reka Cables) er et finsk aktieselskab med mere end 40 års erfaring som kabelproducent. Reka Cables har tre moderne fabrikker i Finland med en produktionskapacitet, som gør det muligt at levere store mængder både hurtigt og pålideligt.

Yderligere informationer om Reka Cables kan fås på www.reka.fi

Otra Danmark A/S - www.otra.dk

ADM/CENTRALLAGER
Mileparken 13
2740 Skovlunde
Tlf.: 44 85 40 00
Fax: 44 85 40 30

REGION KØBENHAVN
Trækronergade 94
2500 Valby
Tlf.: 36 44 10 00
Fax: 36 44 11 66

REGION ODENSE
Hans Egedes Vej 4
5210 Odense
Tlf.: 66 16 58 08
Fax: 66 16 58 81

Rodekro
Skånevej 4
6230 Rodekro
Tlf.: 74 69 42 80
Fax: 74 69 42 90

REGION ÅRHUS
H.C. Tvenges Vej 3-5
8000 Århus C
Tlf.: 86 12 38 11
Fax: 86 12 38 16

Holstebro
Jens Baggenses Vej 12
7500 Holstebro
Tlf.: 87 31 48 10
Fax: 97 42 03 06

ELNET
H.C. Tvenges Vej 3-5
8000 Århus
Tlf.: 70 15 36 00
Fax: 70 22 25 01